

Etude de la pollution de l'air par les composés carbonylés dans les effluents de véhicules automobiles

Study of air pollution by carbonyl compounds in automobile exhausts

Frédérique GRIMALDI, David BACLE, Michel BOUTHIBA, Fernand GOUZEO, Alain VIALA (*)
(Collaboration technique : S. CASABIANCA, E. MULS, J. FIGOS, N. ESBERARD, N. MASQUELEZ)

Résumé

La méthode de chromatographie liquide précédemment utilisée pour le dosage des composés carbonylés à l'intérieur des locaux a été appliquée aux effluents automobiles prélevés à l'extérieur puis à l'intérieur du pot d'échappement. Dans presque tous les cas, c'est le formaldéhyde qui atteint les concentrations les plus élevées. Que le moteur soit froid ou chaud, c'est l'essence « super » plombée qui produit les plus fortes quantités de composés carbonylés ; vient ensuite l'essence 98 sans plomb, le gazole étant sur ce plan le moins polluant. Quel que soit le carburant employé les concentrations de formaldéhyde augmentent à chaud, même si le véhicule possède un catalyseur. Les concentrations des autres produits testés (acétaldéhyde, acétone, acroléine, benzaldéhyde), par contre, diminuent à chaud lorsque la voiture est munie d'un pot catalytique. La présence de ces substances dans l'air ambiant est importante à prendre en considération car elle peut générer des effets toxiques et contribuer à la formation du brouillard photochimiques.

Résumé

The HPLC methodology previously used for the determination of carbonyl compounds inside premises was applied to the analysis of these substances into automobile effluents, sampled outside, then inside the exhaust pipe. In most cases formaldehyde reaches the highest concentrations. With motor cold or warm, vehicles fuelled with « super » leaded gasoline are the highest emitters of carbonyl compounds ; vehicles using 98 unleaded gasoline are less producing and Diesel cars fuelled with gasoil are the lowest. Whatever the used gasoline may be, formaldehyde concentrations are increasing when motor warm, even if a catalytic pipe is present. Concentrations of the other tested substances (acetaldehyde, acetone, acrolein, benzaldehyde), on the contrary, are decreasing when the motor is warm and the car supplied with a catalytic converter. Outdoor air concentrations of carbonyl compounds are important to be considered because of their potential toxicity and their possible contribution to the formation of photo-oxidant smog.

Introduction

Les composés organiques volatils (COV) occupent une place importante parmi les polluants de l'air. Ils peuvent être relargués à l'intérieur des locaux à partir de matériaux, de mobiliers et revêtements divers, ou provenir d'activités humaines [1]. Ils peuvent aussi être libérés lors de processus de combustion industriels ou automobiles et se

retrouver dans des parcs de stationnement ou garages, clos ou semi-clos et mal ventilés, ou dans des ambiances intérieures (particulièrement celles qui sont proches des voies à grande circulation) après pénétration depuis l'extérieur. Les composés carbonylés, aldéhydes et cétones [2-6], appartiennent à ce groupe d'aéro-contaminants et peuvent non seulement contribuer à la formation du brouillard photochimique, mais aussi être responsables de phénomènes toxiques. Leur présence dans les effluents des véhicules automobiles est due à la combustion de la matière organique avec oxydation incomplète. Les émissions varient en fonction de divers paramètres tels que le régime du moteur et sa température, l'entretien du véhicule,

(*) Laboratoire de Toxicologie et Pharmacie clinique et Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique, Comité Marseille-Provence, Faculté de Pharmacie, 27, bd Jean-Moulin, F 13385 Marseille Cedex 5.

la nature du carburant utilisé, l'existence éventuelle d'un pot catalytique, etc.

La pollution de l'air extérieur d'origine automobile représenterait en France environ 70 % des émissions de monoxyde de carbone (CO), 73 % des oxydes d'azote (NO_x exprimés en NO₂), 60 % des hydrocarbures (HC), à peu près tout le plomb, et les véhicules à moteur brûleraient quelques 57 % du pétrole consommé dans le pays. Ceux-ci sont considérés actuellement comme les principaux responsables de la pollution atmosphérique urbaine. Certaines directives européennes ont en vue une réduction importante des émissions de CO, NO_x et HC par les véhicules à essence, et la diminution des émissions de particules par les véhicules Diesel. Les catalyseurs, dont la phase active est fabriquée avec des métaux « nobles » (platine, palladium, rhodium) et des additifs, assurent pour les véhicules à essence l'oxydation de CO en CO₂, des HC en CO₂ + H₂O, et la réduction de NO en N₂, mais les voitures qui en sont pourvues doivent utiliser de l'essence sans plomb (ce métal risque « d'empoisonner » les catalyseurs et de les rendre inopérants) ; de surcroît, les catalyseurs ne sont efficaces qu'au-dessus de 300 °C. En ce qui concerne les véhicules Diesel, des épurateurs spéciaux pour les particules et d'autres polluants, ainsi que des additifs en améliorant la combustion, sont recommandés, mais les voitures ne sont pas encore systématiquement équipées de ces systèmes. Par ailleurs, pour remplacer les composés du plomb comme agents antidétonants, un haut indice d'octane de l'essence doit être recherché ; on y parvient en augmentant les concentrations des hydrocarbures ramifiés (méthyl-2-butane, méthyl-2-heptane, diméthyl-2,4-hexane, isooctane,...) ou aromatiques (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes, triméthyl-1,2,4-benzène) et des composés oxygénés (méthanol, tertiobutyl alcools, méthyl-tertiobutyl-éther,...), sans toutefois dépasser les limites autorisées par la loi (par exemple moins de 5 % pour le benzène). L'essence sans plomb peut aussi être employée comme carburant par les véhicules récents dépourvus de catalyseur. Quant aux « bio-carburants » comme le « diester » qui provient de l'huile de colza, ils n'auraient pas encore prouvé leur efficacité dans le remplacement du gazole pour les diesels ; certains considèrent aussi qu'ils pourraient accroître l'effet de serre.

Jusqu'à maintenant les informations relatives aux effets du changement de composition des carburants sur l'émission des composés carbonylés par les véhicules à moteur sont relativement limitées. Nous décrivons ci-après les essais que nous-mêmes avons réalisés sur divers véhicules comportant ou non un catalyseur, fonctionnant à froid ou à chaud avec de l'essence plombée ou sans plomb ou avec du gazole. Ces investigations ont porté sur des voitures qui utilisaient dans des conditions « normales » différentes sortes de produits combustibles dont nous ne connaissions que l'ap-

pellation « habituelle » des stations-service. Des expérimentations du même type seront entreprises ultérieurement sur la base d'une connaissance plus précise de la composition de ces carburants.

Méthodologie

La méthodologie précédemment élaborée pour déterminer les composés carbonylés à l'intérieur des locaux [7, 8] a été adaptée au dosage du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde, de l'acétone, de l'acroléine et du benzaldéhyde dans les effluents automobiles. Elle comporte le passage de l'air à analyser au travers d'une cartouche de silice imprégnée de dinitro-2,4-phénylhydrazine (DNPH) et l'analyse des hydrazones ainsi formées par chromatographie liquide à haute performance.

Dans une première série d'essais l'air était prélevé (13 litres environ par échantillon) à une dizaine de centimètres de la sortie du pot d'échappement en vue de connaître la pollution carbonylée aux environs immédiats du véhicule testé et reproduire, par conséquent, des conditions aussi comparables que possible à celles, d'une exposition réelle d'un conducteur ou d'un piéton dans la circulation automobile.

Par la suite, pour homogénéiser les conditions de prélèvement et éviter toute dilution due aux facteurs météorologiques, la cartouche « DNPH-Silice » a été reliée à une sonde métallique résistante à la chaleur du pot d'échappement. La sonde pénètre dans celui-ci sur une longueur de 30 cm environ. Quatre orifices, à son extrémité, assurent le passage de l'effluent. L'échantillonnage est ainsi réalisé à la source même de l'émission des composés carbonylés.

Applications [8-10]

Première série d'essais : effluent prélevé en dehors du pot d'échappement

Les résultats obtenus sur quatre véhicules sont présentés dans le Tableau I et illustrés à la figure 1-A. C'est le formaldéhyde qui atteint les concentrations les plus élevées, sauf avec l'essence 95 sans plomb à chaud utilisée par le véhicule avec catalyseur ; sa production est maximale avec l'essence 98 sans plomb, que la voiture soit équipée ou non de catalyseur, elle est moindre avec le super plombé et avec le gazole, l'émission la plus faible étant enregistrée avec l'essence 95 sans plomb. Dans l'ordre des concentrations décroissantes, les positions des autres composés carbonylés sont grossièrement les suivantes : acétaldéhyde, acétone, benzaldéhyde et acroléine ; la gradation observée selon la nature du carburant est la même que pour le formaldéhyde. Les émissions de formaldéhyde (à l'exception de la Rover GTI 1992 fonctionnant à l'essence 95 sans plomb),

Tableau I.
Concentrations des composés carbonylés dans les effluents automobiles à la sortie du pot d'échappement (différents carburants, moteur froid et chaud, avec ou sans catalyseur).
Concentrations of the carbonyl compounds in the emissions of automobiles at the exhaust muffler outlet (different fuels, motor hot and cold, with or without catalyzer).

Type de véhicule	Type de carburant	Catalyseur	Moteur (t°)	Formaldéhyde		Acétaldéhyde		Acétone		Acroléine		Benzaldéhyde	
				$\mu\text{g.m}^{-3}$	ppm	$\mu\text{g.m}^{-3}$	ppm	$\mu\text{g.m}^{-3}$	ppm	$\mu\text{g.m}^{-3}$	ppm	$\mu\text{g.m}^{-3}$	ppm
Rover GTI 1992	Essence 98 sans plomb	+	Froid	8 000	6,5	1 900	1,1	1 200	0,5	600	0,3	3 200	0,7
			Chaud	27 000	22,0	8 200	4,6	2 550	1,1	3 000	1,3	60	0,02
	Essence 95 sans plomb	+	Froid	400	0,34	95	0,05	60	0,03	0	0,0	90	0,03
			Chaud	80	0,07	120	0,07	80	0,04	20	0,01	0	0,0
Volkswagen Golf GL 1990	Essence 98 sans plomb	-	Froid	7 700	6,3	1 160	0,7	680	0,3	430	0,2	2 400	0,6
			Chaud	25 200	20,6	2 800	1,6	1 340	0,6	1 100	0,5	110	0,03
Audi 80 1982	Essence « super » plombée	-	Froid	4 500	3,7	700	0,4	0	0,0	0	0,0	1 150	0,3
			Chaud	6 800	5,6	900	0,5	440	0,2	250	0,1	40	0,01
Toyota 4 x 4 Diesel 1990	Gazole	-	Froid	440	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
			Chaud	2 600	2,1	680	0,4	430	0,2	120	0,05	130	0,03

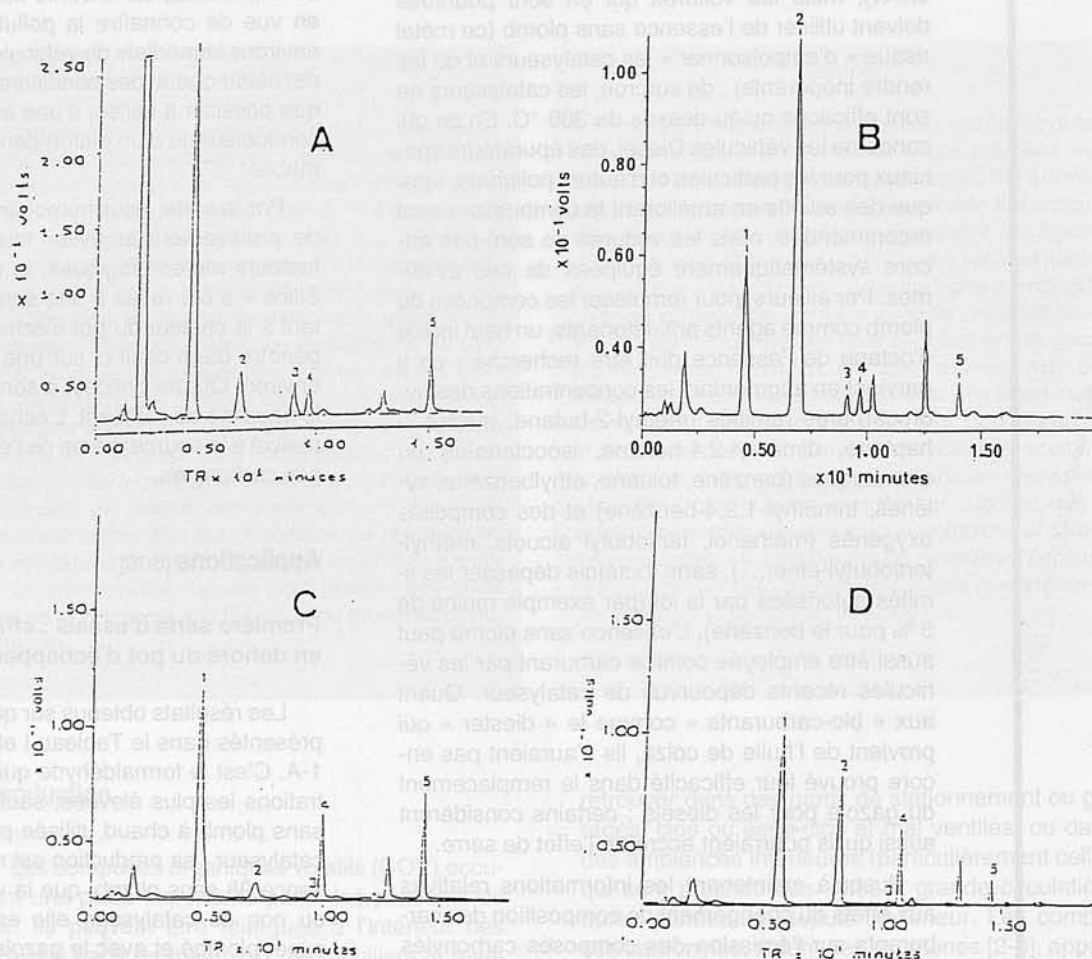


Figure 1.

Chromatogrammes obtenus à partir des effluents de véhicules fonctionnant à froid avec de l'essence 98 sans plomb ; dinitro-2,4-phénylhydrazones de formaldéhyde (1), acétaldéhyde (2), acétone (3), acroléine (4), benzaldéhyde (5).

Prélèvement à la sortie du pot d'échappement : A : Volkswagen « Golf GL » 1990 sans catalyseur (Tableau I) ;

Prélèvement à l'intérieur du pot d'échappement : B : Renault « Twingo » 1994 avec catalyseur (Tableau II, 1^{er} essai) ;

C : Renault « R5 Five » 1990 sans catalyseur (Tableau II) ; D : Peugeot « 106 » 1993 avec catalyseur (Tableau II).

Chromatograms obtained from the emissions of vehicles with cold motors using lead-free 98-octane fuel : dinitro-2,4-phenylhydrazones of formaldehyde (1), acetaldehyde (2), acetone (3), acrylaldehyde (4), benzaldehyde (5). Samples taken at the exhaust muffler outlet : A : 1990 Volkswagen « Golf GL » without catalyzer (Table I) ; Samples taken inside the exhaust muffler : B : 1994 Renault « Twingo » with catalyzer (Table II, 1st test) ; C : 1990 Renault « R5 » without catalyzer (Table II) ; D : 1993 Peugeot « 106 » with catalyzer (Table II).

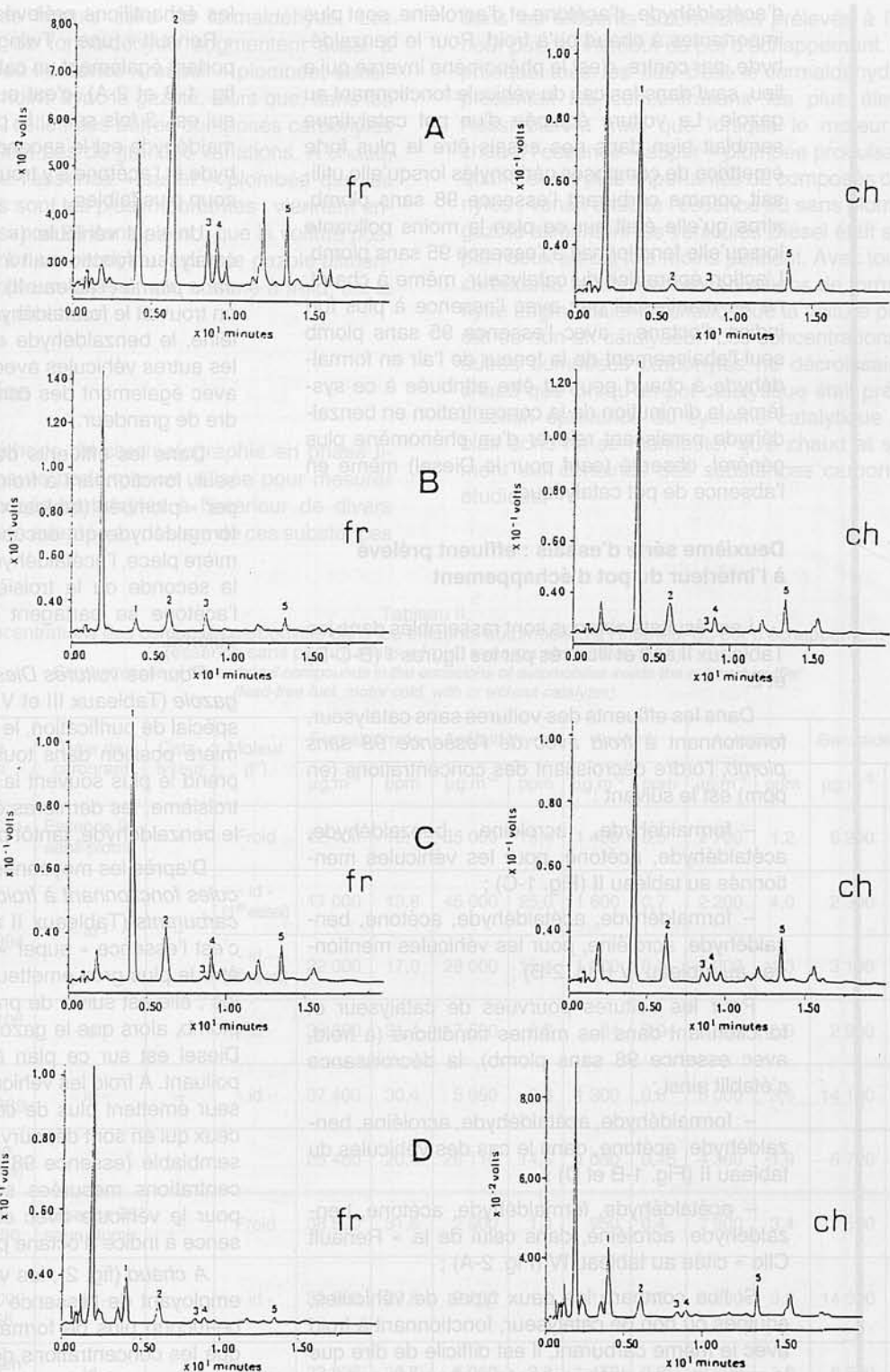


Figure 2.

Chromatogrammes obtenus à partir des effluents (prélèvements à l'intérieur du pot d'échappement) de véhicules fonctionnant à froid (fr) et à chaud (ch) avec différents types de carburant ; dinitro-2,4-phénylhydrazones de formaldéhyde (1), acétaldéhyde (2), acétone (3), acroléine (4), benzaldéhyde (5).

Véhicule avec catalyseur : A : Renault « Clio » 1994, avec essence 98 sans plomb (Tableau IV) ;

Véhicules sans catalyseur : B : Peugeot « 106 XN » 1992, avec essence 98 sans plomb (Tableau IV) ;

C : Renault « R14 GTL » 1980, avec essence « super » plombée (Tableau V) ; D : Renault « Super 5D » 1988, avec gazole (Tableau VI).

Chromatograms obtained from the emissions (samples taken inside the exhaust muffler) of vehicles with cold (fr) and hot (ch) motors and different types of fuel : dinitro-2,4-phenylhydrazones of formaldehyde (1), acetaldehyde (2), acetone (3), acrylaldehyde (4), benzaldehyde (5). Vehicle with catalyzer : A : 1994 Renault « Clio » with lead-free 98-octane fuel (Table IV) ;

Vehicles without catalyzer : B : 1992 Peugeot « 106 XN » with lead-free 98-octane fuel (Table IV) ; C : 1980 Renault « R14 GTL » with « super » leaded fuel (Table V) ; D : 1988 Renault « Super 5D » with gasoil (Table VI).

d'acétaldéhyde, d'acétone et d'acroléine, sont plus importantes à chaud qu'à froid. Pour le benzaldéhyde, par contre, c'est le phénomène inverse qui a lieu, sauf dans les cas du véhicule fonctionnant au gazole. La voiture équipée d'un pot catalytique semblait bien dans nos essais être la plus forte émettrice de composés carbonyles lorsqu'elle utilisait comme carburant l'essence 98 sans plomb, alors qu'elle était sur ce plan la moins polluante lorsqu'elle fonctionnait à l'essence 95 sans plomb. L'action épuratrice du catalyseur, même à chaud, ne se manifestait pas avec l'essence à plus fort indice d'octane ; avec l'essence 95 sans plomb seul l'abaissement de la teneur de l'air en formaldéhyde à chaud pourrait être attribuée à ce système, la diminution de la concentration en benzaldéhyde paraissant relever d'un phénomène plus général, observé (sauf pour le Diesel) même en l'absence de pot catalytique.

Deuxième série d'essais : effluent prélevé à l'intérieur du pot d'échappement

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les Tableaux II à VI et illustrés par les figures 1 (B-C-D) et 2.

Dans les effluents des voitures sans catalyseur, fonctionnant à froid avec de l'essence 98 sans plomb, l'ordre décroissant des concentrations (en ppm) est le suivant :

- formaldéhyde, acroléine, benzaldéhyde, acétaldéhyde, acétone, pour les véhicules mentionnés au tableau II (Fig. 1-C) ;
- formaldéhyde, acétaldéhyde, acétone, benzaldéhyde, acroléine, pour les véhicules mentionnés au tableau IV (Fig. 2-B) ;

Pour les voitures pourvues de catalyseur et fonctionnant dans les mêmes conditions (à froid, avec essence 98 sans plomb), la décroissance s'établit ainsi :

- formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine, benzaldéhyde, acétone, dans le cas des véhicules du tableau II (Fig. 1-B et D) ;
- acétaldéhyde, formaldéhyde, acétone, benzaldéhyde, acroléine, dans celui de la « Renault Clio » citée au tableau IV (Fig. 2-A) ;

Si l'on compare les deux types de véhicules, équipés ou non de catalyseur, fonctionnant à froid avec le même carburant, il est difficile de dire que la concentration des composés carbonyles est plus élevée dans un cas que dans l'autre ; la seule différence se situe au niveau de l'acétaldéhyde, qui est émis en quantités nettement plus fortes lorsqu'un catalyseur est présent.

Dans les échantillons provenant à froid des voitures « Peugeot 106 » (Fig. 1-D) et « 205 XR » équipées de catalyseur (Tableau II), le formaldéhyde est le composé majeur ; l'acétaldéhyde, l'acroléine et le benzaldéhyde occupent des positions intermédiaires et l'acétone arrive en dernier. Dans

les échantillons prélevés à froid sur des voitures « Renault » (une « Twingo » et deux « Clio ») comportant également un catalyseur (Tableaux II et IV, fig. 1-B et 2-A), c'est au contraire l'acétaldéhyde qui est, 3 fois sur 4, le principal composé ; le formaldéhyde est le second, l'acroléine, le benzaldéhyde et l'acétone s'y trouvant en proportions beaucoup plus faibles.

Un seul véhicule (« Rover GTI ») équipé de catalyseur fonctionnait à froid avec de l'essence 95 sans plomb (Tableau II). Dans l'ordre décroissant on trouvait le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, l'acroléine, le benzaldéhyde et l'acétone, comme pour les autres véhicules avec catalyseur du tableau II, avec également des concentrations du même ordre de grandeur.

Dans les effluents des véhicules sans catalyseur, fonctionnant à froid avec de l'essence « super » plombée (tableaux III et V, fig. 2-C), c'est le formaldéhyde qui occupe le plus souvent la première place, l'acétaldéhyde ou l'acroléine prennent la seconde ou la troisième, le benzaldéhyde et l'acétone se partagent la quatrième ou la cinquième.

Pour les voitures Diesel fonctionnant à froid au gazole (Tableaux III et VI, fig. 2-D), sans système spécial de purification, le formaldéhyde est en première position dans tous les cas, l'acétaldéhyde prend le plus souvent la seconde et l'acroléine la troisième, les dernières étant occupées tantôt par le benzaldéhyde, tantôt par l'acroléine.

D'après les moyennes calculées pour les véhicules fonctionnant à froid avec différents types de carburants (Tableaux II à VI) et sans catalyseur, c'est l'essence « super » plombée qui paraît bien être le plus gros émetteur de composés carbonyles ; elle est suivie de près par l'essence 98 sans plomb, alors que le gazole alimentant les voitures Diesel est sur ce plan à peu près 3 fois moins polluant. A froid les véhicules possédant un catalyseur émettent plus de composés carbonyles que ceux qui en sont dépourvus, pour une alimentation semblable (essence 98 sans plomb), et les concentrations mesurées sont à peine plus faibles pour le véhicule avec catalyseur utilisant de l'essence à indice d'octane plus bas (95 sans plomb).

A chaud (fig. 2), les véhicules sans catalyseur employant de l'essence 98 sans plomb émettent beaucoup plus de formaldéhyde qu'à froid, alors que les concentrations des autres composés carbonyles sont à peine plus élevées (Tableau IV). La même constatation est faite avec le véhicule pourvu d'un catalyseur (Tableau IV) en ce qui concerne le formaldéhyde (augmentation à chaud) ; par contre les concentrations des autres composés carbonyles décroissent très nettement (*) : le pot catalytique réduirait donc à chaud les émissions de ces

(*) Ces observations doivent être vérifiées sur d'autres véhicules possédant un pot catalytique.

substances hormis celle du formaldéhyde. Les quantités de formaldéhyde augmentent aussi à chaud avec l'essence « super » plombée, sensiblement moins avec le gazole, alors que, dans les deux cas, celles des autres composés carbonylés ne subissent pas de grandes variations. A chaud, c'est avec l'essence « super » plombée que les émissions sont les plus importantes ; viennent ensuite l'essence 98 sans plomb, que la voiture possède ou non un catalyseur, puis le gazole alimentant les moteurs Diesel, qui, comme à froid, est le plus faible émetteur.

Conclusion

La méthode de chromatographie en phase liquide à haute performance utilisée pour mesurer les composés carbonylés à l'intérieur de divers locaux a été adaptée au dosage de ces substances

dans les effluents automobiles prélevés à l'extérieur puis à l'intérieur du pot d'échappement. Dans presque tous les cas c'est le formaldéhyde qui présentait les concentrations les plus élevées. Aussi bien à froid que lorsque le moteur était chaud, l'essence « super » plombée produisait les quantités les plus importantes de composés carbonylés ; venait ensuite l'essence 98 sans plomb ; le gazole alimentant les véhicules Diesel était sur ce plan deux à trois fois moins polluant. Avec tous les carburants testés les concentrations de formaldéhyde augmentaient à chaud, que la voiture possédât ou non un catalyseur. Les concentrations des autres composés carbonylés ne décroissaient à chaud que lorsqu'un pot catalytique était présent. L'action épuratrice du système catalytique semblait donc ne se manifester qu'à chaud et seulement sur certaines des substances carbonylées étudiées.

Tableau II.
Concentrations des composés carbonylés dans les effluents automobiles à l'intérieur du pot d'échappement
(essence sans plomb, moteur froid, avec ou sans catalyseur).
*Concentrations of the carbonyl compounds in the emissions of automobiles inside the exhaust muffler
(lead-free fuel, motor cold, with or without catalyzer).*

Type de véhicule	Type de carburant	Catalyseur	Moteur (°)	Formaldéhyde		Acétaldéhyde		Acétone		Acroléine		Benzaldéhyde	
				µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm
Renault Clio 1994	Essence 98 sans plomb	+	Froid	12 400	10,1	35 000	19,4	1 400	0,6	2 700	1,2	6 200	1,4
Renault Twingo 1994	- id -	+	- id - (1 ^{er} essai)	17 000	13,8	45 000	25,0	1 600	0,7	2 200	4,0	2 300	0,5
			- id - (2 ^e essai)	22 000	17,9	28 000	15,4	1 000	0,4	3 000	1,3	3 100	0,7
Peugeot 106 1993	- id -	+	- id -	38 600	31,4	17 500	9,7	84	0,04	5 900	2,6	2 900	0,7
Peugeot 205 XR 1989	- id -	+	- id -	37 400	30,4	5 050	2,8	1 300	0,6	8 000	3,5	14 100	3,2
Moyenne (4 véhicules)				25 480	20,4	26 110	14,5	1 080	0,45	4 360	1,9	5 720	1,3
Renault 5 Five 1990	Essence 98 sans plomb	-	Froid	38 800	31,6	2 600	1,4	950	0,4	7 800	3,4	11 500	2,6
Renault Espace 2000 CTS 1988	- id -	-	- id -	33 800	27,5	2 200	1,2	1 160	0,5	6 800	3,0	14 300	3,3
Volkswagen Polo 1987	- id -	-	- id -	32 800	26,7	5 040	2,8	1 450	0,6	8 300	3,6	6 500	1,5
Opel Corsa 1989	- id -	-	- id -	37 800	30,8	3 300	1,8	940	0,4	8 300	3,6	10 100	2,3
Nissan Micra GL 1988	- id -	-	- id -	24 500	19,9	1 140	0,6	1 100	0,5	5 200	2,3	23 000	5,3
Moyenne (5 véhicules)				33 540	27,3	2 860	1,6	1 120	0,5	7 280	3,2	13 080	3,0
Rover GTI 1992	Essence 95 sans plomb	+	Froid	23 400	19,0	12 700	7,0	1 260	0,5	9 500	4,2	14 300	3,3

Tableau III.
Concentrations des composés carbonylés dans les effluents automobiles à l'intérieur du pot d'échappement
(essence « super » plombée et gazole, moteur froid, sans catalyseur).
Concentrations of the carbonyl compounds in the emissions of automobiles inside the exhaust muffler
(« super » leaded fuel and gasoil, motor cold, without catalyzer).

Type de véhicule	Type de carburant	Catalyseur	Moteur (t°)	Formaldéhyde		Acéaldéhyde		Acétone		Acroléine		Benzaldéhyde	
				µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm
Renault 5 GTL 1979	Essence « super » plombée	—	Froid	31 200	25,4	3 900	2,2	860	0,4	6 000	2,6	11 500	2,6
Peugeot 295 Junior 1989	- id -	—	- id -	20 800	16,9	5 200	2,9	2 360	1,0	12 400	5,4	14 100	3,2
Citroën AX Sport 1989	- id -	—	- id -	25 600	20,8	8 600	4,8	2 600	1,1	5 600	2,4	3 300	0,8
Citroën AX 10 E 1987	- id -	—	- id -	18 100	14,7	2 700	1,5	2 460	1,0	5 800	2,5	17 700	4,1
Audi 80 GT 1986	- id -	—	- id -	37 500	30,5	3 500	1,9	1 940	0,8	12 300	5,4	6 600	1,5
Opel Corsa 1986	- id -	—	- id -	22 700	18,5	2 200	1,2	1 050	0,4	6 800	3,0	13 700	3,2
Austin Metro 1988	- id -	—	- id -	32 800	26,7	9 800	5,4	1 300	0,5	5 700	2,5	5 900	1,4
Fiat Ritmo 1983	- id -	—	- id -	35 300	28,7	6 500	3,6	930	0,4	5 600	2,4	9 300	2,1
Moyenne (8 véhicules)				28 000	22,8	5 300	2,9	1 690	0,7	7 520	3,3	10 260	2,4
Renault Clio RN Diesel 1991	Gazole	—	Froid	10 900	8,9	330	0,2	380	0,2	1 800	0,8	3 900	0,9
Renault R19 RN Diesel 1991	- id -	—	- id -	3 700	3,0	3 800	2,1	1 400	0,6	250	0,1	1 500	0,3
Peugeot 106 Diesel 1993	- id -	—	- id -	3 800	3,1	1 300	0,7	290	0,1	340	0,15	200	0,05
Citroën ZX Diesel 1993	- id -	—	- id -	2 600	2,1	1 500	0,8	530	0,2	1 160	0,5	670	0,15
Citroën ZX Diesel 1992	- id -	—	- id -	2 500	2,0	0	0,0	790	0,3	0	0,0	500	0,1
Moyenne (5 véhicules)				4 700	3,8	1 390	0,8	680	0,3	710	0,3	1 350	0,3

Tableau IV.
Concentrations des composés carbonylés dans les effluents automobiles à l'intérieur du pot d'échappement
(essence 98 sans plomb, moteur froid et chaud, avec ou sans catalyseur).
Concentrations of the carbonyl compounds in the emissions of automobiles inside the exhaust muffler
(lead-free 98-octane fuel, motor hot and cold, with or without catalyzer).

Type de véhicule	Type de carburant	Catalyseur	Moteur (t°)	Formaldéhyde		Acétaldéhyde		Acétone		Acroléine		Benzaldéhyde	
				µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm
Renault Clio 1994	Essence 98 sans plomb	+	Froid	12 100	9,8	24 150	13,4	4 300	1,8	3 650	1,6	7 050	1,6
			Chaud	28 100	23,5	1 950	1,1	1 300	0,6	90	0,04	4 300	1,0
Citroën ZX 1991	- id -	-	Froid	4 700	3,8	5 800	3,2	2 400	1,0	900	0,4	3 200	0,7
			Chaud	18 000	14,6	11 900	6,7	4 500	1,9	2 600	1,1	5 400	1,2
Peugeot 106 XN 1992	- id -	-	Froid	2 900	2,4	5 300	2,9	3 350	1,4	110	0,05	3 400	0,8
			Chaud	45 000	36,6	6 150	3,4	1 450	0,6	2 400	1,0	6 800	1,6
Autobianchi Y 10 Fire 1998	- id -	-	Froid	6 100	5,0	8 400	4,7	3 100	1,3	0	0,0	2 100	0,5
			Chaud	19 200	15,6	9 500	5,3	3 300	1,4	770	0,3	4 300	1,0
Moyennes (3 véhicules)			Froid	4 570	3,7	6 500	3,6	2 950	1,2	340	0,15	2 900	0,7
			Chaud	27 400	22,3	9 180	5,1	3 080	1,3	1 110	0,5	5 500	1,3

Tableau V.
Concentrations des composés carbonylés dans les effluents automobiles à l'intérieur du pot d'échappement
(essence « super » plombée, moteur froid et chaud, sans catalyseur).
Concentrations of the carbonyl compounds in the emissions of automobiles inside the exhaust muffler
(« super » leaded fuel, motor hot and cold, without catalyzer).

Type de véhicule	Type de carburant	Catalyseur	Moteur (t°)	Formaldéhyde		Acétaldéhyde		Acétone		Acroléine		Benzaldéhyde	
				µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm
Renault R14 GTL 1980	Essence « super » plombée	-	Froid	36 500	29,7	8 700	4,8	1 400	0,6	3 500	1,5	6 300	1,4
			Chaud	35 100	28,6	7 700	4,3	1 900	0,8	2 250	1,0	7 100	1,6
Renault R21 GTS 1986	- id -	-	Froid	1 200	1,0	6 800	3,8	2 550	1,1	900	0,4	760	0,2
			Chaud	24 000	19,5	11 600	6,4	2 950	1,2	3 500	1,5	5 500	1,3
Peugeot 205 Junior 1991	- id -	-	Froid	2 300	1,9	8 500	4,7	3 200	1,3	3 500	1,5	4 500	1,0
			Chaud	14 700	11,9	9 000	5,0	410	0,2	3 000	1,3	5 400	1,2
Talbot Samba 1984	- id -	-	Froid	100	0,1	4 400	2,4	1 500	0,6	0	0,0	760	0,2
			Chaud	39 400	32,1	4 700	2,6	600	0,25	2 300	1,0	5 500	1,3
Ford Sierra 1984	- id -	-	Froid	12 600	10,3	14 500	8,0	3 200	1,3	3 500	1,5	4 500	1,0
			Chaud	43 000	35,0	5 500	3,1	410	0,2	3 000	1,3	5 400	1,2
Moyennes (5 véhicules)			Froid	10 540	8,6	8 580	4,8	2 370	1,0	2 280	1,0	3 360	0,8
			Chaud	31 240	25,4	7 700	4,3	1 250	0,5	2 810	1,2	5 780	1,3

Tableau VI.
Concentrations des composés carbonylés dans les effluents Diesel à l'intérieur du pot d'échappement (gazole, moteur froid et chaud, sans catalyseur).
Concentrations of the carbonyl compounds in the emissions of diesel vehicles inside the exhaust muffler (gasoil, motor hot and cold, without catalyzer).

Type de véhicule	Type de carburant	Catalyseur	Moteur (t°)	Formaldéhyde		Acétaldéhyde		Acétone		Acroléine		Benzaldéhyde	
				µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm	µg.m ⁻³	ppm
Renault Super 5D Diesel 1988	Gazole	-	Froid	6 100	5,0	3 400	1,9	1 200	0,5	1 200	0,5	1 500	0,3
			Chaud	7 700	6,2	3 050	1,7	1 150	0,5	1 200	0,5	3 900	0,9
Peugeot 205 XLD Diesel 1986	-id-	-	Froid	14 100	11,7	4 000	2,2	500	0,2	1 150	0,5	2 200	0,5
			Chaud	7 900	6,4	3 000	1,7	800	0,3	600	0,3	1 700	0,4
Peugeot 405 GRD Turbo Diesel 1988	-id-	-	Froid	10 050	8,2	2 650	1,5	500	0,2	2 500	1,1	1 350	0,3
			Chaud	6 100	5,0	4 000	2,2	950	0,4	600	0,3	1 700	0,4
Citroën ZX Turbo D Diesel 1983	-id-	-	Froid	6 700	5,5	4 100	2,25	400	0,2	1 600	0,7	1 900	0,4
			Chaud	26 000	21,2	4 300	2,4	420	0,2	1 600	0,7	2 800	0,6
Moyennes (4 véhicules)			Froid	9 240	7,5	3 540	2,0	650	0,3	1 610	0,7	1 740	0,4
			Chaud	11 900	9,7	3 590	2,0	830	0,35	1 000	0,4	2 520	0,6

Remerciements

Les auteurs remercient l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA), Direction nationale, 58, rue du Rocher, 75008 Paris, pour son intérêt et l'aide qu'elle leur a apportée dans la réalisation de ces études.

Bibliographie

- [1] FERON V.J., TIL H.P., de VRIGER F., VAN BLADEREN P.J. Toxicology of volatile organic compounds in indoor air and strategy for further research. *Indoor Environment*, 1992, 1, 69-81.
- [2] TEJADA S.B. Evaluation of silica gel cartridges coated in situ with acidified 2,4-dinitrophenyl-hydrazine for sampling aldehydes and ketones in air. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 1986, 26, 167-185.
- [3] KAISER E.W., ANDINO J.H., SIEGL W.O., HAMMERLE R.H., BUTLER J.W. Hydrocarbon and aldehyde emissions from an engine fueled with ethyl-t-butyl ether. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 1991, 41, 195-197.
- [4] NAGY T., SZABO M. Investigations of aldehyde in urban air. *Egészségtudomány*, 1992, 36, 136-143.
- [5] ANDERSON L.G., WOLFE P., BARELL R., LANING J. The effect of using oxygenated fuels on the atmospheric concentration of CO and aldehydes. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1993, 33, 243-246.
- [6] PERRY R., GEE I.L. Vehicle emissions in relation to fuel composition, Leslie G. and Perry R. (eds). *International Conference of Volatile Organic Compounds*, London, Lonsdale Press, 1993, pp. 185-197.

- [7] GRIMALDI F., BOTTI P., BOUTHIBA M., GOUZO F., VIALA A. Etude de la pollution de l'air par les composés carbonylés à l'intérieur de différents locaux. *Pollution atmosphérique* (à compléter).
- [8] GRIMALDI F., BOUTHIBA M., GOUZO F., VIALA A. Determination of volatile aldehydic compounds in various indoor and outdoor air samples, Leslie G. and Perry R. (eds), *International Conference of Volatile Organic Compounds*, London, Lonsdale Press, 1993, pp. 311-319.
- [9] GRIMALDI F., BACLE D., BOUTHIBA M., VIALA A. Mesure de composés carbonylés dans les effluents automobiles. *X^e Congrès Mondial pour l'Air Pur*, Helsinki, 28 mai-2 juin 1995, Proceedings, Vol. I, 009 (4 p.).
- [10] GRIMALDI F., BACLE D., VIALA A. Emissions of carbonyl compounds from vehicles fuelled with different gasolines. *International Conference IAI on « Scientific and Regulatory Aspects of Air Quality Management »*, Saint-Petersbourg, 7-9 juin 1995, Abstracts, pp. 233-234, *Indoor Environment*, 1995, 4, 297-301.

Mots clés

Pollution de l'air extérieur. Effluents automobiles. Composés organiques volatils. Aldéhydes. Acétone. Chromatographie liquide à haute performance.

Key words

Outdoor air pollution. Automobile exhausts. Volatile organic compounds. Aldehydes. Acetone. High-performance liquid chromaography.

Erratum

L'inventaire des émissions atmosphériques franco-allemand pour la communauté urbaine de Strasbourg et l'arrondissement de l'Ortenau (Kehl-Offenburg) - Revue n° 148

Les auteurs de l'article « l'inventaire des émissions atmosphériques franco-allemand pour la communauté urbaine de Strasbourg et l'arrondissement de l'Ortenau (Kehl-Offenburg) » publié dans le n° 148, nous demandent de porter à la connaissance des lecteurs de la revue le communiqué suivant concernant le dernier paragraphe des remerciements :

Parmi les remerciements à l'ensemble des organismes qui ont soutenu le programme INTER-REG I, nous avons omis de citer explicitement la Région Alsace et nous leur présentons nos plus plates excuses pour cette omission involontaire. Nous tenons à souligner par ailleurs que depuis fort longtemps déjà, le Conseil Régional d'Alsace, sou-

tient et est impliqué dans de nombreux programmes de Recherches sur l'environnement. La recherche sur l'environnement en Alsace a bénéficié d'un appui technique et financier déterminant dans ces programmes, en particulier dans le programme REKLIP cité dans l'article et dont nous faisons partie. Sans le concours de la Région Alsace, nous n'aurions pas pu acquérir la méthodologie nécessaire pour nous permettre de réaliser l'étude présentée dans cet article. Nous demandons donc à la Région Alsace un peu d'indulgence pour cet oubli malencontreux.

Les auteurs :

J.-L. PONCHE, R. GHANNOUCHI,
V. OUDIN et Ph. MIRABEL

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

is the publication of the French Association for Air Pollution Prevention (APPA) and the only French journal dedicated to air pollution. The papers of all the principal researches in the field are published in its pages.

Wishing to interest readers who do not speak French, titles, summaries and captions of tables and figures will now also be published in English. Results of air quality research contracts managed by the Ministry of Environment will also be published in English.

The journal is available to specialists from other countries to release the results of their work to the French speaking community. Authors should send their papers, drafted either in English or in French, to the Managing Editor, who will submit them to the Editorial Committee. If selected, they will be published in French and English. The journal will take care of translation.

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

QUARTERLY REVIEW

EDITOR - ADMINISTRATION - ADVERSITING
58, RUE DU ROCHER F. - 75008 PARIS
Tél. (1) 42 93 62 07 - 42 93 69 30
Fax (1) 42 93 41 99

SUBSCRIPTION FORM

NAME : _____

ADDRESS : _____

wishes to take out a one year subscription to POLLUTION ATMOSPHERIQUE.

Attached is a cheque for F. : _____ (Payment in French Francs only).

Date _____

Subscription 1996 (4 issues) = 680 F.F. Signature _____

For the Union European Enterprises, please to indicate your VAT number.