



Etude de la qualité de l'air dans le parking
souterrain de la Place de Verdun à La
Rochelle du 6 au 20/12/2002

Référence : /

Date : 11 juin 2003

Auteur : ATMO Poitou-Charentes

Sommaire

Sommaire.....	1
1 Introduction	2
2 Description de l'étude et de ses objectifs	4
3 Choix des polluants mesurés dans le parking souterrain.....	5
3.1 Le monoxyde de carbone CO	5
3.2 Les oxydes d'azote NO et NO ₂	5
3.3 Les particules en suspension PM ₁₀	6
3.4 Les composés organiques volatils COV.....	7
3.5 Le benzène C ₆ H ₆	8
4 Caractérisation de la pollution en atmosphère extérieure sur la Place de Verdun	9
4.1 Implantation de la station de mesure	9
4.2 Evolution des concentrations à moyen terme	10
4.2.1 Baisse continue du dioxyde de soufre	11
4.2.2 Les oxydes d'azote	11
4.2.3 Les poussières en suspension.....	11
4.2.4 Le monoxyde de carbone : la baisse continue.....	11
4.2.5 L'ozone.....	11
4.3 Résultats des mesures durant la campagne dans le parking souterrain	12
4.3.1 PM ₁₀	12
4.3.2 NOx	12
4.3.3 CO.....	13
4.3.4 Conclusion.....	13
5 Etude de la répartition spatiale de la pollution dans le parking souterrain du 6 au 20 décembre 2002	14
5.1 Moyens de mesure : les tubes à diffusion passive.....	14
5.1.1 Tubes de Palmes pour le prélèvement du NO ₂	14
5.1.2 Tubes de Radiello pour le prélèvement des BTX	15
5.2 Implantation des tubes dans le parking.....	15
5.3 Qualité des données	15
5.4 Introduction à la cartographie.....	16
5.5 Répartition du NO ₂ sur le premier niveau du parking.....	17
5.6 Répartition de la pollution en NOx et BTX sur les 3 étages	19
5.7 Conclusion sur la répartition de la pollution dans le parking souterrain.....	21
6 Evolution de la pollution à l'intérieur du parking du 7 au 19 décembre 2002 - comparaison avec la pollution à l'extérieur du parking	22
6.1 Moyens de mesure.....	22
6.2 Ratios air intérieur / air extérieur	23
6.3 Evolution des concentrations journalières et horaires.....	24
6.4 Etude des profils journaliers	27
6.5 Conclusion sur l'évolution de la pollution dans le parking.....	29
7 Comparaison aux valeurs réglementaires existantes.....	30
7.1 Rappel des valeurs réglementaires existantes	30
7.2 Etude par polluant	32
7.3 Conclusion sur la comparaison aux valeurs réglementaires.....	35
8 Conclusion	36

ATMO Poitou-Charentes se dégage de toute responsabilité quant à l'exploitation ultérieure de ses données par un tiers. Elle rappelle que toute utilisation partielle ou totale de ses données doit faire mention de la source, à savoir : ATMO Poitou-Charentes.

1 Introduction

Au cours de ces dernières années de nombreux problèmes liés à la qualité de l'air en milieu urbain ont émergé en France comme dans l'ensemble des pays industrialisés. Ainsi la qualité de l'air extérieur fait, aujourd'hui, l'objet d'une surveillance continue sur les agglomérations de plus de 100 000 habitants et sur les zones industrielles. Des évaluations de la qualité de l'air ambiant extérieur sont également réalisées sur l'ensemble du territoire depuis l'année 2000.

L'association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) ATMO Poitou-Charentes est chargée de surveiller la qualité de l'air sur la région Poitou-Charentes. Elle gère un réseau de mesure de la qualité de l'air agréé par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et participe au programme national de surveillance de la qualité de l'air.

Mais qu'en est-il de la qualité de l'air dans les lieux clos ?

Les problèmes liés à la qualité de l'air en milieu intérieur font l'objet de beaucoup moins d'attention. Il ne faut pourtant pas perdre de vue que les citoyens passent plus de 50% de temps à l'intérieur de locaux.

Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable insiste sur la nécessité d'une vision intégrée des pollutions atmosphériques rencontrées dans les divers lieux de vie fréquentés par les personnes : lieux de travail, bâtiments et équipements, garages souterrains, tunnels,... Ceci implique aussi une connaissance de l'exposition des personnes aux polluants en fonction du temps passé dans les différents lieux. Le droit à l'information de chacun sur la qualité de l'air qu'il respire, droit fondamental posé par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 déc. 1996 (article 1), doit être entendu pour tous les lieux de vie.

Reconnue comme un enjeu de santé publique au niveau international, la pollution de l'air intérieur est suspectée de jouer un rôle significatif dans la croissance des pathologies chroniques (cancers, affections respiratoires, troubles de la reproduction, du système immunitaire et du système nerveux). Le rôle possible de la qualité de l'air intérieur dans la croissance de l'incidence de certaines de ces maladies chez l'enfant est particulièrement préoccupant.

La qualité de l'air intérieur : interaction avec l'air extérieur ?

La pollution intérieure est un domaine dynamique, caractérisé par la variabilité des sources de pollution (air extérieur, matériaux de construction et mobilier, occupants et leurs activités ...), des différents types d'espaces intérieurs (bureaux, logements, jardins d'enfants, transports ...), et des différentes conditions climatiques et de ventilation.

Il est donc difficile de différencier air intérieur et air extérieur. L'air est un espace continu : l'homme ne respire pas différemment en passant d'un environnement à l'autre et l'air intérieur se « nourrit » de l'air extérieur par les différents systèmes de ventilation.


Les variations temporelles de la concentration extérieure sont reproduites à l'intérieur. Il est donc important de caractériser simultanément air intérieur et air extérieur aux abords des bâtiments étudiés.

Problématique dans les ouvrages souterrains ou couverts

Les différents textes réglementaires concernant la ventilation de ces ouvrages fréquentés par des véhicules reposent essentiellement sur l'asservissement des dispositifs d'extraction par le dépassement de la norme de qualité d'air fixée dans l'ouvrage en matière de concentration en monoxyde de carbone CO.

Or ce polluant reconnu antérieurement comme l'indicateur principal des émissions de véhicules à essence n'est plus représentatif actuellement des émissions du parc automobile général, d'une part la diésélisation étant très importante et d'autre part le pot catalytique ayant été introduit en 1993 sur les véhicules à essence.

La réglementation a déjà introduit cet aspect en donnant la possibilité de choisir un autre indicateur que le monoxyde de carbone quand l'ouvrage est occupé sur plus de 30 % de leur surface par des véhicules diesel.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	2/36
---	--	------

Réglementation relative aux parcs de stationnement

La réglementation spécifique aux parcs de stationnement vise à maintenir à l'intérieur de ces espaces clos une qualité d'air assurée par une ventilation suffisante pour s'opposer efficacement à la stagnation même locale, de gaz nocifs ou inflammables.


Elle consiste soit à définir des valeurs limites à ne pas dépasser en monoxyde de carbone sur des laps de temps déterminés (cas de la circulaire du 3 mars 1975 et de la rubrique 331 bis des Installations Classées), soit à garantir un renouvellement d'air suffisant pour pouvoir être utilisé en désenfumage (cas de l'arrêté du 31 janvier 1986 et de la rubrique 331 bis version 93).

Tout parc de stationnement de capacité supérieure à 250 véhicules est classable :

- si sa capacité reste comprise entre 250 et 1000 véhicules, il est soumis à déclaration
- si sa capacité excède 1000 véhicules, il est soumis à autorisation.

Dans les parcs la ventilation peut être naturelle ou mécanique. A partir du 1^{er} janvier 1993, des dispositions en matière d'installation ont été imposées :

- Ventilation naturelle : la section minimale des orifices de ventilation doit être de 6 dm²/véhicule
- Ventilation mécanique : le débit minimum d'extraction doit être de 600 m³/h/véhicule.
- Pour les parcs de stationnement de capacité supérieure à 500 véhicules, il est imposé une installation de détection en continu de CO.
- La teneur moyenne calculée sur toute période de 8 heures consécutives ne devra pas dépasser 30 ppm de CO
- La teneur moyenne calculée sur toute période de 20 minutes de devra pas dépasser 100 ppm de CO
- La teneur instantanée ne devra pas dépasser 200 ppm de CO.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	3/36
---	--	------

2 Description de l'étude et de ses objectifs

Le parc de stationnement de la Place de Verdun à La Rochelle a été mis en service en 1998. Il compte 600 places réparties sur 3 niveaux en sous-sol. Le premier niveau correspond aux entrées et sorties de l'ouvrage. L'ensemble des véhicules pénétrant dans le parking passe donc par cet étage pour accéder aux niveaux inférieurs.

La ventilation est assurée par 4 extracteurs par niveau. Une détection de CO en continu est assurée avec déclenchement automatique gradué de l'extraction à 30 ppm, 50 ppm et 90 ppm pour le CO (petite et grande vitesse d'extraction).

Nous avons choisi de faire cette étude en période hivernale en raison du rallongement du temps de chauffe des moteurs et de la forte fréquentation du parking en cette période de Noël. La campagne de mesure a été effectuée du 6 au 20 décembre 2002.

Plusieurs objectifs étaient recherchés lors de cette étude dans le parking souterrain :

- Améliorer la connaissance de l'exposition de la population dans un parking souterrain
- Comparer la pollution par différents polluants dans l'ensemble du parking
- Caractériser la pollution par différents polluants à l'intérieur et à l'extérieur du parking, en fonction de l'heure ou du jour.
- Comparer les niveaux de pollution mesurés aux normes de qualité de l'air existantes dans les parkings souterrains et dans d'autres atmosphères.

Plusieurs techniques de mesure complémentaires ont été utilisées pour réaliser cette étude :

- Niveau 1 : cabines mobiles de mesures assurant le suivi des oxydes d'azote NO et NO₂, du monoxyde de carbone CO et des poussières en suspension PM10 – tubes à diffusion passive pour le dioxyde d'azote NO₂ et tubes à diffusion passive pour le benzène C₆H₆ et les composés organiques volatils COV.
- Niveaux 2 et 3 : tubes à diffusion passive pour le NO₂ et les BTX

3 Choix des polluants mesurés dans le parking souterrain

La qualité de l'air est liée à la quantité d'émissions de polluants dans l'atmosphère, mais également aux conditions météorologiques, elles-mêmes variables en fonction des saisons. En air intérieur, les phénomènes météorologiques jouent peu mais peuvent avoir un impact sur le temps de chauffe des moteurs thermiques par exemple.

Le choix du dispositif de mesures mis en place dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle est basé sur les émissions des véhicules particuliers.

3.1 Le monoxyde de carbone CO

Les sources

Le monoxyde de carbone CO est produit par toutes les combustions incomplètes de matières organiques et, en particulier, il est le polluant toxique le plus abondant dans les gaz d'échappement des véhicules automobiles. Des taux importants de CO peuvent être rencontrés quand un moteur tourne au ralenti dans un espace clos ou en cas d'embouteillage dans des espaces couverts, ainsi qu'en cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage domestique.

Effets sur la santé

La voie pulmonaire constitue la seule voie de pénétration de ce polluant dans l'organisme. Le CO se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang, conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Les effets aigus de l'intoxication par le monoxyde de carbone sont bien établis, se caractérisant tout d'abord par des céphalées, une grande fatigue, des vertiges et des nausées, puis pouvant atteindre des états de somnolence, d'impotence fonctionnelle puis le coma.

La nocivité du CO s'exprime aussi à des doses plus faibles et pour des durées d'exposition plus ou moins longues, au travers du tabagisme actif en particulier, ou de sources fixes ou mobiles de combustion. Les effets apparaissent alors à plus ou moins longue échéance : à court terme, chez les sujets sains ou présentant un risque cardio-vasculaire, notamment à l'occasion d'un exercice physique marqué ; à moyen terme s'agissant de l'exposition fœtale pendant la grossesse d'une femme fumeuse principalement ; à long terme, enfin, si l'on reconnaît au monoxyde de carbone des potentialités athérogènes. Les effets peuvent alors être d'ordre cardio-vasculaire, concerner le développement du fœtus, une baisse de la vigilance ou une diminution des performances physiques...

Effets sur l'environnement

Le CO participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Dans l'atmosphère, il se transforme en CO₂ et contribue à l'effet de serre.


3.2 Les oxydes d'azote NO et NO₂

Les sources

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) sont émis lors des phénomènes de combustion. Le dioxyde d'azote est un polluant secondaire issu de l'oxydation du NO. Les sources principales sont les véhicules (près de 60%) et les installations de combustion (centrales thermiques, chauffages...).

Ils sont également l'un des nombreux composés de la fumée de tabac.

Effets sur la santé

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	5/36
---	--	------

Les oxydes d'azote sont des gaz engendrant, à faible concentration, une irritation des voies aériennes supérieures (toux, dyspnée, nausées ...) et des yeux. Chez les asthmatiques, le NO₂ augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires.

Effets sur l'environnement

Le NO₂ participe aux phénomènes de pluies acides et entre dans le processus de formation de l'ozone dans la basse atmosphère (pollution photochimique). Les NO_x semblent également entraîner un enrichissement en nitrites, qui s'accumulent et portent atteinte à la croissance des plantes. Les dépôts azotés issus des émissions d'oxyde d'azote peuvent aggraver les problèmes nutritionnels des peuplements de végétaux sensibles. Les interactions entre le sol et la végétation, pour ce qui concerne les dépôts azotés, affectent la capacité de neutralisation du sol. Les NO_x, en association avec d'autres éléments, participent à la dégradation des matériaux et du patrimoine bâti.

3.3 Les particules en suspension PM₁₀

Les sources


Les particules peuvent être d'origine naturelle (érosion des sols, pollens ...) ou anthropique (liées à l'activité humaine). Dans ce dernier cas, elles sont issues majoritairement de la combustion incomplète des combustibles fossiles (sidérurgie, cimenteries, incinération de déchets, manutention de produits pondéraux, minerais et matériaux, circulation automobile, centrale thermique ...). Les particules en suspension véhiculent de nombreuses substances telles que les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), les métaux, le dioxyde de soufre... Les particules en suspension sont aujourd'hui principalement issues des véhicules automobiles (environ 30% sur l'ensemble du territoire mais la proportion est sans doute beaucoup plus élevée en milieu urbain : de 50 à 80%), des usines productrices d'énergie non nucléaire ainsi que des réactions chimiques entre gaz atmosphériques et humidité de l'air. En France, selon une étude réalisée par l'industrie automobile, en considérant la composition du parc automobile en 1995, 87% des particules émises à l'échappement des voitures proviendraient des véhicules diesel, 12% des voitures essences sans catalyseur et 1% des voitures essences avec catalyseur. Leur taille est très variable, de quelques microns à quelques dixièmes de millimètre. Dans les locaux, la principale source de pollution particulaire est la fumée de tabac.

Effets sur la santé

Selon leur granulométrie, les particules pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire :

- à 10 µm : localisation dans les grosses bronches,
- < à 1 µm : pénétration dans les alvéoles pulmonaires.

Les particules les plus fines peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérogènes : c'est le cas, en particulier, de celles qui véhiculent certains HAP. Les particules issues des pots d'échappement des véhicules se caractérisent par leur très petite taille, qui leur confère une aptitude particulière à pénétrer très profondément dans les voies aériennes d'où elles mettront beaucoup plus de temps à être éliminées. D'un point de vue biologique et sanitaire, ces particules fines sont donc les plus préoccupantes.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	6/36
---	--	------

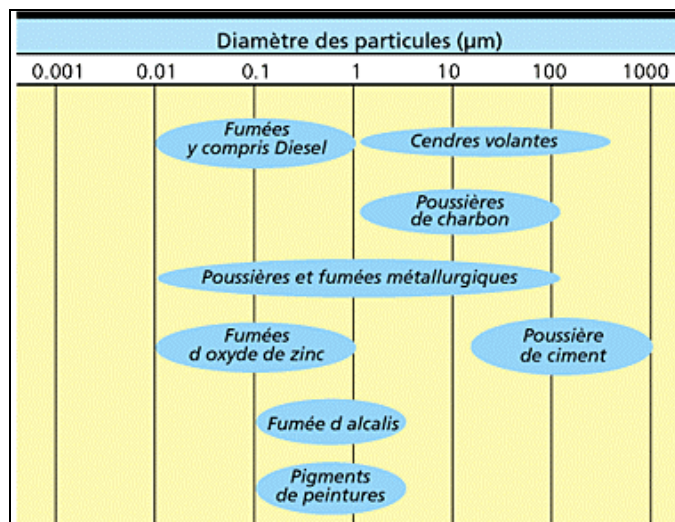


Figure 1 : répartition des particules en suspension en fonction de leur nature et de leur taille

Effets sur l'environnement

Concernant les effets sur les matériaux et le patrimoine bâti, les effets de salissure sont les plus évidents.

Concernant les effets sur la végétation, les particules viennent se fixer dans les stomates, avec accumulation ; il y a perturbation de la photosynthèse puis attaque et destruction des tissus. Les particules entraînent une réduction de la croissance et des nécroses. Signalons que pour l'instant, les particules fines ne sont pas prises en compte dans le dispositif d'information et d'alerte à la population.

3.4 Les composés organiques volatils COV

Les sources

Les Composés Organiques Volatils (COV) entrent dans la composition des carburants mais aussi de nombreux produits courants : peintures, encres, colles, détachants, cosmétiques, solvants... pour des usages ménagers, professionnels ou industriels (pour ces raisons, leur présence dans l'air intérieur peut aussi être importante). Ils sont émis lors de la combustion incomplète de combustibles (notamment dans les gaz d'échappement), ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation. Des COV sont émis également par le milieu naturel (végétation méditerranéenne par exemple) et certaines aires cultivées.

Effets sur la santé

Les effets des COV sont très variables selon la nature du polluant envisagé. Ils vont d'une certaine gêne olfactive à des effets mutagènes et cancérogènes (benzène et certains HAP), en passant par des irritations diverses et une diminution de la capacité respiratoire.

Effets sur l'environnement

Les COV jouent un rôle majeur dans les mécanismes complexes de formation de l'ozone dans la basse atmosphère (troposphère). Ils interviennent également dans les processus de l'effet de serre et du trou d'ozone.

3.5 Le benzène C₆H₆

Les sources

Le benzène est un Composé Organique Volatil (COV) de la famille des Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM). Il est principalement émis lors des opérations de remplissage, stockage et distribution des carburants, lors de la combustion des gaz d'échappement, ou lors d'autres combustions incomplètes (par les foyers domestiques par exemple). La circulation automobile est responsable de la plus grande partie des émissions en milieu urbain. Il entre dans la composition des carburants (autorisé jusqu'à une concentration de 5 % dans les essences). En outre du benzène est produit à l'intérieur du moteur, ce qui fait que la pollution d'origine automobile est mixte : carburant et moteur. Il est également émis par certaines industries chimiques et utilisatrices de solvant où son utilisation a été sévèrement réglementée.

Effets sur la santé :


La voie principale d'exposition chez l'homme au benzène est l'inhalation. Le benzène est en partie éliminé dans les urines et dans l'air expiré. La partie restant dans l'organisme est distribuée dans les tissus riches en graisses : tissu adipeux et moelle osseuse. Le benzène s'accumule par la suite dans la moelle osseuse et dans le foie, où il est oxydé. Cette étape d'oxydation est nécessaire à sa toxicité. Les effets sur la santé du benzène sont multiples.

Les effets aigus se traduisent par :

- une atteinte du système nerveux central : fatigue, céphalées, vertiges, faiblesse musculaire, insomnie,
- une irritation des voies respiratoires et des conjonctivites oculaires,
- des dermatoses d'irritation dues à l'action de solvants sur les lipides cutanés.

Les effets chroniques se caractérisent par :

- une toxicité hématologique : atteinte de la moelle osseuse, de la rate et des ganglions lymphatiques se manifestant par un affaiblissement progressif du système immunitaire (plaquettes, globules rouges et globules blancs),
- des atteintes de l'immunité humorale,
- des effets foetotoxiques,
- des risques de leucémie.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	8/36
---	--	------

4 Caractérisation de la pollution en atmosphère extérieure sur la Place de Verdun

4.1 Implantation de la station de mesure



Figure 2 : photographie du site de mesure de la Place de Verdun à La Rochelle

Le site de mesure de la Place de Verdun est installé depuis février 1992, dans le centre-ville de La Rochelle. Il a pour objectif le suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » dans les centres urbains.

Les polluants dont la mesure est recommandée sont : les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les poussières en suspension et les composés organiques volatils (sous conditions de niveaux pertinents).

Les sources responsables de la pollution atmosphérique sur ce genre de station sont plutôt de type surfacique et multi-émetteurs. Les émetteurs se situent à l'intérieur de l'aire urbaine et sont les principaux facteurs de pollution atmosphérique. La station ne se trouve pas sous l'influence dominante ou prépondérante d'une source industrielle.

Au moment de son installation, la population dans un rayon de 1 km autour du point de mesure était de 13200 habitants (INSEE 1990), soit une densité de 4201 hab./km². La gare routière des bus de ligne du réseau de l'agglomération est située à plus de 100 mètres.

Polluant	NOx	O ₃	PM10	CO	SO ₂	benzène
Date de mise en place	1992	1/4/95	9/9/98	1992	1992	29/9/98

Tableau 1 : équipement de la station de mesures de la Place de Verdun à La Rochelle et date de mise en service

4.2 Evolution des concentrations à moyen terme

Les normes de qualité de l'air en air ambiant sont précisées dans la partie 7.

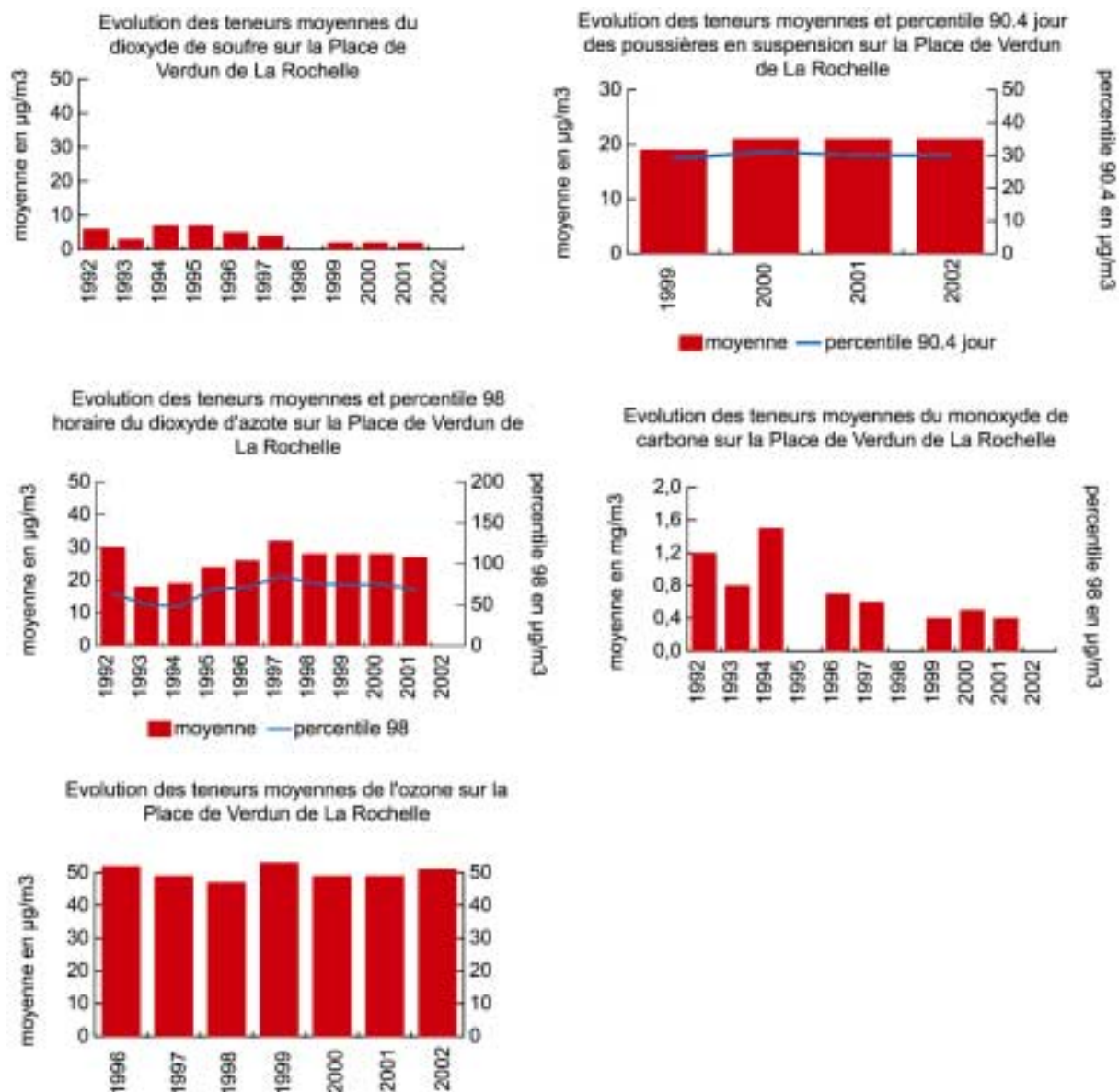


Figure 3 : évolution annuelle des différents polluants sur le site de la Place de Verdun à La Rochelle(*)

(*) Dans les différents graphiques, les valeurs manquantes sont dues à un taux de fonctionnement annuel inférieur à 75 %. Ce taux de fonctionnement assure une bonne représentativité de la mesure sur la période considérée.

4.2.1 Baisse continue du dioxyde de soufre

Les teneurs du dioxyde de soufre SO₂ sur le site urbain de la Place de Verdun ne cessent de diminuer. En milieu urbain, les consommations de fuel-oil domestique en France enregistrent une baisse au cours des années 1990. En revanche, la consommation de gasoil augmente d'année en année avec la diésélisation croissante du parc automobile.

Rappelons également que la teneur en soufre dans le fioul domestique et dans le gazole n'a cessé de diminuer avec les années par paliers successifs sous la poussée de la réglementation. Celle-ci est en effet passée de 0.7 % avant 1974 à 0.05 % en 1996.

4.2.2 Les oxydes d'azote

Les concentrations de monoxyde d'azote NO sont en baisse continue depuis 1997 passant ainsi de 26 µg/m³ à 16 µg/m³ en 2001 soit une baisse de plus de 38 %. Les pots catalytiques sont très efficaces sur les rejets en polluants primaires, dont le NO. Le NO₂ est considéré comme un polluant secondaire car, pour une plus grande part, il provient de l'oxydation de NO au contact de l'air.

Les teneurs en dioxyde d'azote sont, quant à elles, stables, après une hausse relevée en 1997 par rapport aux années précédentes. Les niveaux moyens de dioxyde d'azote baissent donc moins rapidement que les niveaux de NO.

Toutefois, les valeurs réglementaires sont respectées sur le site de la Place de Verdun, tant en concentration moyenne qu'en valeur de pointe (percentile 98 horaire).

4.2.3 Les poussières en suspension

La mesure des poussières en suspension repose sur la technique de la microbalance. Le site de la Place de Verdun a été équipé tardivement (en fin d'année 1998).

Sur les 4 années de mesure disposant de 75 % des données, la tendance est à une très forte stabilité des teneurs moyennes avec une concentration de l'ordre de 20 µg/m³.

La réglementation en vigueur est donc largement respectée tant en valeur moyenne qu'en valeur maximale (percentile 90.4 en données journalières).

4.2.4 Le monoxyde de carbone : la baisse continue


Le monoxyde de carbone est un traceur spécifique du trafic. Sa mesure est particulièrement indiquée en milieu urbain sur les sites de fond et de proximité. Toutefois, il faut noter qu'il s'oxyde très rapidement au contact de l'air : sa concentration décroît donc très vite dès qu'on s'éloigne des sources d'émissions.

Sur le site urbain de la Place de Verdun à la Rochelle, les concentrations annuelles diminuent continuellement : -67 % entre 1992 et 2001. Cette diminution progressive s'explique par la modernisation et la diésélisation du parc automobile. Rappelons que le diesel est un carburant moins polluant que les essences pour le CO. De plus, les véhicules équipés de pot catalytique émettent, à chaud, de 70 à 90 % moins de CO qu'un véhicule non équipé.

Les valeurs de recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé sont respectées sur le site ainsi que les valeurs réglementaires françaises et européennes (moyenne de 10 mg/m³ sur 8 heures).

4.2.5 L'ozone

L'ozone est un polluant estival qui est formé par de nombreuses réactions chimiques faisant intervenir les oxydes d'azote, les hydrocarbures et le rayonnement ultraviolet du soleil.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	11/36
---	--	-------

L'évolution annuelle de l'ozone est relativement stable d'une année sur l'autre, avec des concentrations qui varient entre 47 et 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les variations s'expliquent essentiellement par les conditions météorologiques estivales.

Le nombre de dépassements de la valeur horaire de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (niveau d'information de la population) est faible. En revanche, la valeur de protection de la santé (moyenne sur 8 heures égale à 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est dépassée de nombreux jours chaque année.

4.3 Résultats des mesures durant la campagne dans le parking souterrain

Au cours de la période de mesure, les données relevées sur le site de la Place de Verdun font état d'une pollution urbaine modérée.

Du 7 au 19 déc. 02 Air extérieur	Monoxyde d'azote NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dioxyde d'azote NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Poussières en suspension PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monoxyde de carbone CO (mg/m^3)
Taux de fonctionnement	98 %	98 %	100 %	96 %
Moyenne	23	21	21	0.6
Maximum horaire	198 11/12 à 18h GMT	99 11/12 à 18h GMT	56 13/12 à 18h GMT	2.4 11/12 à 18h GMT
Percentile 98 horaire	80	72	/	/
Maximum journalière	/	/	29	/
Percentile 90.4 jour			27	
Nombre de moyennes sur 8h > 10 mg/m^3	/	/	/	0
Nombre de moyennes sur 1h > 30 mg/m^3	/	/	/	0
Nombre de moyennes sur 30 min > 60 mg/m^3	/	/	/	0
Nombre de moyennes sur 15 min > 100 mg/m^3	/	/	/	0

Tableau 2 : valeurs remarquables relevées pour chaque polluant au cours de la période de mesures en air extérieur sur la Place de Verdun à La Rochelle

4.3.1 PM₁₀

Les teneurs en poussières en suspension sont en hausse en décembre par rapport au mois de novembre. Toutefois la moyenne relevée du 7 au 19 décembre 02 reste inférieure à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aucun dépassement de la valeur journalière de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a été relevée au cours de la période de mesure.

4.3.2 NO_x

Seul le dioxyde d'azote fait l'objet de valeurs réglementaires. Celles-ci prennent en compte l'évolution horaire du polluant.

La moyenne au cours de la période de mesures est de 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elle s'inscrit dans une évolution à la hausse des polluants d'origine automobile (PM₁₀, CO, NO_x) en raison de l'accroissement du temps de chauffe des moteurs au cours de la période hivernale et en raison des conditions météorologiques pouvant être moins dispersantes.

Le percentile 98, qui exprime une valeur de pointe, est de 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: il est très inférieur à la valeur limite européenne de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le rapport NO/NO₂ pour la période de mesures, est de 0.74 pour des concentrations exprimées en µg/m³. Ce rapport inférieur à 1 traduit la capacité de dispersion des polluants sur le site de la Place de Verdun.

4.3.3 CO


La teneur moyenne en CO au cours de la période est modérée avec 0.6 mg/m³. La valeur horaire maximale est relevée aux traditionnelles heures de pointe le 11 déc. 02 à 18 h GMT (soit 19h, heure locale). Elle correspond également aux valeurs maximales horaires de dioxyde et monoxyde d'azote. Aucune valeur moyenne sur 15 minutes, 30 minutes, 1 heure ou 8 heures ne dépasse les valeurs recommandées par l'OMS (respectivement 100, 60, 30 et 10 mg/m³).

4.3.4 Conclusion

Au cours de la période s'étendant du 7 au 19 décembre 02, les valeurs horaires maximales pour les 4 indicateurs suivis (NO, NO₂, CO, PM₁₀) sont relevées pour les traditionnelles heures de pointe correspondant aux trajets domicile ↔ travail. Cela reflète l'importance du trafic automobile sur les taux relevés sur la place de Verdun même si le site n'est pas directement soumis à la pollution issue des transports.

Le site de la Place de Verdun, de type urbain, représente la pollution atmosphérique moyenne ressentie par la population locale.

La qualité de l'air est considérée comme bonne à l'extérieur du parking souterrain au cours de la campagne de mesure.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	13/36
---	--	-------

5 Etude de la répartition spatiale de la pollution dans le parking souterrain du 6 au 20 décembre 2002

5.1 Moyens de mesure : les tubes à diffusion passive

Les tubes à diffusion passive proposent une méthode simple de détection de la concentration de certains polluants dans l'atmosphère extérieure.

Le principe est fondé sur un transfert de matière appelé diffusion moléculaire. La diffusion s'exerce par migration du polluant d'une zone de forte concentration vers une zone de captage de concentration initiale nulle.

5.1.1 Tubes de Palmes pour le prélèvement du NO₂



Figure 4 : Tube à diffusion passive Palmes et sa boîte de protection

Pour les tubes Palmes la diffusion s'exerce le long d'un tube contenant deux grilles en acier inoxydable positionnées à l'extrémité supérieure et enduites d'un produit absorbant : la triéthanolamine.

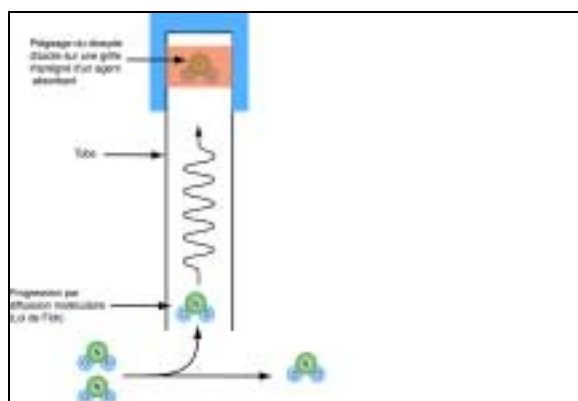


Figure 5 : principe simplifié de fonctionnement du tube à diffusion passive pour le dioxyde d'azote

La concentration se détermine en utilisant la loi de FICK : le flux gazeux est proportionnel à un coefficient de diffusion moléculaire du gaz dans l'air et de la concentration sur la longueur de diffusion. Le tube est exposé dans l'atmosphère à étudier pendant une durée de deux semaines selon les concentrations escomptées. En fin d'échantillonnage, le dosage chimique du dioxyde d'azote absorbé se fait par mesure de la densité optique par spectrophotométrie.

Sa concentration moyenne dans l'atmosphère est calculée pour la durée d'exposition du tube et exprimée en microgrammes par mètres cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

5.1.2 Tubes de Radiello pour le prélèvement des BTX

Figure 6 : tubes à diffusion radiale pour la mesure du benzène dans leur boîte de protection

Les tubes Radiello utilisent un principe identique mais la diffusion s'effectue le long d'une cartouche cylindrique contenant l'agent absorbant ; on parle de diffusion radiale.

5.2 Implantation des tubes dans le parking

Mesure du NO_2 du 6 au 20/12/2002 :

- *Niveau 1 :*
22 sites de mesure ont été choisis de manière à couvrir la surface de la zone et effectuer une **cartographie du NO_2 sur le premier niveau.**
- *Niveaux 2 et 3 :*
6 sites de mesure ont été choisis sur chaque étage du parking afin de pouvoir **comparer l'exposition au NO_2 en fonction des étages.** Le nombre de sites de mesure n'est pas suffisant pour cartographier le NO_2 sur ces étages.

Mesure des BTX (benzène, toluène, xylènes) du 6 au 13/12/2002 :


21 sites de mesure ont été répartis sur les 3 niveaux du parking souterrain, afin de pouvoir **comparer l'exposition aux BTX en fonction des étages.** Ils ont été répartis de la manière suivante :

- *Niveau 1 : 9 sites*
- *Niveau 2 : 6 sites*
- *Niveau 3 : 6 sites*

5.3 Qualité des données

NO_2 :

Afin d'assurer la qualité des mesures, les prélèvements en dioxyde d'azote ont été doublés sur l'ensemble des points de mesure. La concentration indiquée sur chaque site correspond à la moyenne de 2 tubes. L'utilisation de plusieurs échantillonneurs sur un même site nous permet d'offrir une meilleure information des teneurs de polluants et de quantifier la précision des mesures effectuées.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	15/36
---	--	-------

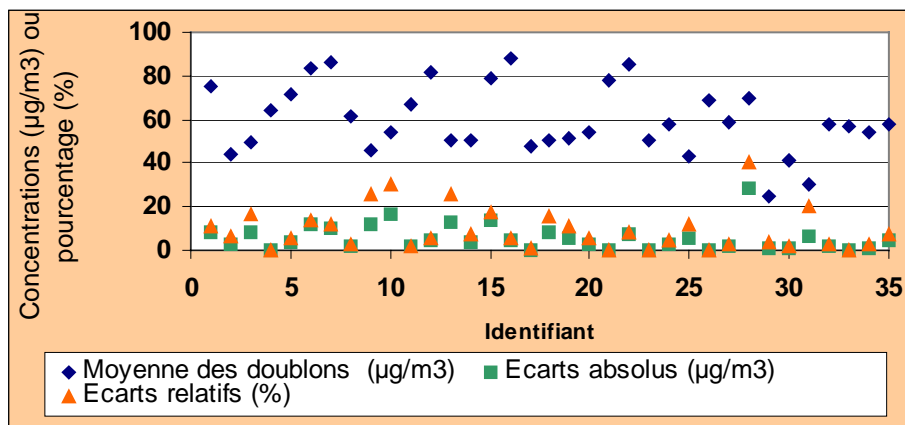


Figure 7 : moyenne des doublons, écarts absolus et relatifs entre les doublons pour le NO₂ sur chaque site

- En moyenne sur l'ensemble des points de mesure NO₂ de la campagne, l'écart relatif entre les doublons est de 9%.
- De plus, sur un point de mesure, deux tubes NO₂ ont été mis en parallèle à un analyseur automatique. L'écart absolu entre la moyenne des tubes et l'analyseur est de 4 µg/m³ alors que l'écart relatif est de 8% (58 µg/m³ pour la moyenne des 2 tubes et 54 µg/m³ pour la moyenne de l'analyseur).

Les résultats de mesures révèlent dans l'ensemble une bonne précision sur les prélèvements réalisés.

BTX :

Le coût d'analyse des BTX étant plus élevé que pour le NO₂, un seul tube Radiello a été implanté par site d'étude dans le parking. L'analyse de doublons lors d'études précédentes montrait une bonne répétabilité de la mesure, notamment sur des sites trafics. De plus deux tubes ont été implantés à l'extérieur du parking sur le même site durant la campagne de mesure, donnant exactement le même résultat (à 0.1 µg/m³ près).

5.4 Introduction à la cartographie

Le but est de représenter le comportement du polluant sur l'ensemble d'une zone d'étude, ici le premier étage du parking souterrain. Le principe de base est de fournir des valeurs en des lieux non échantillonnés grâce à un logiciel d'interpolation géostatistique ISATIS.

La réalisation cartographique tient compte de deux paramètres principaux que sont les coordonnées géographiques des sites de prélèvement et leurs concentrations respectives.

L'interpolation est réalisée à partir d'un modèle corrélé à la structure des données. Cette structure est déterminée par une représentation graphique, appelée variogramme, indiquant la variation de concentrations entre chaque couple de points en fonction de la distance qui les sépare sur l'ensemble de la zone d'étude.

Le mur partageant le premier niveau du parking en 2 moitiés n'a pas pu être pris en compte dans l'interpolation, si bien que 2 points situés de chaque côté du mur ont été considérés comme proches alors qu'ils sont en fait séparés par le mur. La cartographie, présentée figure 6 a pu être quelque peu faussée pour les valeurs interpolées, notamment à proximité du mur. Les valeurs réellement mesurées par les tubes sont superposées à la carte.

5.5 Répartition du NO₂ sur le premier niveau du parking

Les 22 sites de mesure répartis sur le premier niveau du parking souterrain montrent des concentrations moyennes en NO₂ sur la campagne de mesure comprises entre 44 et 91 µg/m³.


A titre de comparaison, la station mesurant simultanément à l'extérieur du parking sur la Place de Verdun donne une concentration moyenne de 21 µg/m³ pour le NO₂. Le parking souterrain est soumis à une circulation importante du 7 au 19 décembre 2002 durant la journée et la pollution émise dans le parking par les véhicules ne peut pas être aussi facilement dispersée et diluée que dans l'air ambiant extérieur.

Rappelons que le polluant à l'origine du fonctionnement des extracteurs du parking est le CO et que le NO₂ n'est pas un polluant réglementé dans les parking souterrains. Il fait cependant l'objet de recommandations en valeur horaire (voir partie 7).

On observe donc une certaine hétérogénéité de la pollution sur le premier niveau du parking. La cartographie de la pollution par le NO₂ et les concentrations mesurées sur les 22 sites de mesure sont représentées sur la figure 8.

La première partie du parking (bas de la carte) naturellement ventilée par les ouvertures de l'entrée et de la sortie du parking présente globalement une pollution moins importante que la seconde partie, ventilée uniquement par des extracteurs (voir figure 9 concernant le plan du parking souterrain). La ventilation naturelle n'est cependant pas le seul paramètre explicatif et il serait intéressant de mieux connaître la circulation dans chaque partie du parking ainsi que les circulations d'air dans le parking du fait des extracteurs.

Les cabines mobiles permettant la mesure en continu de la pollution automobile ont été installées dans la première moitié du parking (voir figure 11) sur le point de mesure par tube présentant la concentration moyenne de 58 µg/m³ (voir partie 6). Il ne s'agit pas ainsi de l'endroit le plus pollué du parking pendant la période de mesure, mais nous ne disposons pas des résultats de ces mesures par tube lors du choix du site et il fallait également tenir compte de contraintes logistiques.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	17/36
---	--	-------

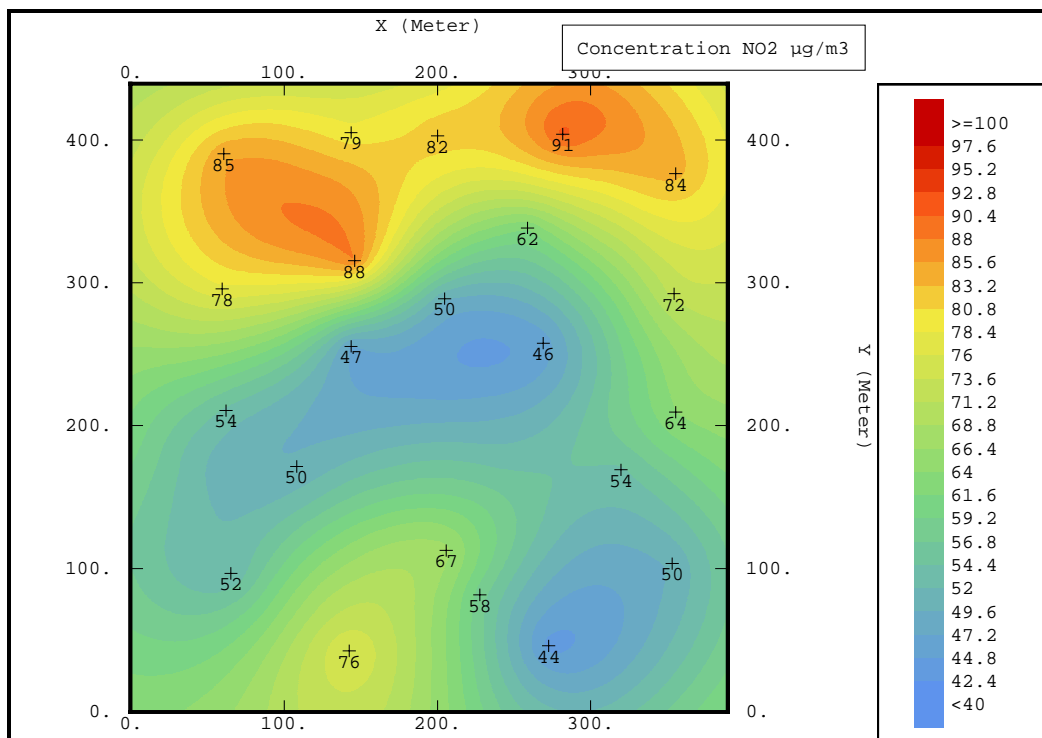
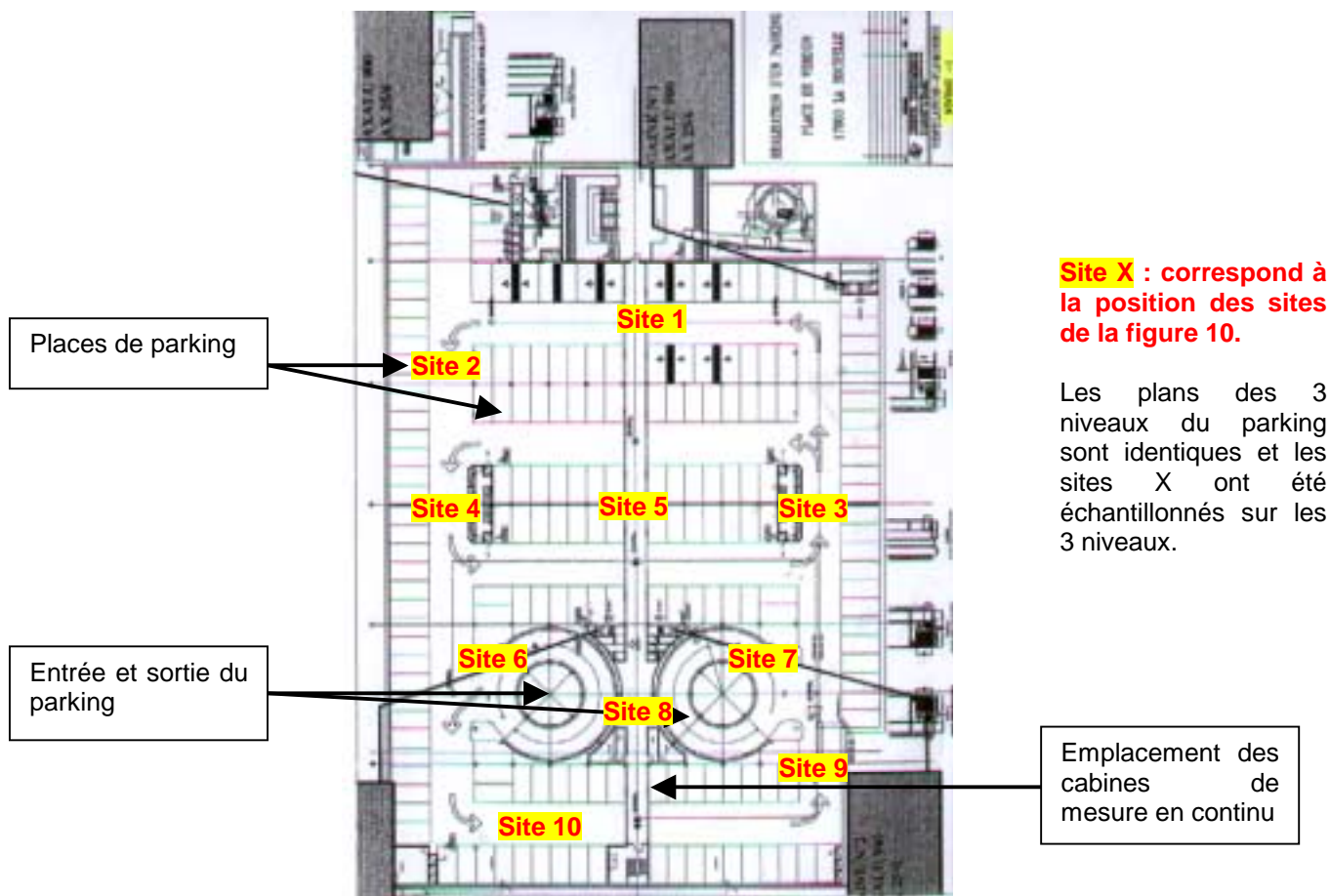


Figure 8 : cartographie du NO₂ au premier niveau du parking souterrain du 6 au 20 décembre 2002 et concentrations sur les 22 points de mesure en µg/m³



Site X : correspond à la position des sites de la figure 10.

Les plans des 3 niveaux du parking sont identiques et les sites X ont été échantillonnés sur les 3 niveaux.

Figure 9 : plan du premier niveau du parking souterrain

5.6 Répartition de la pollution en NO_x et BTX sur les 3 étages

La pollution est nettement plus importante dans le parking souterrain qu'à l'extérieur.

- Pour le NO₂ les concentrations dans le parking varient entre 25 et 91 µg/m³ à l'intérieur du parking alors que la concentration sur la station de la Place de Verdun n'est que de 21 µg/m³.
- Pour le benzène, les concentrations dans le parking varient entre 11 et 32 µg/m³ à l'intérieur du parking alors que la concentration sur la station de la Place de Verdun n'est que de 4.3 µg/m³.
- Pour le toluène, les concentrations dans le parking varient entre 43 et 163 µg/m³ à l'intérieur du parking alors que la concentration sur la station de la Place de Verdun n'est que de 13.3 µg/m³.
- Pour les xylènes, les concentrations dans le parking varient entre 40 et 206 µg/m³ à l'intérieur du parking alors que la concentration sur la station de la Place de Verdun n'est que de 13.7 µg/m³.

On est en effet beaucoup plus proche de la source automobile dans le parking et les conditions de dispersion de la pollution sont moins bonnes qu'en air ambiant extérieur.

Les mesures des tubes NO₂ et BTX réparties sur les 3 étages du parking sont représentées figure 10. Le plan du parking donné en figure 9 est identique sur les 3 étages et nous avons tenté d'implanter les tubes au même endroit du plan (sur le même site) sur les 3 étages. La localisation des sites de mesure de la figure 10 est représentée sur la figure 9. L'échantillonnage du NO₂ a été plus important sur le premier niveau du parking, mais seuls les résultats des sites ayant également été échantillonnés sur les étages inférieurs sont présentés afin de pouvoir comparer la pollution sur les 3 niveaux du parking.

Concernant le NO₂, on observe une diminution de la pollution sur le second niveau par rapport au premier et une diminution de la pollution sur le troisième niveau par rapport au second.


On constate également une diminution de la pollution sur le troisième niveau du parking par rapport au premier pour le benzène, le toluène et les xylènes mais les niveaux de pollution mesurés sur le second niveau sont en moyenne aussi importants que sur le premier niveau. Nous n'expliquons pas cette différence de comportement pour le second étage entre le NO₂ et les BTX.

On peut penser que cette baisse de la pollution lorsque l'on descend dans les étages du parking peut être attribuée à une circulation automobile de plus en plus faible.

Ainsi, si les cabines mobiles permettant la mesure en continu de la pollution automobile n'ont pas été installées dans l'endroit le plus pollué du premier niveau du parking, le choix du premier étage s'avère en revanche plus pertinent que les niveaux inférieurs du fait d'une pollution en moyenne plus importante.

De plus, les sites où ont été mesurés les concentrations les plus élevées en NO₂ présentent dans la plupart des cas de plus fortes concentrations en benzène, toluène et xylènes, et inversement. Cela n'est pas vérifié dans quelques cas, comme par exemple le site 2 au premier niveau qui présente de faibles concentrations en BTX et de fortes concentrations en NO₂. Les 4 polluants sont toutefois globalement bien corrélés entre eux sur les sites de mesure.

Les résultats de mesure des BTX des sites 3, 4, 8 et 9 (non représentés sur la figure 10) uniquement échantillonnés sur le premier niveau du parking sont présentés dans le tableau ci-dessous en comparaison aux concentrations de NO₂. La conclusion effectuée dans le paragraphe précédent est également vérifiée pour ces mesures.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	19/36
---	--	-------

	NO ₂	benzène	toluène	xylènes
site 3	72	27	132	150
site 4	78	32	164	206
site 8	67	21	88	95
site 9	50	26	117	123

Tableau 3 : concentrations en BTX et NO₂ en µg/m³ sur 4 sites de mesure du premier niveau

Il est également intéressant de constater que dans la plupart des cas, les sites les plus fortement pollués au premier niveau le sont également au second et au troisième, et inversement. Là encore, le site 2 fait exception avec de faibles concentrations mesurées en BTX sur le premier étage et de fortes concentrations mesurées sur les 2 autres niveaux. Il est probable qu'un problème technique ait eu lieu (provenant du tube BTX ou de l'analyse) sur ce site au premier étage. Ces résultats tendraient à montrer que la répartition de la pollution sur les 3 niveaux du parking serait sensiblement la même, mais à des niveaux moindres sur les niveaux inférieurs.

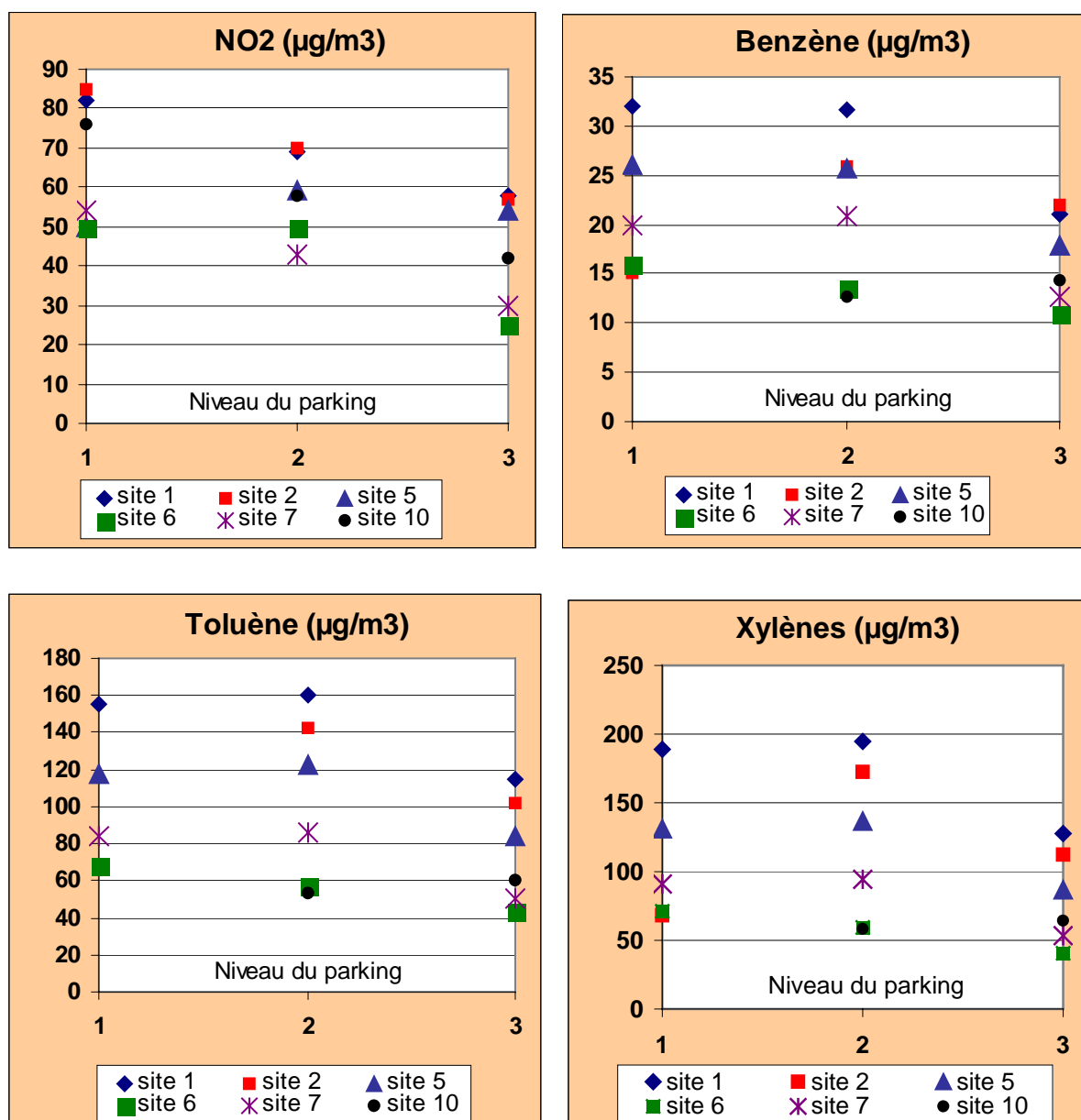


Figure 10 : Evolution des concentrations moyennes en NO₂ du 6 au 20/12/2002 et en benzène, toluène, et xylènes du 6 au 13/12/2002 en fonction du niveau du parking

5.7 Conclusion sur la répartition de la pollution dans le parking souterrain

Les indicateurs de la pollution automobile NO₂ et BTX présentent globalement des concentrations nettement plus élevées dans le parking qu'à l'extérieur, du fait notamment de moins bonnes conditions de dispersion de la pollution.

Ils montrent également des différences de concentrations entre les 3 niveaux du parking. Plus on descend dans les étages du parking et plus la pollution a tendance à être faible (mis à part pour les BTX au second niveau qui ne sont pas en baisse par rapport au premier niveau). Ceci pourrait être lié à une circulation automobile moins importante dans le parking sur les étages inférieurs.

Au premier niveau du parking, une cartographie fine de la pollution par le NO₂ a été effectuée. Elle montre une certaine hétérogénéité de la pollution avec des zones plus ou moins polluées. Malgré un échantillonnage moindre des étages inférieurs, les résultats tendent à montrer une répartition de la pollution à peu près semblable sur les niveaux 2 et 3.

On constate également une bonne corrélation entre la répartition de la pollution dans le parking par le NO₂, le benzène, le toluène et les xylènes.

6 Evolution de la pollution à l'intérieur du parking du 7 au 19 décembre 2002 - comparaison avec la pollution à l'extérieur du parking

6.1 Moyens de mesure

Dans cette partie, nous allons dresser un bilan des mesures réalisées du 6 au 20 décembre 2002 à l'aide d'analyseurs permettant le suivi en continu de polluants atmosphériques gazeux et particulaires choisis pour leur pertinence par rapport aux sources d'émissions (NO_x, PM₁₀ et CO).


Deux cabines de mesure ont été implantées dans le parking souterrain de la Place de Verdun au premier niveau du parking à côté de l'emplacement de la station de mesure prélevant à l'extérieur du parking (voir figure 9). Ce site présentait une concentration moyenne en NO₂ de 58 µg/m³ sur la campagne (voir partie précédente) alors qu'à l'intérieur du parking, les concentrations variaient entre 44 et 91 µg/m³. Le positionnement des cabines dans le parking ne correspond pas à la zone la plus polluée par le NO₂ pendant la période d'étude et des concentrations supérieures en polluants auraient pu être observées à d'autres endroits du parking.

Le pas de temps de la mesure est le quart d'heure : l'étude des polluants suivis par cette méthode est donc plus fine que celle des tubes à diffusion passive et permet de mettre en évidence les variations horaires ou journalières pour chaque polluant étudié.



Figure 11 : photo des cabines mobiles contenant les analyseurs automatiques de NO_x, PM₁₀ et CO

Ces outils de mesure permettent un suivi en continu de l'évolution des concentrations en polluants dans l'air. Les deux cabines étaient reliées au poste central à Périgny par voie GSM ce qui a permis d'avoir accès aux données tous les jours par rapatriement des données au poste central. Ces données ont été soumises à une double validation : technique et environnementale.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	22/36
---	--	-------

6.2 Ratios air intérieur / air extérieur

Dans cette partie, nous comparons les concentrations mesurées au niveau des cabines mobiles installées au premier niveau du parking (voir figure 9) avec les concentrations mesurées en air ambiant extérieur sur la Place de Verdun. Le tableau suivant résume les écarts de concentrations moyennes entre ces deux sites.

	NO ₂ (µg/m ³)	NO (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	CO (mg/m ³)	benzène * (µg/m ³)
Intérieur du parking	54	169	39	3.9	de 11 à 32
Place de Verdun	21	23	21	0.6	4.2
ratio intérieur / extérieur	2.6	7.3	1.9	6.5	2.6 à 7.6

Tableau 4 : comparaison des concentrations moyennes du 7 au 19/12/2002 de polluants à l'intérieur et à l'extérieur du parking de la Place de Verdun

* : données issues de tubes passifs BTX répartis dans le parking et au niveau de la tête de prélèvement de la station de la Place de Verdun

Nous avons constaté sans surprise que les teneurs moyennes relevées à l'intérieur de l'ouvrage sont plus importantes que celles relevées à l'extérieur. En effet, en air ambiant extérieur, les polluants sont dilués dans l'atmosphère alors qu'ils se répartissent dans un volume plus faible à l'intérieur du parking. De plus, le point de mesure dans le parking se situe plus proche de la source automobile que celui de la station de la Place de Verdun.

Le monoxyde d'azote est présent dans les gaz d'échappement à des concentrations supérieures au dioxyde d'azote. Ses teneurs sont donc plus importantes sur les sites de type trafic qui correspondent à une exposition maximale à la pollution atmosphérique liée aux transports. Dans le cadre de notre étude, on peut constater sans surprise que les teneurs moyennes relevées à l'intérieur de l'ouvrage sont plus importantes que celles relevées à l'extérieur. Cela est d'autant plus vrai pour le monoxyde d'azote, du fait d'une chimie de l'atmosphère moins active. Le rapport NO/NO₂ pour la période de mesure est très nettement supérieur à 1 avec une valeur de 3.1. Ce rapport supérieur à 1 exprime la capacité d'accumulation des polluants dans le parking souterrain de Verdun au premier niveau.

Ainsi les ratios entre air intérieur et air extérieur sont très élevés pour le monoxyde d'azote NO avec une valeur de 7.3, contre 2.6 pour le ratio relatif au dioxyde d'azote NO₂. En air ambiant extérieur, le monoxyde d'azote s'oxyde rapidement au contact de l'air pour former le dioxyde d'azote.

Les concentrations en particules fines mesurées au premier niveau du parking sont quant à elles en moyenne 1.9 fois plus élevées que dans l'air ambiant à l'extérieur du parking.

Concernant le CO, le ratio air intérieur / air extérieur est de 6.5. Le benzène présente quant à lui des concentrations à l'intérieur du parking de 2.6 à 7.6 fois plus élevées que sur la Place de Verdun.

6.3 Evolution des concentrations journalières et horaires

Les concentrations mesurées au premier étage du parking de la Place de Verdun varient de la même manière que celles mesurées en air ambiant extérieur sur la Place de Verdun (voir figures 12 et 13). En effet, il est vraisemblable qu'en ville les transports routiers constituent la principale source d'émission de ces polluants, de même qu'à l'intérieur du parking. De plus, il est également probable que le trafic autour de la Place de Verdun soit fortement corrélé avec la circulation à l'intérieur du parking souterrain. Ainsi, lorsque les concentrations sont à la hausse certains jours ou certaines heures sur la Place de Verdun, les concentrations sont généralement aussi à la hausse dans le parking.

Le tableau suivant indique les coefficients de corrélation horaires ou journaliers pour les 4 polluants mesurés entre l'intérieur et l'extérieur du parking. On constate des coefficients de corrélation compris entre 0.73 et 0.81 pour le CO, le NO et le NO₂ en valeurs horaires, le coefficient de corrélation horaire pour les PM₁₀ étant un peu plus faible avec 0.55. Les coefficients de corrélation journaliers sont compris entre 0.63 et 0.82 pour le CO, le NO et le NO₂ en valeurs horaires, le coefficient de corrélation horaire pour les PM₁₀ n'étant que de 0.18 mais le nombre de couples pris en compte pour le calcul du coefficient de corrélation pour les PM₁₀ est plus faible. Ces coefficients traduisent la très bonne corrélation des données pour le NO₂, le NO et le CO entre l'air ambiant à l'extérieur du parking et l'air à l'intérieur du parking. Concernant les PM₁₀, polluants particuliers contrairement aux autres polluants mesurés qui sont gazeux, la liaison est moins forte entre les deux sites et d'autres paramètres que la circulation automobile devraient être pris en compte pour expliquer ces écarts.

	NO ₂	NO	PM ₁₀	CO
coefficients de corrélation horaires	0.76	0.81	0.55	0.73
coefficients de corrélation journaliers	0.82	0.72	0.18	0.63

Tableau 5 : coefficients de corrélation horaires et journaliers pour les 4 polluants mesurés entre l'intérieur et l'extérieur du parking.

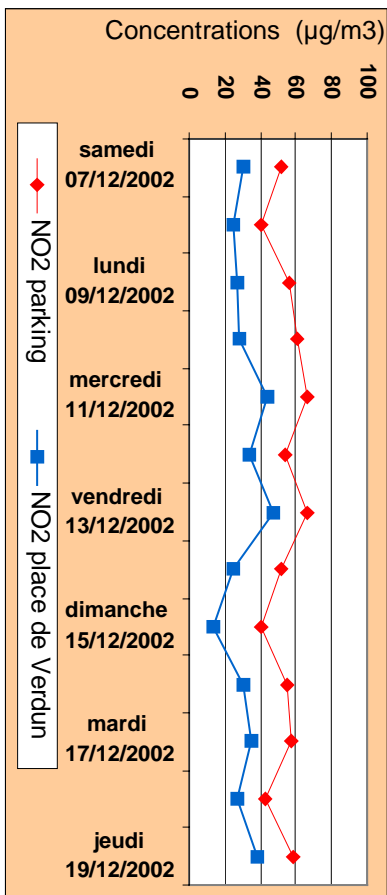
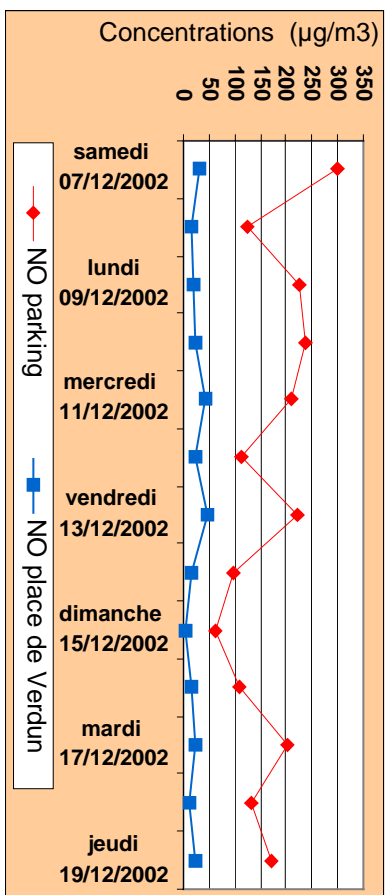
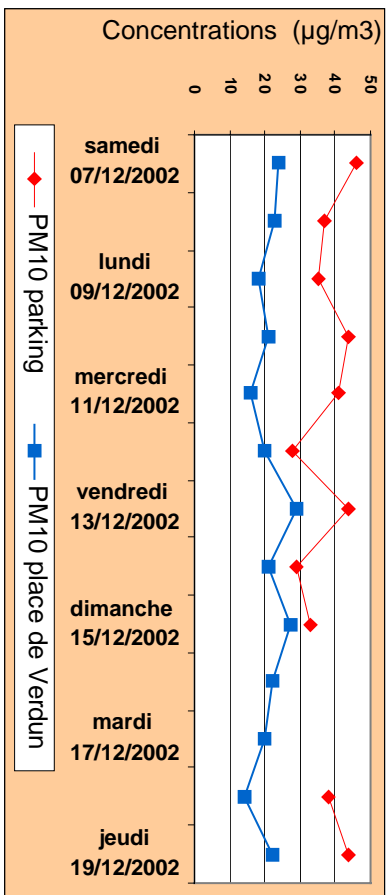
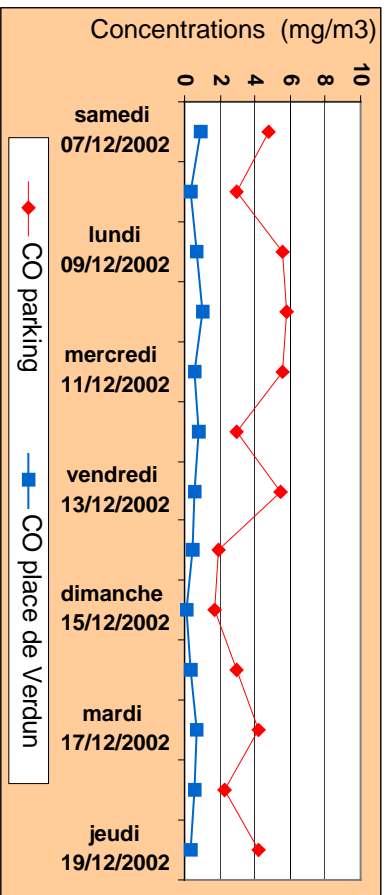
L'examen des figures 12 et 13 montre également que certains jours les écarts de concentrations entre les 2 sites sont plus ou moins marqués. Ces écarts sont d'ailleurs plus élevés pour le NO et le CO que pour les PM₁₀ et le NO₂.

Les figures 12 et 13 ainsi que le tableau 6 mettent en évidence le lien très fort entre les différents polluants mesurés. Les 4 polluants évoluent ainsi simultanément à la hausse ou à la baisse en fonction des émissions par les automobiles et les paramètres météorologiques. Ceci s'explique évidemment par le fait que l'ensemble de ces polluants sont émis par la même source, à savoir les automobiles.

	NO ₂ / NO	NO ₂ /PM ₁₀	PM ₁₀ /CO	NO ₂ /CO
coefficients de corrélation horaires	0.86	0.79	0.82	0.87
coefficients de corrélation journaliers	0.59	0.43	0.68	0.78

Tableau 6 : coefficients de corrélation horaires et journaliers entre les 4 polluants mesurés à l'intérieur du parking.

Figure 12 : évolution comparée des concentrations journalières dans le parking souterrain et à l'extérieur sur la Place de Verdun



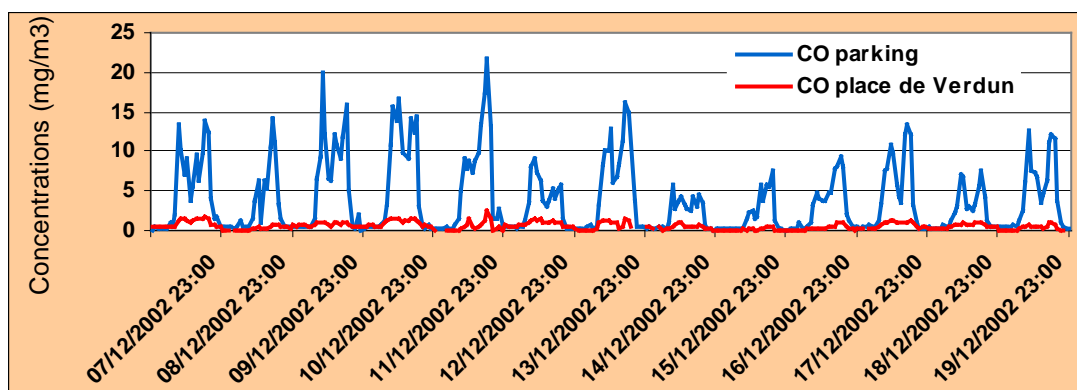
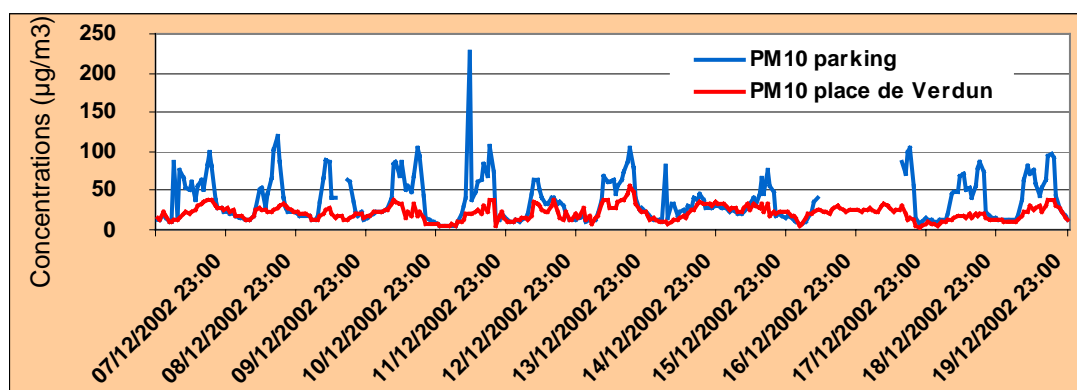
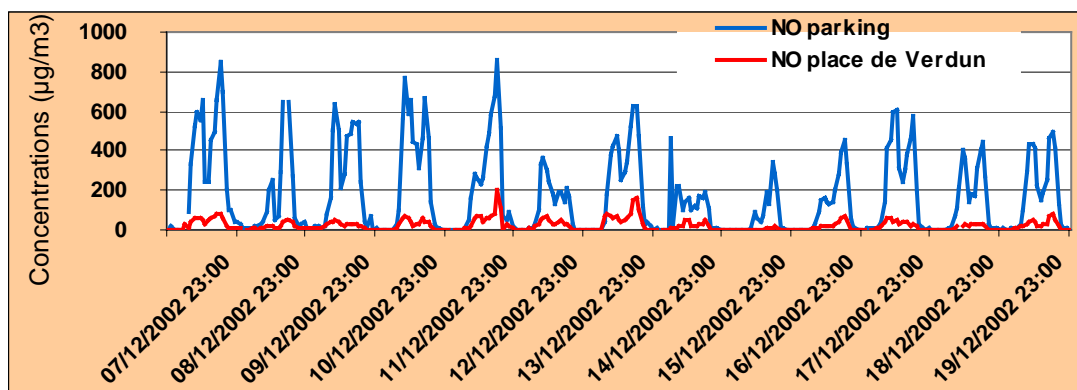
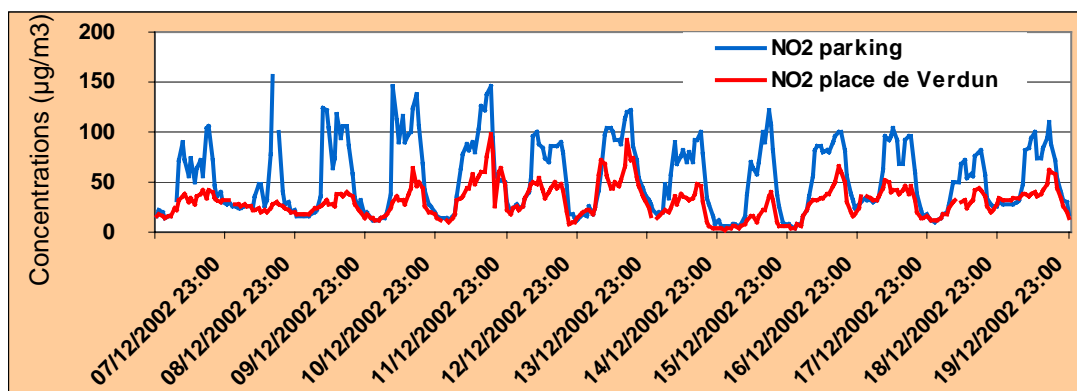


Figure 13 : évolution comparée des concentrations horaires dans le parking souterrain et à l'extérieur sur la Place de Verdun

6.4 Etude des profils journaliers


Les données de franchissement des barrières d'entrée du parking présentées dans cette partie correspondent à une journée type sur la période d'étude. Ces données constituent un indicateur de la circulation dans le parking. La nuit, la circulation dans le parking est quasiment nulle alors que le jour le nombre horaire de franchissements de la barrière d'entrée du parking peut atteindre 4300.

Les 4 polluants étudiés (NO_2 , NO, PM_{10} et CO) présentent des évolutions horaires relativement voisines au cours d'une journée moyenne (voir courbes rouges de la figure 14) :

- Durant la journée, de 7h à 19h GMT (soit de 8h à 20h, heure locale), lorsque le nombre horaire de franchissements de la barrière d'entrée du parking devient supérieur à 1000, les concentrations en polluants sont en très nette hausse. Cette hausse, observée simultanément dans l'air ambiant sur la Place de Verdun est toutefois nettement supérieure dans le parking.
- La nuit, lorsque la circulation dans le parking est quasiment nulle, les concentrations en polluants mesurés dans le parking diminuent pour redescendre au niveau des concentrations observées dans l'air ambiant sur la Place de Verdun.
- Durant la journée, les polluants mesurés présentent un profil en double cloche avec deux périodes (une le matin et l'autre l'après-midi) où les concentrations sont maximales, et une période entre 10h et 13h GMT (soit entre 11h et 14h, heure locale) où les concentrations sont à la baisse.
- Les variations de concentrations sont bien corrélées avec l'indicateur de la circulation automobile dans le parking qui présente également un profil journalier en double cloche. On peut toutefois constater deux phénomènes particuliers caractéristiques de la pollution dans le parking :
 - Les concentrations maximales de polluants mesurées dans le parking ne sont pas observées juste lorsque la circulation est la plus importante, mais quelques heures après alors que la circulation est toujours importante mais en légère baisse. Cela met ainsi en évidence l'accumulation des polluants dans le parking, une partie des polluants mesurés à une certaine heure allant demeurer dans l'air du parking les heures suivantes.
 - De même, lorsque la circulation dans le parking est en très nette baisse, les concentrations de polluants vont également se réduire, mais avec un décalage de quelques heures avec la circulation, pour atteindre les niveaux de fond mesurés en air ambiant extérieur.

On distingue cependant des comportements quelque peu différents en fonction du polluant étudié :

- Les écarts de concentrations entre l'air du parking et l'air ambiant extérieur sont plus importants pour le NO et le CO que pour les PM_{10} et le NO_2 .
- Concernant les NO_x , si on compare les niveaux mesurés dans le parking aux niveaux mesurés en air ambiant extérieur, le NO est plus présent dans le parking que le NO_2 . On est en effet beaucoup plus proche de la source automobile dans le parking que sur la Place de Verdun et le NO va s'oxyder en NO_2 dans l'air. Plus la mesure est représentative d'une source automobile proche, plus le rapport NO/NO_2 est important.
- Le NO_2 présente une baisse moins importante entre 10h et 13h que les autres polluants (CO, NO et PM_{10}). Cela peut résulter du fait qu'il s'agit d'un polluant à la fois directement émis par les échappements (comme le CO, le NO et les PM_{10}) mais aussi issu de l'oxydation du NO dans l'air.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	27/36
---	--	-------

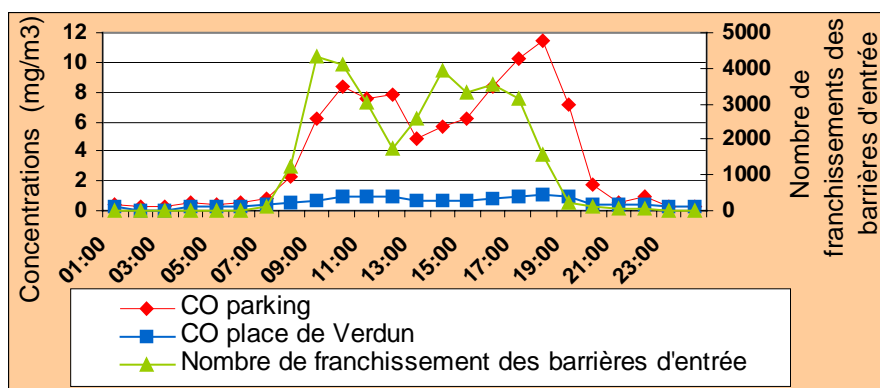
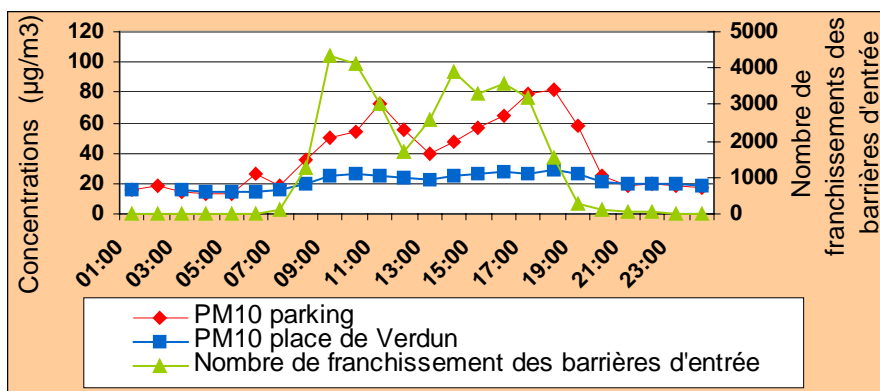
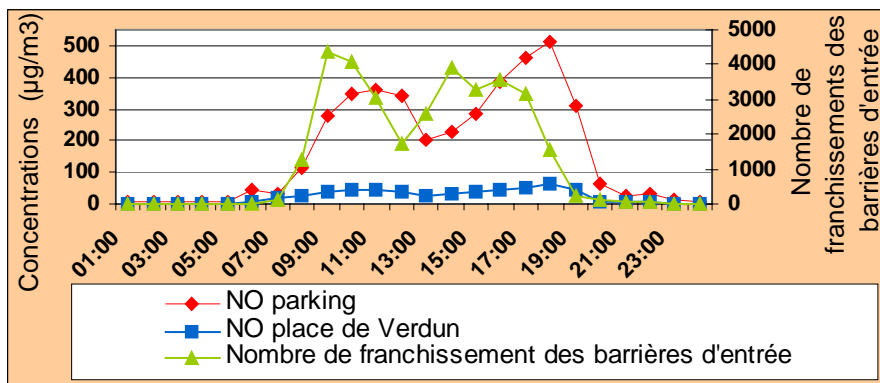
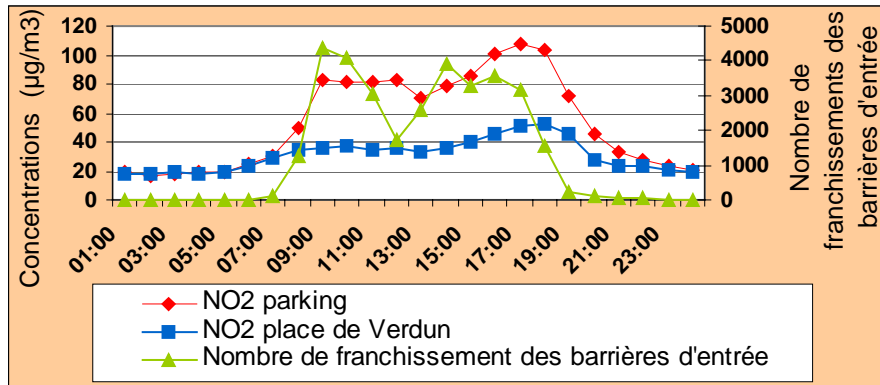


Figure 14 : profils horaires journaliers dans le parking souterrain et à l'extérieur sur la Place de Verdun en comparaison avec le nombre de franchissements des barrières d'entrée sur une journée type.

6.5 Conclusion sur l'évolution de la pollution dans le parking

Nous avons mis en évidence que l'ensemble des polluants surveillés de manière continue dans le parking évoluent de manière relativement similaire durant la campagne de mesure. On observe une forte corrélation entre les concentrations des différents polluants dans le parking et la circulation dans le parking. On observe également une forte corrélation entre les concentrations de polluants à l'intérieur du parking et dans l'air ambiant à l'extérieur de celui-ci. Le jour, les concentrations sont élevées par rapport à l'air ambiant extérieur et on observe 2 pointes de pollution. La nuit, en l'absence de circulation dans le parking, les concentrations de polluants diminuent en quelques heures pour rejoindre les niveaux relevés à l'extérieur du parking. Nous avons aussi mis en évidence une certaine accumulation de la pollution dans le parking, les concentrations maximales étant relevées quelques heures après la pointe de circulation.

Signalons tout de même que le point de mesure était situé proche des aérations naturelles du parking du premier niveau et il serait intéressant de voir si les polluants se comportent de la même manière à un autre endroit du premier niveau ou sur les étages inférieurs.

7 Comparaison aux valeurs réglementaires existantes

7.1 Rappel des valeurs réglementaires existantes

REGLEMENTATION RELATIVE AUX PARCS DE STATIONNEMENT :

La réglementation spécifique aux parcs de stationnement vise à maintenir à l'intérieur de ces espaces clos une qualité d'air assurée par une ventilation suffisante pour s'opposer efficacement à la stagnation même locale, de gaz nocifs ou inflammables.

Elle consiste soit à définir des valeurs limites à ne pas dépasser en monoxyde de carbone sur des laps de temps déterminés (cas de la circulaire du 3 mars 1975 et de la rubrique 331 bis des Installations Classées), soit à garantir un renouvellement d'air suffisant pour pouvoir être utilisé en désenfumage (cas de l'arrêté du 31 janvier 1986 et de la rubrique 331 bis version 93).

Tout parc de stationnement de capacité supérieure à 250 véhicules est classable :

- si sa capacité reste comprise entre 250 et 1000 véhicules, il est soumis à déclaration (cas du parking de Verdun)
- si sa capacité excède 1000 véhicules, il est soumis à autorisation.

Dans les parcs la ventilation peut être naturelle ou mécanique. A partir du 1^{er} janvier 1993, des dispositions en matière d'installation ont été imposées :

- ventilation naturelle : la section minimale des orifices de ventilation doit être de 6 dm²/véhicule
- ventilation mécanique : le débit minimum d'extraction doit être de 600 m³/h/véhicule.
- pour les parcs de stationnement de capacité supérieure à 500 véhicules, il est imposé une installation de détection en continu de CO.

Hormis les valeurs réglementaires et recommandées pour l'atmosphère des locaux de travail qui s'appliquent à un grand nombre de polluants (gazeux et particulaires), **seul le monoxyde de carbone CO est retenu actuellement à titre réglementaire comme critère de qualité de l'air dans les parcs de stationnement souterrains classés.**

- **La teneur moyenne calculée sur toute période de 8 heures consécutives ne doit pas dépasser 30 ppm de CO**
- **La teneur moyenne calculée sur toute période de 20 minutes de devra pas dépasser 100 ppm de CO**
- **La teneur instantanée ne devra pas dépasser 200 ppm de CO**

RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX PARCS DE STATIONNEMENT :

Un groupe de travail du CSHPF a été chargé de travailler sur la qualité de l'air dans les ouvrages souterrains ou couverts et proposer des mesures propres à améliorer la santé et la sécurité des usagers. (rapport publié en décembre 1998)

Certaines études effectuées dans des parcs de stationnement (parcs Vaugirard et Meyerbeer à Paris) ont permis de conclure que, dans l'état actuel du parc automobile de véhicules particuliers, il convient de rester à l'asservissement de la ventilation au CO. Cependant le groupe de travail propose que les seuils réglementaires en CO dans les ouvrages soient basés sur les recommandations OMS de 1987, à savoir :

90 ppm (100 µg/m³) sur toute période de 15 minutes, au lieu de 100 ppm sur 20 minutes, fixé actuellement. Ceci correspondant à une diminution du niveau d'exposition dans l'ouvrage d'environ 20%.

50 ppm (60 mg/m³) sur toute période de 30 minutes.

Ces choix des seuils tiennent compte du temps de séjour moyen d'un usager dans un parc de stationnement et ils permettent également à l'exploitant de définir avec réalisme les conditions de fonctionnement de l'installation de ventilation pour respecter ce seuil.

De même, pour la teneur instantanée à ne pas dépasser en toute circonstance, le groupe de travail suggère de diminuer la valeur à 150 ppm (au lieu de 200). Ces diminutions des seuils en CO paraissent tout à fait réalisables dans les parcs publics en exploitation, compte tenu de la diminution des émissions unitaires des véhicules légers récents.

En ce qui concerne les oxydes d'azote (NO et NO₂), bien que les études réalisées dans les parcs de stationnement ne présentent pas de niveaux élevés, il semble préférable au groupe de travail de recommander à l'avenir pour les parcs de capacité supérieure à 500 véhicules l'installation également d'une détection de ces composés. **La teneur en NO₂ ne doit pas dépasser 0.4 ppm (800 µg/m³) sur toute période de 15 minutes.**

REGLEMENTATION RELATIVE A L'AIR INTERIEUR :


L'évaluation des risques sur les environnements intérieurs reste encore insuffisante en France en ce qui concerne la nature des dangers. Les facteurs de risques sont loin d'être totalement explorés et de nombreuses substances ne sont pas évaluées.

La connaissance des expositions est peu développée dans les bâtiments. De même, il n'existe pas à l'heure actuelle de valeurs limites dans ces environnements, excepté pour l'amiante. Par contre des organismes comme l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) ont élaboré des recommandations (valeurs-guides), rassemblées dans la norme expérimentale XP X 43-401 pour les audits de la qualité de l'air dans les bâtiments à usage de bureaux et locaux similaires. D'autres normes de ce type sont en préparation pour les logements et les transports. L'ensemble des valeurs-guides correspondant aux polluants recherchés dans cette étude est rassemblé dans le tableau ci dessous.

Nous ne pouvons cependant pas assimiler un parking souterrain à des bâtiments à usage de bureaux et la comparaison des valeurs mesurées à cette norme n'est donnée qu'à titre indicatif.

Paramètre	Valeurs-guides	Temps d'exposition	Source documentaire
Monoxyde de carbone CO	10 ppm (12 mg/m ³) 25 ppm (29 mg/m ³) 50 ppm (58 mg/m ³)	8 h 1 h 30 mn	OMS Air Quality Guidelines (1987)
Dioxyde d'azote NO ₂	0,08 ppm (150 µg/m ³) 0,21 ppm (400 µg/m ³)	8 h 1 h	CSHPF
Particules fines PM ₁₀	130 µg/m ³	24 h	Recommandations du CSHPF de 07/93
Benzène	10 µg/m ³ (objectif 2µg/m ³)	annuel	CSHPF
Toluène	7,5 mg/m ³ 1 mg/m ³	24h 30 mn	OMS Air Quality Guidelines (1987)

Tableau 7 : valeurs guides concernant différents polluants de l'air intérieur

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	31/36
---	--	-------

REGLEMENTATION EN AIR AMBIANT :

Les valeurs limites et objectifs de qualité en air ambiant, s'ils sont applicables aux mesures de la station de la Place de Verdun en air ambiant extérieur ne sont utilisables qu'à titre indicatif (afin de disposer de valeurs de comparaison supplémentaires) pour les mesures réalisées dans le parking souterrain. De plus, les valeurs réglementaires sont bien souvent des valeurs annuelles qui peuvent difficilement être comparées aux mesures effectuées lors des 15 jours de campagne.

Le monoxyde de carbone CO

Valeur limite : maximum journalier de 10 mg/m^3 en moyenne sur 8 heures

Les oxydes d'azote NO et NO₂

Seuil d'information : $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ sur une heure

Seuil d'alerte : $400 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ sur une heure ou $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ sur une heure si ce niveau a été atteint la veille, le jour J et si les prévisions permettent d'envisager un dépassement pour le lendemain.

Objectif de qualité : $40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle

Valeurs limites : - percentile 98 = $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ sur une heure jusqu'au 31 déc. 2009
- moyenne annuelle = $56 \text{ } \mu\text{g/m}^3$

Les particules en suspension PM₁₀ :

Objectif de qualité : $30 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle

Valeur limite : - percentile 90,4 = $65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en données journalières, en 2002
- moyenne annuelle = $44 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en 2002

Le benzène C₆H₆ :

Objectif de qualité : $2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle

Valeur limite : $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle

7.2 Etude par polluant

BENZENE :

Indicateurs :

- Moyennes sur 7 jours des 17 sites de mesure comprises entre 11 et $32 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Normes de comparaison à titre indicatif :

- Valeur guide de $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ et objectif de qualité de $2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle selon le CSHPF à l'intérieur des bâtiments à usage de locaux.
- En air ambiant extérieur : valeur limite de $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ et objectif de qualité de $2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle

Conclusion :

- Bien qu'il n'existe pas de norme de qualité de l'air à respecter pour le benzène dans les parking souterrains, les concentrations mesurées sur les 3 niveaux du parking pendant la semaine de mesure sont supérieures aux valeurs annuelles réglementaires en vigueur ou recommandées dans d'autres atmosphères (air ambiant ou bureaux).

NO₂ :

Indicateurs :

- Moyennes sur 15 jours des 34 sites de mesure comprises entre 25 et 91 µg/m³.
- Maxima respectivement sur 8 heures, horaires et quart-horaires sur le site de mesure (où la moyenne sur 15 jours était de 54 µg/m³) de 113 µg/m³, 156 µg/m³ et 254 µg/m³.
- Percentile 98 sur le site de mesure (où la moyenne sur 15 jours était de 54 µg/m³) de 125 µg/m³.

Normes de comparaison à titre indicatif :

- Recommandations pour le NO₂ dans les parcs de stationnement : 0.4 ppm (800 µg/m³) sur toute période de 15 minutes.
- Valeur guide de 150 µg/m³ sur 8 heures et de 400 µg/m³ sur 1 heure selon le CSHPF à l'intérieur des bâtiments à usage de locaux.
- En air ambiant extérieur : percentile 98 de 200 µg/m³ sur une heure, moyenne annuelle de 56 µg/m³, seuil d'information de 200 µg/m³ et seuil d'alerte de 400 µg/m³.

Conclusion :

- La valeur quart-horaire de 800 µg/m³ à ne pas dépasser dans un parc de stationnement est largement respectée durant la campagne de mesure sur le point de mesure.
- Les seuils d'information de la population et d'alerte, le percentile 98 horaire en vigueur dans l'air ambiant sont respectés durant la campagne de mesure dans le parking.
- Les valeurs guides recommandées à l'intérieur de locaux de type bureau sont respectées durant la campagne de mesure dans le parking.
- Une partie des 34 points de mesure présente une moyenne sur les 15 jours de campagne plus élevée que la valeur limite en moyenne annuelle en vigueur en air ambiant (voir partie 5).

CO

Temps d'exposition	valeur limite parc de stationnement (mg/m ³)	recommandations parc de stationnement (mg/m ³)	valeurs guides air intérieur bureaux (mg/m ³)	valeur limite air ambiant (mg/m ³)	valeur maximale mesurée dans le parking (mg/m ³)
Instantané	233	175			
15 min		105			41.7
20 min	116				
30 min		58	68		27.4
1h		0	34		21.8
8h	35	0	14	10	12.6

Tableau 8 : comparaison des mesures de CO effectuées dans le parking de la Place de Verdun aux valeurs réglementaires applicables aux parcs de stationnement ou dans d'autres atmosphères

- Les valeurs réglementaires et recommandées à respecter dans les parcs de stationnement sont largement respectées pour le CO sur la période de mesure. Rappelons toutefois que selon l'étude de la répartition de la pollution dans le parking, le site de mesure n'a pas été

choisi à l'endroit le plus pollué du parking pendant la période de mesure. Il est cependant probable que ces valeurs soient respectées sur l'ensemble du parking.

- La valeur limite sur 8 heures à respecter dans l'air ambiant est dépassée à plusieurs reprises dans le parking souterrain.

PM10

Indicateurs :

- Moyenne sur 15 jours de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Percentile 90.4 de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Maximale journalière de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Normes de comparaison à titre indicatif :


- En air ambiant extérieur : valeur limite de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et objectif de qualité de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, percentile 90.4 journalier de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Valeur guide de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures selon le CSHPF à l'intérieur des bâtiments à usage de bureaux.

Conclusion :

- Il n'existe pas de valeur réglementaire ni de valeur recommandée à respecter dans les parcs de stationnement pour les particules fines.
- La concentration moyenne sur la campagne est inférieure à la valeur limite annuelle et supérieure à l'objectif de qualité annuel, ces réglementations étant en vigueur en air ambiant extérieur.
- La maximale journalière et le percentile 90.4 sur la période d'étude sont inférieurs aux valeurs réglementaires et aux valeurs guides fixées pour l'air ambiant et dans les locaux à usage de bureaux.

TOLUENE

Les concentrations mesurées à l'intérieur du parking, comprises entre 50 et $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur la semaine de mesure sont inférieures aux valeurs guides existantes sur 24 heures et 30 minutes définies par l'OMS.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	34/36
---	--	-------


7.3 Conclusion sur la comparaison aux valeurs réglementaires

Rappelons que les cabines mobiles n'ont pas été implantées dans l'endroit le plus pollué de parking par le NO₂ durant la période de mesure.

Dans les parcs de stationnement, seules les concentrations en CO sont réglementées et les concentrations mesurées respectent les valeurs réglementaires sur le site de mesure et probablement sur l'ensemble du parking souterrain. Le NO₂, qui n'est pas réglementé dans les parcs de stationnement mais qui fait l'objet de recommandations par le CSHPF dans ce type de lieux, respecte également la valeur guide sur le site de mesure.

Ces deux polluants (CO et NO₂) sont également réglementés dans l'air ambiant et font l'objet de valeurs guides dans les locaux à usage de bureaux. Concernant le NO₂, les valeurs de référence sont respectées mis à part les moyennes sur la campagne de plusieurs sites de mesure qui dépassent largement la valeur limite annuelle en vigueur en air ambiant. Compte tenu de la courte durée de la campagne, nous ne pouvons pas estimer de moyenne annuelle pour le NO₂ sur les sites étudiés. Concernant le CO, les valeurs de référence sont respectées mis à part la valeur limite sur 8 heures en vigueur en air ambiant qui est dépassée à plusieurs reprises.

Concernant le benzène et les PM₁₀, leurs concentrations sont réglementées dans l'air ambiant et font l'objet de valeurs guides dans les locaux à usage de bureaux. Concernant les PM₁₀, la moyenne sur la campagne est juste inférieure à la valeur limite annuelle en vigueur en air ambiant et il n'est pas exclu que sur un an, la valeur limite soit dépassée sur certains sites. La concentration maximale journalière et le percentile 90.4 journalier respectent les autres valeurs de référence sur la campagne de mesure. Concernant le benzène, les concentrations moyennes sur la campagne sont supérieures sur tous les sites de mesure à l'ensemble des valeurs guides, valeurs limites et objectifs de qualité annuels en vigueur en air ambiant ou dans les locaux à usage de bureaux.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	35/36
---	--	-------


8 Conclusion

Cette étude a permis de mieux connaître l'exposition de la population à la pollution atmosphérique dans le parking souterrain de la Place de Verdun. Les niveaux de pollution rencontrés y sont nettement supérieurs à ceux mesurés en air ambiant extérieur sur la Place de Verdun du fait de moins bonnes conditions de dispersion de la pollution.

Les normes de qualité de l'air ou valeurs guides définies pour le CO et le NO₂ dans ce type d'ouvrages sont respectées. Tous les polluants mesurés dans cette étude ne font cependant pas l'objet de réglementation dans les parking souterrains. La comparaison des concentrations de polluants aux normes existantes pour l'air ambiant extérieur et pour l'air intérieur dans les locaux non industriels de type bureau montre qu'elles dépassent fréquemment ces normes. Il ne s'agit toutefois que de comparaisons indicatives en l'absence de réglementation pour ces polluants dans les parking souterrains.

Cette étude a également permis de caractériser la répartition de la pollution dans le parking souterrain pour le NO₂ et les BTX. Le premier niveau du parking, plus circulant, présente des concentrations en moyenne plus élevées en polluants que les étages inférieurs. Chaque niveau présente aussi des zones plus ou moins polluées. La répartition de la pollution par étage semble relativement comparable pour les 3 niveaux et pour les 4 polluants étudiés.

La mesure en continu des NO_x, PM₁₀ et CO sur un site de mesure du premier niveau a montré la forte corrélation de la pollution à l'intérieur du parking avec celle mesurée à l'extérieur de celui-ci. Les différents polluants présentent un comportement similaire durant la campagne de mesure et les niveaux de pollution sont fortement liés à la fréquentation du parking par les automobiles. Quelques heures après la baisse de la fréquentation dans le parking, les niveaux de pollution diminuent pour rejoindre les niveaux de fond en air ambiant extérieur.

	Etude de la qualité de l'air dans le parking souterrain de la Place de Verdun à La Rochelle du 6 au 20/12/2002	36/36
---	--	-------