

Impact de l'utilisation dans un parc de stationnement souterrain d'un carburant additionné d'ETBE

Impact of using the fuel additive ETBE in an underground parking garage

Nicolas RISLER (*), Jacques DONATI (*), Henri VIELLARD (*)

RÉSUMÉ

L'étude porte sur l'impact de l'addition de 15 % d'ETBE (Ethyltertiobutyléther) dans un supercarburant utilisé par des véhicules fréquentant un parc de stationnement souterrain à Paris. Deux campagnes de mesure ont été réalisées dans ce parc, la première du 9 au 20 avril 1996 les véhicules étant alimentés par du carburant sans plomb et la deuxième du 22 avril au 8 mai 1996 les mêmes véhicules étant alimentés par ce carburant comportant 15 % d'ETBE.

Dans l'atmosphère du parc, les polluants suivants ont été mesurés

- monoxyde de carbone CO ;
- monoxyde et dioxyde d'azote NO et NO₂ ;
- dioxyde de soufre SO₂ ;
- indice de fumées noires FN ;
- hydrocarbures aromatiques monocycliques HAM (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes et 1,2,4 triméthylbenzène) ;
- aldéhydes (formaldéhyde et acétaldéhyde).

En rapportant les teneurs obtenues au comptage des véhicules en mouvement dans le parc, et en comparant les deux campagnes de mesure, nous pouvons en conclure que l'incorporation de 15 % d'ETBE dans le carburant permet d'observer dans l'atmosphère confinée du parc :

- une baisse de CO (environ 10 %) ;
- une baisse de l'indice de fumées noires (30 à 40 %) ;
- aucune différence significative pour SO₂, NO et les HAM ;
- une augmentation de 10 à 25 % de formaldéhyde et de 60 à 90 % d'acétaldéhyde.

Le bilan global semble relativement favorable pour les polluants réglementés et les principaux indicateurs de pollution atmosphérique. Mais la forte augmentation des teneurs en acétaldéhyde n'est pas sans poser une interrogation, non seulement en matière d'impact sanitaire mais également pour sa contribution aux mécanismes de photochimie dans l'air ambiant extérieur.

ABSTRACT

This study considers the impact of adding a proportion of 15 % ETBE (Ethyltertiobutylether) to gasoline consumed by vehicles using an underground parking garage in Paris. Sampling site is one floor whom have 14 allocations. Twelve vehicles have been shared in the experiment ; all are recent funch made light-duty gasoline vehicles with three-way catalyst. Two measurements were taken in the garage. Firstly between the 9th and 20th April 1996 for vehicles fuelled by leadfree petrol, and secondly between the 22nd April and the 8th May 1996 for the same vehicles using fuel including a 15 % proportion of ETBE.

The following pollutants were measured in the car park's atmosphere :

- Carbon monoxide CO ;
- Nitrogen monoxide and nitrogen dioxide NO, NO₂ ;
- Sulfur dioxide SO₂ ;
- Black smoke index ;
- Monocyclic aromatic hydrocarbons MAH (benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes and 1,2,4 trimethylbenzene) ;
- Aldehydes (Formaldehyde and acetaldehyde).

The exploitations of data series obtained for pollutants are made by linking values to the number of vehicles moving in the floor of the parking garage. Comparison between both data series for each pollutant are managed by analysis with statistical tests of means and, more appropriate, medians. In order to show these comparisons, we draw for each pollutant quantile-quantile graph where the quantile values are plotted as pairs. From the results of two measuring tests, we can conclude that the addition of 15 % ETBE to the petrol resulted in the following changes to the composition of the atmosphere in the car park :

- a reduction in CO of about 10 % ;
- a reduction in the black smoke index of between 30 % and 40 % ;
- no significant change in the atmospheric content of SO₂, NO and MAH ;
- an increase in the content of formaldehyde of between 10 % and 25 % and of acetaldehyde of between 60 % and 90 %.

The overall results would appear to be positive for regulated pollutants and the main indicators of automotive pollution. However the high increase in the acetaldehyde air content should be considered, not only with respect to sanitary implications but also regarding its contribution to photochemical mechanisms in the ambient air.

(*) Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris, 39 bis rue de Dantzig - 75015 Paris.

Introduction

La pollution atmosphérique urbaine, due en grande partie au trafic automobile, est une des préoccupations majeures de notre temps. Actuellement, en France et selon le CITEPA, les véhicules produisent 60 % des émissions de CO, 68 % des émissions de NO_x et 46 % des composés organiques volatils [1]. Ce même trafic automobile contribue également à la pollution globale (effet de serre notamment).

Pour diminuer son importance, la communauté européenne a imposé notamment de sévères réductions des émissions des véhicules à moteur à allumage commandé, ce qui s'est traduit par la mise en place de pots catalytiques. Mais la mesure ne sera complètement efficace qu'après le renouvellement du parc automobile (environ 15 ans). Or, ce sont les véhicules anciens qui polluent le plus et l'un des moyens les plus rapides pour réduire les émissions, est la reformulation des carburants. On a donc choisi d'en optimiser la composition en y incorporant des produits oxygénés, notamment ceux extraits de végétaux. Dans le contexte politico-économique européen, le caractère renouvelable de cette énergie qualifiée de « *carburant vert* » a reçu un écho favorable [2].

Pour les véhicules à essence, le choix s'est porté, en France sur l'ETBE (Ethyltertiobutyl-ether) dont les caractéristiques physico-chimiques intéressent tant les compagnies pétrolières — qui refusaient les produits comme l'éthanol —, que le monde agricole qui voit s'ouvrir une alternative à la jachère, et des débouchés pour les excédents de production de blé, betterave à sucre, etc., voire la création de nouvelles filières [3].

En 1993, le gouvernement, s'appuyant sur le rapport de Raymond H. Levy [4], a autorisé l'introduction de composés oxygénés dans les essences jusqu'à 15 %. Hormis les travaux menés par Auto-Oil (USA) [5] [6] [7] [8] et EPEFE (Europe) [9], peu d'études ont été réalisées sur l'impact de cette introduction.

A des gains sur certains polluants, particulièrement sur les rejets de CO et d'hydrocarbures, se juxtaposent des effets plutôt négatifs en matière d'émission d'oxydes d'azote et de composés organiques tels que les aldéhydes. Autant de raisons qui ont amené le Ministère de l'Environnement à initier une campagne d'étude sur l'impact de ce type de carburant sur la pollution atmosphérique. Le présent article traite de la première phase de cette étude, menée dans un parc de stationnement souterrain sur un nombre limité de véhicules, la deuxième phase devant porter sur une étude à l'échelle de l'agglomération de Dunkerque.

Un biocarburant : L'ETBE

L'Ethyltertiobutyléther (ETBE) résulte de la réaction catalytique de l'isobutylène sur l'éthanol, lequel est obtenu par fermentation de plantes saccharifères (betteraves, topinambours, cannes à sucre...), de plantes amylacées (céréales) ou de matières lignocellulosiques (bois, paille, rafles et tiges).

Actuellement, la bibliographie sur les effets et les impacts de l'introduction de composé oxygéné s'avère plus riche en ce qui concerne le MTBE (Méthyltertiobutyléther) qui est également un additif oxygéné, mais plus ancien. Ce composé, entièrement d'origine fossile, est issu du méthanol, — produit à partir du gaz naturel — associé à une proportion plus importante d'isobutylène (64 % au lieu de 53 %).

Parmi les composés oxygénés, le choix de l'ETBE se justifie par le fait qu'il présente un meilleur indice d'octane que l'éthanol et le MTBE, une meilleure tension de vapeur, une meilleure solubilité dans l'eau et une volatilité moindre que l'éthanol [9]. En ce qui concerne sa nocivité, quelques études de laboratoire réalisées aux USA indiquent que l'inhalation d'ETBE n'a aucun effet toxique sur le rat [9] [10].

Méthodologie de l'étude

Période et site de mesure

L'étude s'est déroulée dans le parc de stationnement souterrain, au niveau -2, du commissariat du XVIII^e arrondissement de Paris. Ce niveau qui comporte 14 emplacements dont un box fermé, est équipé d'un ventilateur d'extraction qui n'a pas été utilisé durant l'opération, la ventilation étant assurée par tirage naturel. L'amenée d'air neuf est placée au fond du niveau. Elle s'effectue en tirage naturel par un puits débouchant sur un trottoir de la rue. Le débit de renouvellement d'air est de 0,55 m³/s.

L'étude a été réalisée en deux phases :

- 9 au 20/04/96 : période de mesure des émissions des véhicules alimentés en essence sans plomb dite « *période normale* » ;
- 22/04 au 8/05/96 : période de mesure des émissions des véhicules alimentés en essence additionnée d'ETBE dite « *période bio* ».

Véhicules testés et carburants utilisés

Douze véhicules ont participé à l'opération. Il s'agit de véhicules légers récents de fabrication française, à moteur à essence et équipés de pots catalytiques. Ils n'ont subi aucun réglage pendant toute la durée de l'étude. A chaque changement d'équipe, ils réalisent une manœuvre d'une minute environ dans le parc, donc à moteur chaud.

Aucun autre véhicule n'a circulé dans le parc de stationnement pendant les périodes de mesure.

Le carburant, conforme à la réglementation, a été fourni par la Société Total et sa distribution assurée par les services techniques du parc Nord de la Préfecture de Police.

Durant la première période, un supercarburant sans plomb (indice d'octane 98) a été utilisé, et dans la seconde période une essence du même type comportant 14,87 % d'ETBE.

Polluants et autres paramètres mesurés

Les mesures des polluants dans l'atmosphère du niveau -2 du parc de stationnement ont été effectuées par des analyseurs en continu ou par piégeage sur un support approprié, l'analyse des HAM, des fumées noires et des aldéhydes étant ensuite effectuée dans ce dernier cas en laboratoire.

L'emplacement du site de mesure est situé en bordure de l'allée centrale, à deux mètres de hauteur.

• Mesures en continu

- le monoxyde de carbone CO est mesuré par absorption dans l'infrarouge (NF X 43-012) ;
- les oxydes d'azote NO et NO₂ sont dosés par chimiluminescence (NF X 43-018) ;
- le dioxyde de soufre SO₂ est analysé par absorption dans l'ultraviolet (NF X 43-019).

L'acquisition des données par des boîtiers informatisés permet d'obtenir les teneurs moyennes et maximales sur cinq minutes.

• Mesures différées en laboratoire

– **L'indice de fumées noires FN** : les particules sont collectées sur une bande filtrante en cellulose (Whatman grade 1) qui se déroule toutes les heures. Les dépôts sont analysés au laboratoire par réflectométrie (norme NF X 43-005). La réflectance est convertie en concentration massique par référence à la courbe internationale.

– **Hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM)** : un automate permet des prélèvements séquentiels de six heures sur charbon actif à un débit de 1 l/mn. Après désorption dans le sulfure de carbone (CS₂), l'échantillon est analysé en laboratoire par chromatographie en phase gazeuse. Ont été mesurés selon cette technique : benzène, toluène, méta et para-xylène (dosés simultanément), orthoxylène, éthylbenzène et 1,2,4 triméthylbenzène.

– **Aldéhydes** : le pas de temps est le même que pour les HAM. Le piégeage est réalisé sur cartouche « Sepack » C₁₈ imprégnée de 2,4-dinitrophénylhydrazine à un débit de 0,8 l/min. Les

hydrazones formés sont ensuite dosés par chromatographie liquide haute performance (HPLC) et détectés par absorption dans l'ultraviolet.

• Mesures complémentaires

Des mesures de CO, NO et NO₂ ont été réalisées au niveau de la prise d'air neuf, disposée à côté de l'entrée du commissariat. D'autres mesures complémentaires ont porté sur :

- le trafic de véhicules, par un comptage pneumatique au sol et complété par des fiches d'entrée ;
- le débit de la ventilation naturelle par un anémomètre ;
- un essai fumigène pour l'observation des mouvements d'air au niveau de la prise d'air neuf.

Trafic dans le parc de stationnement

Les véhicules ont essentiellement effectué des entrées et sorties ; les moteurs étaient donc chauds et les pots catalytiques opérationnels. Il n'y a pratiquement pas eu de véhicules en stationnement. Nous pouvons donc considérer que les polluants mesurés proviennent essentiellement des émissions de gaz d'échappement. Nous avons comptabilisé pour la première période 396 passages et 422 pour la seconde.

En raison de la particularité de l'activité policière, le trafic horaire présente une évolution temporelle irrégulière d'une journée à l'autre. La variabilité du trafic n'a pas permis de définir un cycle journalier moyen, ni des tranches horaires types. Il aurait été intéressant de rapporter les données (ce que nous appellerons « normer ») à un polluant stable durant toute la campagne et de ne s'intéresser qu'aux valeurs de pointes. La prise en compte du temps de séjour dans le parking, court par ailleurs, devenait, dans ce cas, superflue. Mais aucun élément traceur spécifique ne peut être utilisé, et nous avons abandonné cette possibilité.

La comparaison des teneurs pour les deux carburants a donc été effectuée par référence au comptage sur un pas de 6 heures, qui correspond à la séquence d'échantillonnage de l'automate. Ce choix est également dicté par la faiblesse du trafic horaire et le phénomène de rémanence des polluants après leur émission.

Influence des polluants présents dans l'air neuf

Le flux d'air neuf a été mesuré en 35 points avec un anémomètre à moulinet. La vitesse moyenne est de 0,84 m/s pour une surface de prise d'air de 0,66 m². Son débit est donc de 0,55 m³/s soit environ 2 000 m³/h.

Tableau 1.
Concentrations mesurées dans le parc de stationnement.
Polluants levels in the car Park

Polluants gazeux classiques		Période normale 394 mouvements		Période bio 422 mouvements	
Polluants gazeux	unité	moyenne	maximum horaire	moyenne	maximum horaire
CO	mg/m ³	15,3	81	9,5	92
NO	µg/m ³	160	863	84	605
NO ₂	µg/m ³	88	202	65	109
SO ₂	µg/m ³	46	366	27	85
Polluant particulaire	unité	moyenne	maximum horaire	moyenne	maximum horaire
FN	µg/m ³	136	1 067	61	731

Polluants sur prélèvements séquentiels		Période normale 382 mouvements		Période bio 349 mouvements	
Aldéhydes	unité	moyenne	maximum 6 h	moyenne	maximum 6 h
formaldéhyde	µg/m ³	16,2	27	14,9	37
acétaldéhyde	µg/m ³	14,3	26	18,2	56
HAM	unité	moyenne	maximum 6 h	moyenne	maximum 6 h
benzène	µg/m ³	165	342	114	295
toluène	µg/m ³	703	1 643	477	1 299

Par comparaison avec les valeurs horaires recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (30 mg/m³ en CO, 200 µg/m³ en NO₂ et 350 µg/m³ en SO₂), on observe que les concentrations horaires dans le parc de stationnement en NO₂ et CO₂ ont à peine atteint ces valeurs. La teneur horaire en CO dépasse quelquefois la valeur recommandée et reflète le faible renouvellement d'air dans le parc.

Etant donné que le volume du parc est de 1 035 m³, le taux de renouvellement de l'air s'élève à 2 renouvellements par heure.

Celui-ci est faible pour ce type d'ouvrage mais compte tenu du trafic dans le parc, nous avons choisi de ne pas l'augmenter.

L'analyse des teneurs horaires en CO mesurées dans la prise d'air neuf montre une moyenne de 1,5 cm³/m³ et un percentile 95 (1) de 2,2 cm³/m³.

Par ailleurs, le parc a été peu fréquenté, et le trafic est quasi nul pendant plus de la moitié des périodes horaires.

La figure n° 1 montre l'évolution des teneurs en CO dans le parc et dans l'air neuf. Ces courbes permettent d'en déduire que l'apport de CO présent dans l'air neuf peut être négligé.

Les teneurs en NO dans l'air neuf sont également faibles (moyenne : 21 mm³/m³ et percentile 95 : 55 mm³/m³) et peuvent être négligées par rapport aux valeurs à l'intérieur du parc.

Résultats

L'exploitation des résultats a été effectuée à partir des données normées (2) au comptage des véhicules pour s'affranchir des variations du trafic entre les deux périodes, c'est-à-dire à partir des rapports entre les teneurs en polluants (en ppm, en ppb ou en µg/m³) et le nombre de mouvements de véhicule pour chaque période de 6 heures.

Le traitement des données a été réalisé avec le logiciel Statgraphics Plus version 1.4. qui donne des informations statistiques sur le centre, l'amplitude et la forme des données.

Les moyennes des deux échantillons de données sont comparées sur la base d'un intervalle de confiance à 95 %. Le logiciel calcule un test d'hypothèse de comparaison des moyennes (égales, inférieures ou supérieures) en supposant l'égalité ou l'inégalité des variances. Parallèlement, il réalise un test de comparaison des variances. L'hypothèse retenue pour les moyennes sera celle dont le niveau de signifi-

(1) Le percentile 95 (ou quantile 95) est la valeur telle que 95 % des données lui sont inférieures.

(2) Le terme « normé » signifie que la valeur est rapportée à l'unité de la donnée par laquelle on norme.

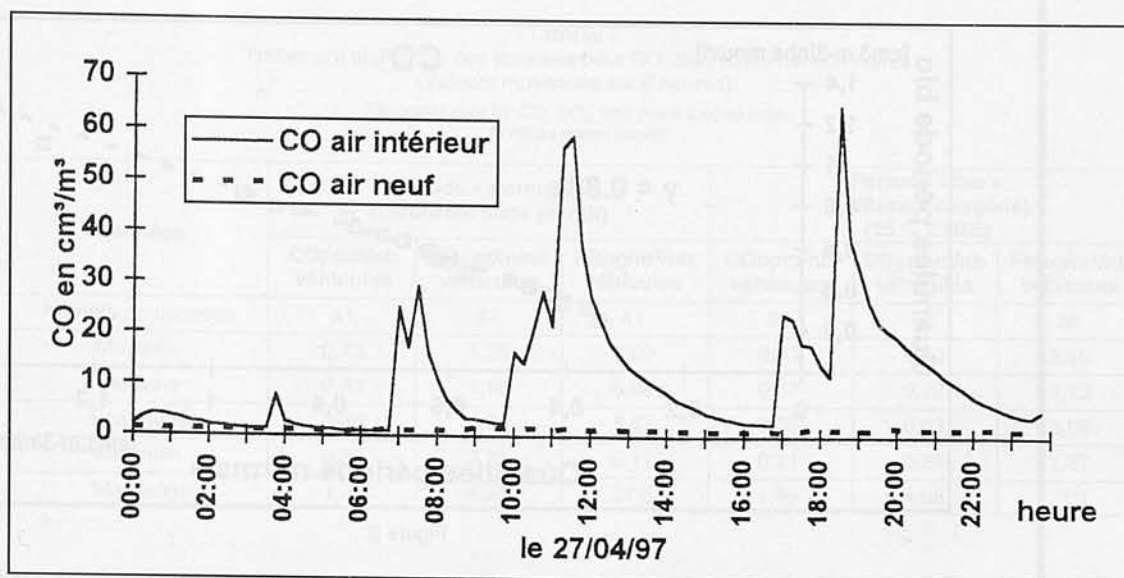


Figure 1.
Evolution des teneurs moyennes quart horaires de CO à l'intérieur du parc et dans l'air neuf.
Evolution of 15 minutes means levels of CO in the air car park and in the fresh air.

tion est inférieur ou égal à 0,05 en prenant en compte l'égalité ou non des variances.

La comparaison porte également sur les médianes. Elles sont plus représentatives que les moyennes pour les distributions qui ne suivent pas la loi normale. Le logiciel calcule le test de Mann-Whitney (Wilcoxon) et, de même que pour les moyennes, précise si les médianes des deux échantillons diffèrent significativement.

Pour chaque polluant, il est tracé un graphique quantiles-quantiles. Le quantile encore appelé percentile est calculé à partir des valeurs mesurées. Pour une série N des valeurs classées par ordre croissant, le quantile X est la valeur de l'élément de rang K pour lequel $K = (X/100) N$ si x est exprimé en pourcentage. Sur un diagramme quantiles/quantiles, les points visualisés sont des couples de valeurs ayant le même quantile (ou percentile). Ce dernier présente en abscisses les valeurs correspondant aux quantiles de la période « normale », et en ordonnées les valeurs correspondant aux quantiles de la sphère « bio ».

Les points visualisés indiquent les couples de valeurs ayant le même quantile. La droite des moindres carrés $y = ax$, tracée sur ce graphique à partir de 19 percentiles répartis régulièrement de 5 à 95 %, permet de comparer les fonctions de répartition des deux échantillons.

La pente de cette droite donne une estimation des différences entre les deux périodes. Cependant, nous remarquerons que les données correspondant aux quantiles élevés influent souvent notablement sur la pente (levier important), rendant ainsi la quantification plus délicate. Ces incertitudes sont plus importantes encore dans le

cas des mesures de polluants prélevés par piégeage sur support adsorbant.

Nous avons constaté tout au long de l'étude une variabilité des teneurs en polluants normées au comptage. Les raisons de cette variabilité sont multiples (cylindrée, régime moteur...). La cause principale est un temps de séjour prolongé de l'air dans le parc. Pour pallier ces variations, nous avons procédé également à la comparaison des médianes, qui sont moins influencées par les fortes valeurs.

Monoxyde de carbone (CO), dioxyde de soufre (SO₂), particules en suspension (indice de fumées noires FN)

Les teneurs de ces polluants (en cm³/m³ pour CO, en mm³/m³ pour SO₂ et en µg/m³ pour FN) ont été normées* au comptage (nombre de mouvements de véhicules).

Le tableau n° 2 présente l'ensemble des données traitées pour ces trois polluants, et les figures n° 2, 3 et 4 les diagrammes quantiles/quantiles respectivement pour CO, SO₂ et l'indice de fumées noires FN.

De ces données et des résultats des tests de comparaison, nous pouvons en déduire que lors de l'utilisation du carburant oxygéné (période « bio ») l'impact sur la pollution de l'atmosphère du parc est le suivant :

- **CO** : diminution des teneurs d'environ 10 % par comparaison avec la période normale ;
- **SO₂** : la faible diminution observée ne permet pas d'en déduire une baisse significative entre les deux périodes ;

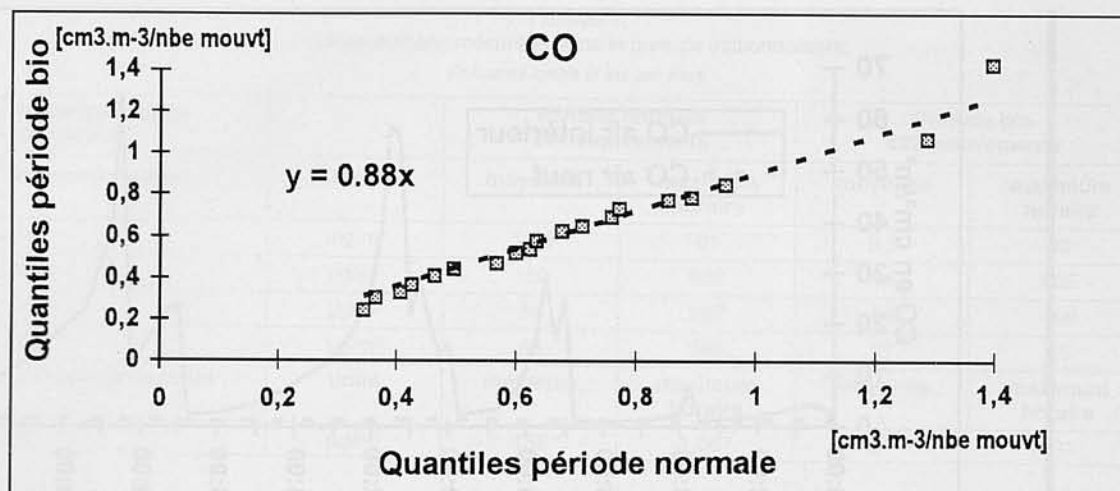


Figure 2.

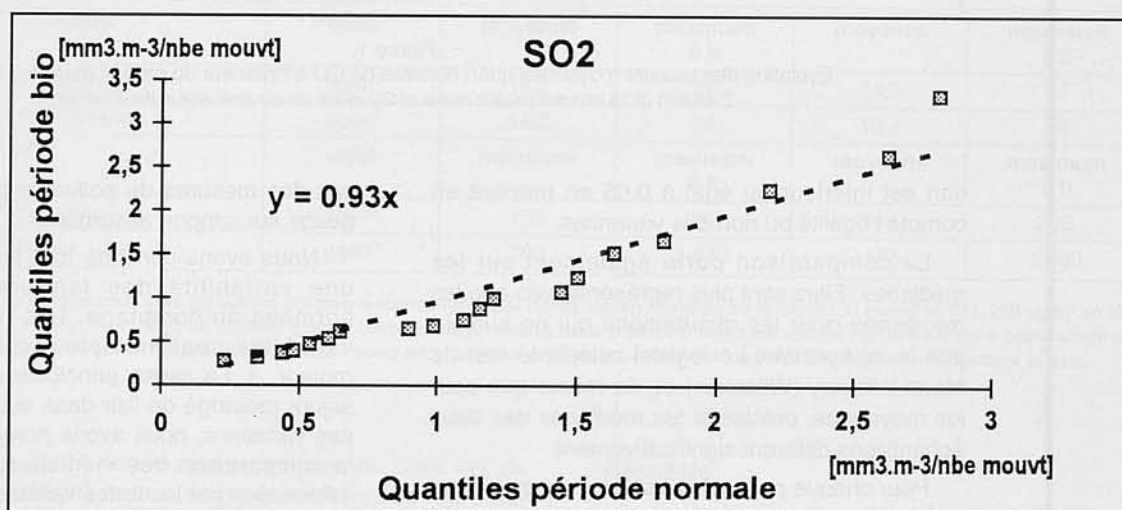


Figure 3.

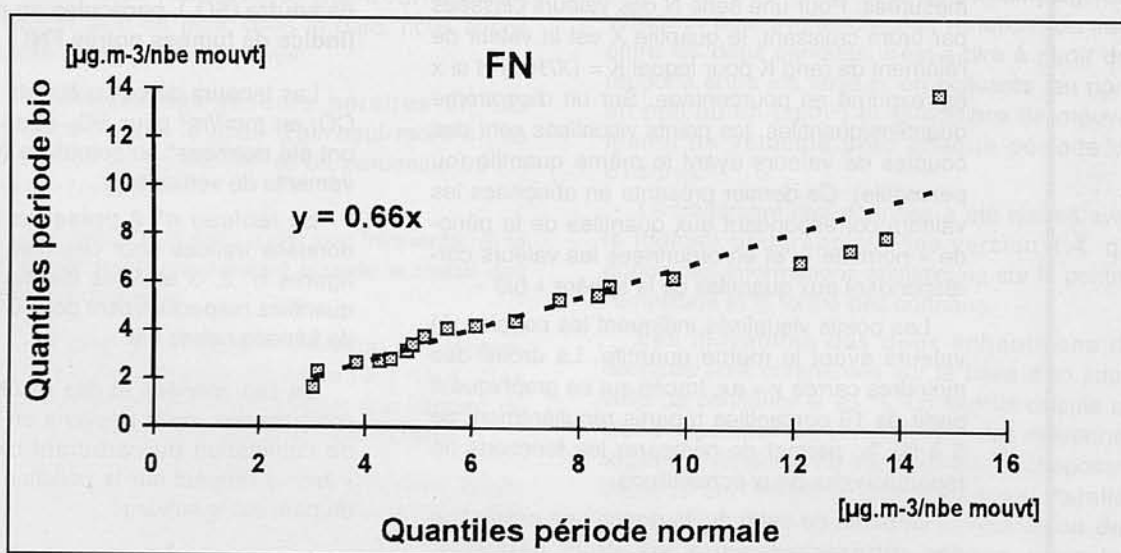


Figure 4.

Comparaison quantiles-quantiles des valeurs normées au comptage entre les deux périodes.
Comparison quantiles-quantiles 6 hours levels (CO, SO₂, FN) to trafic flow in the park for the two periods

Tableau 2.
Traitement statistique des données pour CO, SO₂ et les fumées noires
(Valeurs moyennes sur 6 heures).

*Statistical data for CO, SO₂, and black smoke index
(6 hours mean levels)*

Données	Période « normale » (carburant sans plomb)			Période « bio » (carburant oxygéné) (15 % ETBE)		
	COppm/nb véhicules	SO ₂ ppm/nb véhicules	FNµg/m ³ /nb véhicules	COppm/nb véhicules	SO ₂ ppm/nb véhicules	FNµg/m ³ /nb véhicules
Nombre de données	41	41	41	58	58	58
Moyenne	0,73	1,26	8,00	0,63	1,10	5,16
Médiane	0,63	1,10	6,09	0,57	0,72	4,13
Ecart-type	0,36	0,93	5,47	0,33	0,93	3,68
Minimum	0,26	0,21	2,11	0,21	0,21	1,37
Maximum	1,97	4,38	27,5	1,99	4,68	21,1

– **Indice de fumées noires FN** : diminution nette des teneurs d'environ 30 à 40 % par comparaison avec la période normale.

Oxydes d'azote (NO et NO₂)

Les teneurs en NO₂ sont restées très faibles pendant les deux périodes d'étude et le peu de données de pointe ne nous a pas permis de comparer de manière significative les deux périodes.

Pour NO, n'ayant pu pour des raisons techniques traiter les données au pas de 6 heures comme pour les autres polluants et par la même normer au nombre de mouvements de véhicules, nous avons traité les valeurs de pointe (supérieures à 100 µg/m³) au pas quart-horaire et nous avons rapporté ces valeurs aux valeurs correspondantes de CO.

De ces traitements de données (voir tableau n° 3 et figure n° 5), nous pouvons en déduire que le rapport NO/CO ne varie pas de manière signifi-

cative durant les deux périodes pour les valeurs de pointe.

Les rapports NO/CO et CO/comptage évoluant en sens opposé entre les deux périodes, les teneurs de NO ne devraient, logiquement, pas montrer de tendance significative si on les refère au trafic.

Aldéhydes

Les concentrations en aldéhydes mesurées au pas de 6 heures ont également été normées au trafic de véhicules.

Le tableau n° 4 présente les statistiques descriptives de ces données et les figures n° 6 et 7 les diagrammes quantiles-quantiles respectivement pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.

Les tests d'hypothèses de comparaison des médianes montrent des différences significatives entre les deux périodes de mesure pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.

Tableau 3.
Traitement statistique des données pour NO
(Valeurs moyennes quart horaires).

*Statistical data for NO
(15 minutes mean levels)*

Données	Période « normale » (carburant sans plomb)	Période « bio » (carburant oxygéné) (15 % ETBE)
	NOppb/COppm	NOppb/COppm
Nombre de données	416	327
Moyenne	11,06	11,84
Médiane	9,82	11,18
Ecart-type	5,17	6,49
Minimum	1,37	0,65
Maximum	33,3	38,1

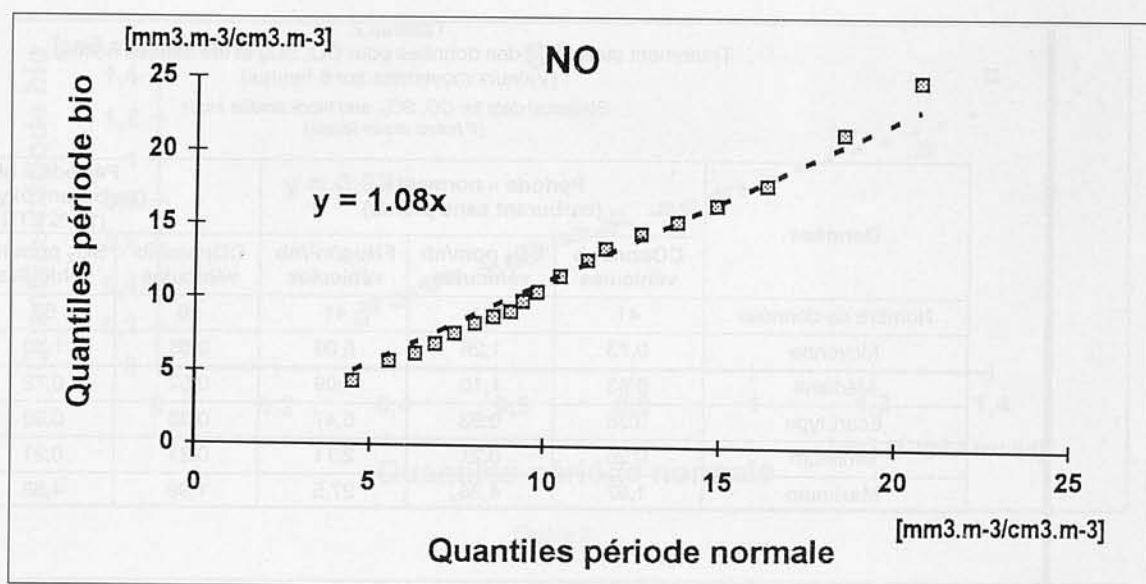


Figure 5.
Comparaison quantiles-quantiles des valeurs normées au CO entre les deux périodes.
Comparison quantiles-quantiles NO levels to CO levels for the two periods

L'analyse de ces données permet d'en déduire les conclusions suivantes :

- formaldéhyde : hausse de 10 à 25 % lors de la période d'utilisation du carburant oxygéné par rapport à la période de fonctionnement avec de l'essence sans plomb classique ;

- acétaldéhyde : forte augmentation (entre 60 et 90 %) dans la période « bio » par rapport à la période « normale ». C'est l'évolution la plus forte constatée parmi l'ensemble des polluants mesurés. Ces résultats s'expliquent par le fait que l'ETBE, dérivé de l'éthanol, favorise par sa combustion la formation d'acétaldéhyde.

Tableau 4.
Traitement statistique des données pour les aldéhydes
(Valeurs moyennes sur 6 heures).

*Statistical data for aldehydes
(6 hours mean levels)*

Données	Période « normale » (carburant sans plomb)		Période « bio » (carburant oxygéné) (15 % ETBE)	
	Formaldéhyde $\mu g/m^3/nb$ véhicules	Acétaldéhyde $\mu g/m^3/nb$ véhicules	Formaldéhyde $\mu g/m^3/nb$ véhicules	Acétaldéhyde $\mu g/m^3/nb$ véhicules
Nombre de données	34	34	49	49
Moyenne	1,29	1,13	1,62	2,08
Médiane	0,88	0,85	1,15	1,33
Ecart-type	1,03	0,87	1,19	1,76
Minimum	0,38	0,25	0,39	0,37
Maximum	3,75	3,17	5,5	8,0

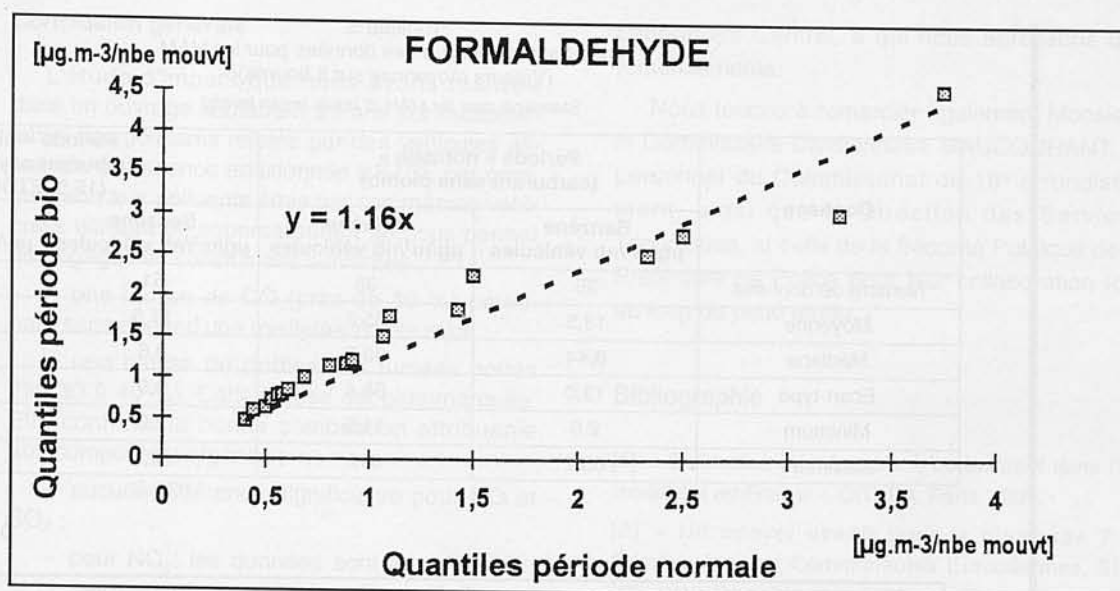


Figure 6.

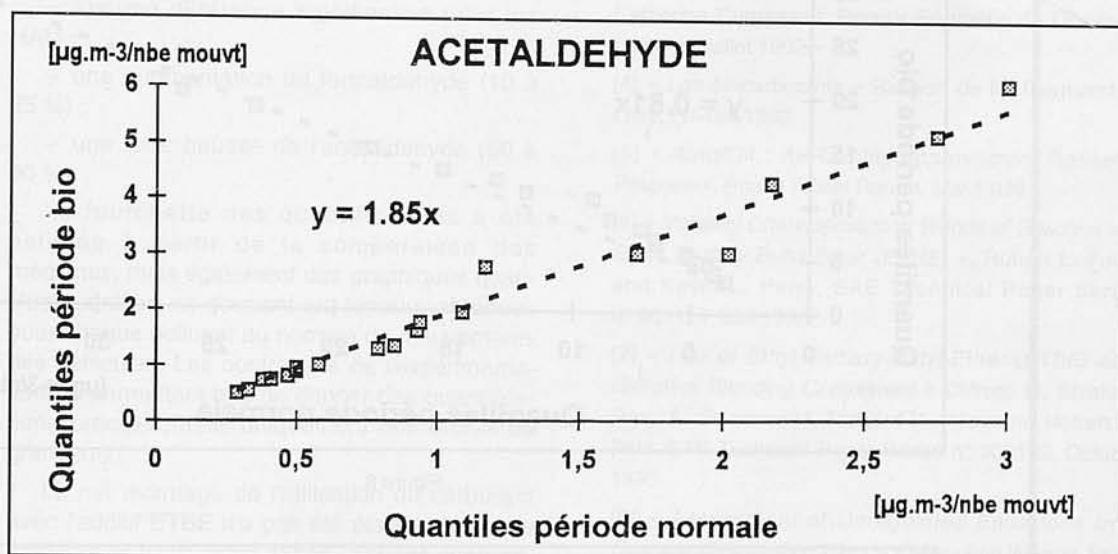


Figure 7.

Comparaison quantiles-quantiles des valeurs normées au comptage entre les deux périodes.
Comparison six hours levels (formaldehyde and acetaldehyde) to traffic flow for the two periods

Hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM)

Les résultats obtenus pour les HAM sont illustrés dans le tableau n° 5 et les figures nos 8 et 9 par les cas du benzène et du toluène. Ils sont présentés selon la même méthode qu'au paragraphe précédent.

Les graphiques quantiles-quantiles semblent indiquer une tendance à une baisse des teneurs normées au comptage dans la période « bio ». Celle-ci toutefois n'est pas significative malgré une pente de la droite des moindres carrés plus éloignée de la droite $y = x$ pour le benzène que pour le CO.

En effet, l'étude des moyennes et des médianes des deux composés montre que les différences ne sont pas significatives avec un niveau de confiance à 95 %. Ceci est la conséquence d'une distribution plus dispersée des valeurs de benzène par rapport à celles de CO.

Pour l'ensemble des HAM mesurés, les distributions des teneurs sont très voisines. Ceux-ci présentent entre eux des coefficients de corrélation linéaire compris entre 0,97 et 0,99. Il est donc normal que l'éthylbenzène, les m et p-xylènes, l'o-xylène et le 1,2,4-triméthylbenzène ne présentent pas non plus de différence significative entre les deux périodes de l'étude.

Tableau 5.
Traitement statistique des données pour les HAM
(Valeurs moyennes sur 6 heures).

Statistical data for MAH (6 hours mean levels)

Données	Période « normale » (carburant sans plomb)		Période « bio » (carburant oxygéné) (15 % ETBE)	
	Benzène µg/m³/nb véhicules	Toluène µg/m³/nb véhicules	Benzène µg/m³/nb véhicules	Toluène µg/m³/nb véhicules
Nombre de données	35	35	51	51
Moyenne	13,5	55,6	11,6	48,5
Médiane	8,44	39,9	8,6	36,0
Ecart-type	13,0	55,4	9,9	41,9
Minimum	2,5	11,5	2,3	6,5
Maximum	68,2	312	62,5	251

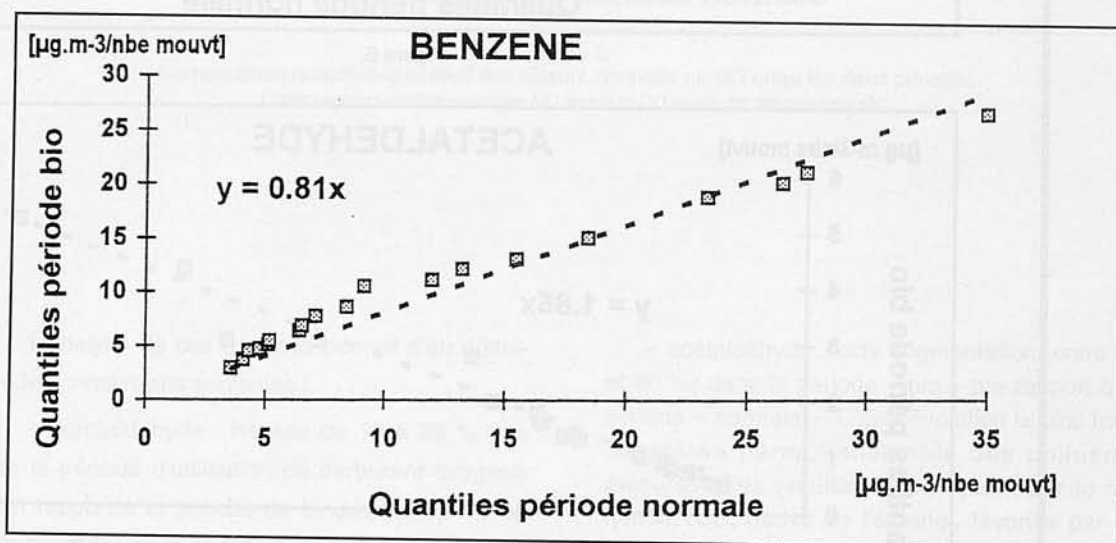


Figure 8.

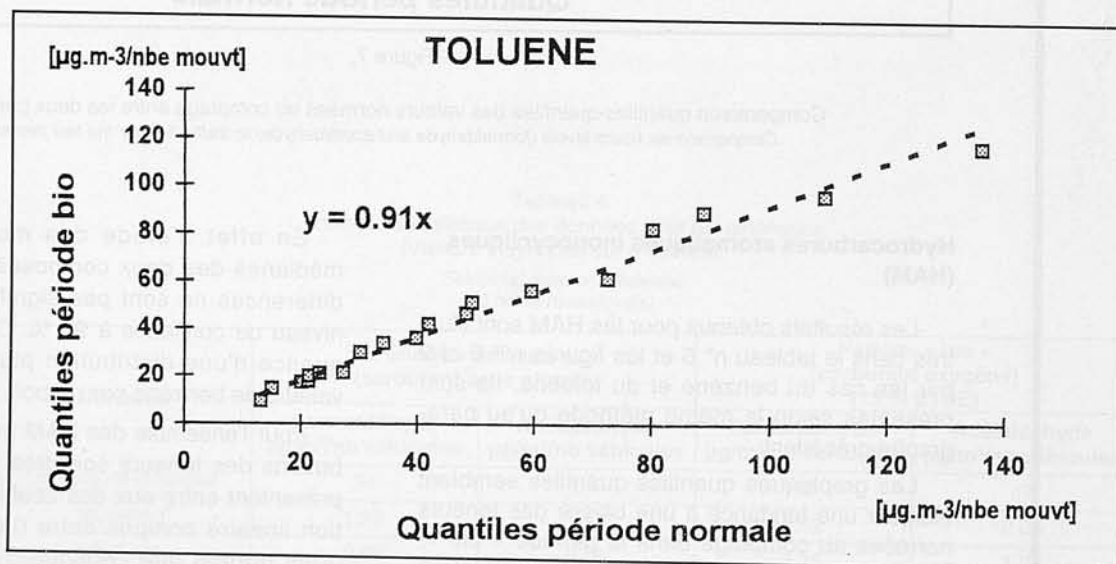


Figure 9.

Comparaison quantiles-quantiles des valeurs normées au comptage entre les deux périodes.
Comparison quantiles-quantiles of six hours levels (benzene and toluene) to traffic flow for the two periods

Conclusion générale

L'étude d'impact que nous avons réalisée dans un ouvrage souterrain à Paris sur l'accumulation des polluants rejetés par des véhicules alimentés en essence additionnée d'ETBE par comparaison aux polluants émis par ces mêmes véhicules utilisant un supercarburant 98 nous permet de dégager les conclusions suivantes :

- une baisse de CO (près de 10 %) provenant sans doute d'une meilleure combustion ;
- une baisse de l'indice des fumées noires FN (30 à 40 %). Cette baisse est plus marquée. Elle confirme la bonne combustion attribuable aux composés oxygénés ;
- aucune différence significative pour NO et SO₂ ;
- pour NO₂, les données sont inexploitable et ne permettent pas d'évaluer l'impact d'un tel carburant oxygéné ;
- aucune différence significative pour les HAM ;
- une augmentation du formaldéhyde (10 à 25 %) ;
- une forte hausse de l'acétaldéhyde (60 à 90 %).

La fourchette des quantifications a été estimée à partir de la comparaison des médianes, mais également des graphiques quantiles-quantiles en normant les teneurs obtenues pour chaque polluant au nombre de mouvements des véhicules. Les contraintes de l'expérimentation ne permettent pas de donner des quantifications précises, mais uniquement des ordres de grandeur.

Le net avantage de l'utilisation du carburant avec l'additif ETBE n'a pas été établi dans notre étude et le bilan reste mitigé. S'il est encourageant de constater une baisse sur certains polluants, la hausse des aldéhydes, dont celle très nette d'acétaldéhyde, doit attirer notre attention. Cette étude devrait être complétée pour l'émission des particules en suspension par une expérimentation prenant en compte la répartition granulométrique des particules.

Par ailleurs, cette étude d'impact s'inscrivant dans un cadre plus large portant également sur une expérimentation à l'échelle d'une agglomération voire d'une région, il convient d'attendre ces résultats pour émettre un avis plus général sur l'impact de l'utilisation de ce type de carburant oxygéné.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec la collaboration de Monsieur Michel GROSSI, technicien au Laboratoire OEHC de Bastia, en stage au

Laboratoire Central, à qui nous adressons des remerciements.

Nous tenons à remercier également Monsieur le Commissaire Divisionnaire MAUCOURANT, le personnel du Commissariat du 18^e arrondissement, ainsi que la Direction des Services Techniques, et celle de la Sécurité Publique de la Préfecture de Police pour leur collaboration tout au long de cette étude.

Bibliographie

- [1] « Estimation des émissions de polluant dans l'atmosphère en France ». CITEPA, Paris, 1996.
- [2] « Un nouvel avenir pour la biomasse ? », Commission des Communautés Européennes, SEC (92) 1210, Bruxelles, Juin 1992.
- [3] « Les biocarburants ont-ils de réels avantages ? » Catherine Dupressoir, Bureau Européen de l'Environnement, Juillet 1992.
- [4] « Les biocarburants » Rapport de M. Raymond H. Levy, Février 1993.
- [5] « Auto/Oil : Air Quality Improvement Research Program ». Phase I Final Report, Mai 1993.
- [6] « Volatility Characteristics of Blends of Gasoline with Ethyl Tertiary-Butyl Ether (ETBE) », Robert L. Furey and Kevin L. Perry, SAE Technical Paper Series n° 901114, Mai 1990.
- [7] « Use of Ethyl-Tertiary-Butyl-Ether (ETBE) as a Gasoline Blending Component » Clifford M. Shiblom, Gary A. Schoonveld, Richard K. Riley and Robert H. Pahl, SAE Technical Paper Series n° 902132, Octobre 1990.
- [8] « Assessment of Unregulated Emissions from Gasoline Oxygenated Blends » Mary Ann Warner-Selph and Craig A. Harvey, SAE Technical Paper Series n° 902131, Octobre 1990.
- [9] « ETBE as a Gasoline Blending Component : the experience of Elf Aquitaine » L. Chatin, C. Fombarlet, C. Bernasconi, A. Gauthier, and P. Schmelzle, SAE Technical Paper Series n° 941860, Octobre 1994.
- [10] « Health effects of inhaled tertiary amyl methyl ether and ethyl tertiary butyl ether » Toxicology Letters, 82-83 : 719-724, décembre 1995.
- [11] « Introduction of ETBE in gasoline » X. Montagne, IFP, juin 96
- [12] « Ecobilan de l'ETBE de betterave » Ademe, 1996.
- [13] « La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique » SFSP, Collection santé et société n°4, mai 1996
- [14] « Air quality guidelines for Europe » WHO Regional Publications, European series n° 23, 1987.
- [15] « Automobile et pollution » P. DEGOBERT, Edit. TECHNIP, 1992.