



# LE FORMALDEHYDE DANS L'HABITACLE DES VEHICULES AUTOMOBILES

## RÉSUMÉ

*Les véhicules automobiles sont des microenvironnements soumis à une pollution bien spécifique, dans lesquels nous passons de plus en plus de temps. Les véhicules sont d'une part source eux-mêmes de pollution, lors de la combustion du carburant dans le moteur, lors de l'évaporation du carburant et des fluides, ainsi que par l'émission intrinsèque des matériaux les composant. Ils sont bien évidemment aussi en contact avec la pollution extérieure, notamment celle engendrée par le trafic automobile au milieu duquel ils circulent, qui peut pénétrer à l'intérieur de l'habitacle par les vitres, les orifices d'aération, lors de l'ouverture des portes... Enfin, les habitudes du conducteur ou des passagers sont également une source de pollution non négligeable, en particulier l'usage du tabac, de produits de nettoyage, de déodorants, d'huile ou autres composants parfois stockés dans le véhicule.*

## INTRODUCTION

On retrouve dans les véhicules automobiles tous les polluants habituellement rencontrés dans l'air urbain, ainsi que des polluants plus spécifiques des environnements confinés. Parmi les études portant sur la pollution interne des véhicules automobiles, très peu (répertoriées dans le tableau 1) se sont intéressées au formaldéhyde.

Cette faible quantité de données s'explique par la part très minoritaire des aldéhydes dans ces polluants, par le manque jusqu'à une date récente de données sur l'impact des aldéhydes (et en particulier du formaldéhyde) sur la santé, et par la difficulté spécifique que pose la mesure de celui-ci à faible concentration (cf. Dagnelie et al. dans ce numéro).

A trois exceptions près (Atmosf'Air Bourgogne, 2003 ; Marchand et al., 2006 et Hanoune, 2008), les études répertoriées dans le tableau 1 ont été menées à l'étranger, et les résultats obtenus ne sont pas a priori transposables aux véhicules utilisés en France, ne serait-ce qu'à cause des différences de carburant, donc d'émission de polluants. Les trois études françaises, très partielles, montrent cependant les mêmes tendances. Le présent article vise à donner l'état des connaissances actuelles sur les niveaux de formaldéhyde dans les voitures et les transports en général. Pour apprécier le niveau d'exposition des personnes, nous considérerons l'ensemble des données actuellement disponibles.

## I - NIVEAUX MESURÉS ET EXPOSITION CHRONIQUE

Les concentrations en formaldéhyde relevées dans les véhicules (Tableau 1) sont de l'ordre de 10 à 30 ppb<sup>1</sup>, avec cependant des cas où elles

<sup>1</sup> Physico-Chimie des Processus de Combustion et de l'Atmosphère, UMR CNRS/USTL 8522 Bâtiment C11, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq, France Fax +33 3 20 43 69 77 benjamin.hanoune@univ-lille1.fr

Année	Auteurs	Lieu	Saison	Véhicules	Trajet	Résultats (ppb)	Moyenne (ppb)
1991 §	Chan et al.	Boston, USA	Nov. 1989 - Jan. 1990	métro	urbain	? - 11.5	3.7
1995	Lawryk et al.	New Jersey et New York, USA	Janv. 1991 - juillet 1992	2 voitures	Péri-urbain	? - 0.6	0.2
1998	Rodes et al.	Sacramento, USA Los Angeles, USA	Sept. - Oct. 1997	3 voitures et 1 bus	Rural, urbain et autoroute	4 - 11.4 0 - 17.9	?
2002	Jo & Lee	Taegu, Corée	Juin - août 2000 Nov. 2000 - Janv. 2001	40 voitures et 20 bus	urbain	8.8 - 39.8 8.7 - 28.8	20 21.2
2003 §	AtmosfAir Bourgogne	Bourgogne, France	Été Hiver	1 voiture	?	11.6 5.9	? ?
2005	Sabin et al.	Los Angeles, USA	Avril - juin 2002	7 autobus	Urbain Rural	0.4 - 4 0.2 - 1.6	?
2005	Shiohara et al.	Mexico, Mexique	Juin - juillet 2002	5 microbus 6 bus 6 metro 8 voitures	urbain	30 - 42 16 - 20 10 - 23 18 - 24	33 19 16 20
2005	Schupp et al.	Allemagne	?	?	?	?	39
2006	Marchand et al.	Strasbourg, France	Juin 2004 - janvier 2005	2 voitures < 2 ans 1 voiture > 8 ans 1 voiture > 8 ans	A l'arrêt Circulation dense Circulation fluide	9.9 - 12.8 18.9 - 24.6 9.8 - 17.2	11.3 21.8 13.5
2006	Yoshida & Matsunaga	Osaka, Japon	Juillet 1999 - Déc. 2002	1 voiture 1999	A l'arrêt	2 - 40	?
2007	Pang & Mu	Beijing, Chine	Mars - avril 2005	12 taxis 9 bus 8 métros	urbain	10.6 - 27.6 10.6 - 76.4 12.2 - 22	21 22 15.4
2008	Zhang et al.	Beijing, Chine	Avril - juin 2004	802 voitures < 5 ans 20 voitures > 5 ans	A l'arrêt	16 - 900	65
2008	Hanoune	Lille, France	Janvier - Mars 2006	11 voitures	A l'arrêt Trajet urbain	0.6 - 15.5 3 - 33	4.4

§ Référence non vérifiée, d'après Afsset (2008)

**Tableau 1 : Etudes publiées sur la quantification du formaldéhyde dans les habitacles de véhicules automobiles.**

sont très faibles, inférieures à quelques ppb (Lawryk et al., 1995 ; Sabin et al., 2005 et Hanoune, 2008), et de très rares cas où ces concentrations sont anormalement élevées, jusqu'à 900 ppb (Zhang et al., 2008). Dans toutes ces études, sauf Hanoune en 2008, où il s'agit de concentrations instantanées obtenues par spectroscopie laser infrarouge, la quantification du formaldéhyde a été faite par prélèvement sur cartouche imprégnée de DNPH lors de trajets ou à l'arrêt, et analyse différée par chromatographie liquide haute pression (HPLC). Ils donnent donc une concentration moyenne en formaldéhyde pendant le temps d'échantillonnage.

Comme souligné par Sabin et al. en 2005, les concentrations en formaldéhyde sont relative-

ment homogènes à l'intérieur des véhicules, y compris dans des bus. Il n'y donc pas de zones plus ou moins exposées au formaldéhyde. Il n'y a pas non plus (Jo & Lee, 2002 ; Rodes, 1998 et Zhang, 2008) de différences significatives entre les différents véhicules automobiles terrestres, ni en fonction de leur taille, de leur carburant, ou de leur marque. L'âge des véhicules n'a pas non plus d'influence directe sur les concentrations en formaldéhyde, même s'il a été montré que les dysfonctionnements du moteur peuvent être à l'origine de fortes concentrations en polluants dans l'habitacle (Lawryk et al., 1995).

Mise à part cette dernière étude, ainsi que celle de Pang et Mu en 2007 où la concentration maximale est de près de 80 ppb, on se situe

<sup>1</sup> ppb abréviation de l'anglais « part per billion », c'est-à-dire « partie par milliard »

donc en-dessous de la Valeur Toxicologique de référence (VTR) retenue par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) (2008b) protégeant de tout effet toxique, cancérigène et non cancérigène, pour une exposition intermédiaire, de  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , soit 33 ppb. On se situe cependant au-dessus du seuil retenu pour une exposition chronique, pris à 3 ou  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , soit 2,4 ou 8 ppb. Le formaldéhyde dans les voitures est donc à l'origine d'une exposition chronique et doit être pris en compte lors de l'évaluation des risques. Sabin et al. évaluent que le trajet en bus scolaire d'enfants peut représenter jusqu'à 30 % de leur exposition aux polluants liés au diesel, dont le formaldéhyde, même si la part de celui-ci n'est pas explicitement donnée. Les doses de formaldéhyde reçues sont bien évidemment plus importantes avec la durée d'exposition, et un risque accru est noté en particulier pour les conducteurs professionnels (Shiohara et al. 2005, Pang et Mu 2007).

## II - SOURCES INTÉRIEURES DE FORMALDÉHYDE

Les études lors de trajets ont été réalisées sur des véhicules où il était interdit de fumer, car ceci aurait bien évidemment faussé les mesures. A titre d'exemple, la concentration de formaldéhyde mesurée par Pang et Mu (2007) dans une voiture après qu'une cigarette ait été fumée est dix fois supérieure à la concentration avant ce test. Il est alors raisonnable de penser que dans l'étude sur les niveaux de formaldéhyde dans plus de 800 véhicules à l'arrêt réalisée par Zhang et al. en 2008, les valeurs exceptionnellement hautes, jusque 900 ppb, pourraient être attribuées au tabagisme, même si ces résultats ne sont pas discutés.

D'autres sources « comportementales » ont été mises en évidence. Une étude en laboratoire par Lamorena et Lee (2008) a montré l'influence de l'utilisation de désodorisant pour voiture sur la concentration en formaldéhyde dans les véhicules, par suite de réactions entre les COV biogéniques, comme les monoterpènes, émis par ces déodorants, et l'ozone et entraînent la génération in fine de particules et de composés organiques dont le formaldéhyde. Cette influence des déodorants a été également mise en évidence dans l'étude de Fedoruk et Kerger (2003) comme un facteur dominant des COV recensés dans un véhicule.

Enfin, le véhicule lui-même est source de formaldéhyde, à travers les matériaux le composant. Pang et Mu (2007) attribuent ainsi à l'émission des matériaux la concentration de 80 ppb de formaldéhyde dans un autobus récent. Yoshida et Matsunaga (2006) ont suivi l'évolution de la concentration en formaldéhyde dans une voiture, pendant 3 ans à partir de sa fabrication. La concentration du formaldéhyde évolue de 38 ppbv le jour de sa réception, avec une légère

décroissance au cours de la période d'étude, avec une alternance de maxima autour de 40 ppb en été et de minima (quelques ppb) en hiver. En hiver, ces concentrations correspondent aux concentrations relevées à l'extérieur du véhicule, mais en été, elles y sont nettement supérieures. Le véhicule ayant été bien aéré avant la mesure, l'équilibre entre concentrations intérieure et extérieure en hiver est attendu, et la différence en été suggère que le formaldéhyde est effectivement directement émis par les matériaux composant le véhicule, car le taux d'émission est fortement dépendant de la température, comme déjà examiné par Schupp et al. en 2005.

## III - SOURCES EXTÉRIEURES DE FORMALDÉHYDE

L'air extérieur peut pénétrer dans les véhicules, lors de l'ouverture des portières et fenêtres, la ventilation, ou encore de manière diffuse (Ott et al., 2008). Cet air extérieur, où sont présents des composés carbonylés, provenant principalement des émissions véhiculaires, peut également être l'origine du formaldéhyde mesuré dans les voitures.

L'influence de l'air extérieur peut être mise en évidence par le rapport des concentrations intérieures de formaldéhyde et d'acétaldéhyde, qui permet d'attribuer l'origine de la pollution. Cette méthode a été utilisée par Jo & Lee (2002) pour imputer principalement à la pollution extérieure le formaldéhyde mesuré dans leur étude sur des trajets à Taegu (Corée), ainsi que par Marchand et al. (2006), qui ont mis en évidence que le formaldéhyde mesuré dans des voitures à l'arrêt ou dans un trafic fluide à Strasbourg provient essentiellement des matériaux composant la voiture, alors que dans un trafic dense le formaldéhyde est dominé par les émissions des véhicules.

Plus simplement, l'origine extérieure du formaldéhyde est mise en évidence par la forte corrélation entre les concentrations mesurées à l'intérieur des voitures et les concentrations mesurées dans l'air extérieur. Par exemple, Rodes et al. (1998) ont ainsi mesuré les concentrations en formaldéhyde et en autres polluants en fonction du type de l'environnement dans lequel a lieu le trajet (rural, urbain, autoroute), et en fonction de la densité du trafic. Les concentrations sont ainsi plus élevées aux heures de trafic qu'aux heures creuses, en milieu urbain plus qu'en milieu rural, et également sur les voies des autoroutes réservées au covoiturage, donc plus fluides, que sur les autres voies. De même, dans les mesures effectuées par Hanoune en 2008, les concentrations intérieures et extérieures sont sensiblement les mêmes, allant de quelques ppb à l'arrêt sur un parking en hiver, avec une montée instantanée de la concentration jusqu'environ 20 ppb lorsque la circulation est ralentie par le trafic d'un nœud autoroutier.

Le taux de renouvellement d'air augmentant avec la vitesse, les échanges entre extérieur et

intérieur seront prédominants à haute vitesse, donc en conditions de trafic peu dense, où en plus les concentrations de formaldéhyde à l'extérieur ne seront pas non plus très élevées. La ventilation forcée (ventilation, air conditionné) devient alors négligeable par rapport à la ventilation naturelle, comme ceci a été observé par Lawryk et al. (1995), Rodes et al. (1998) ou encore Jo et Lee (2002). A l'inverse, en trafic dense, comme dans l'étude de Mexico City par Shiohara et al. (2005), les microbus, dont les fenêtres sont toujours ouvertes, montrent des concentrations de formaldéhyde bien plus élevées que les bus et voitures dont les fenêtres sont généralement fermées. De plus, les gaz d'échappement des microbus peuvent être directement réinjectés à l'intérieur, augmentant ainsi les concentrations. Cette auto-pollution a également été discutée par Sabin et al. (2005), même si les mécanismes d'intrusion des émissions à l'intérieur du véhicule sont encore mal compris.

Deux conséquences de cette intrusion de l'air extérieur vers l'intérieur de l'habitacle peuvent être tirées. D'une part, la météorologie locale et la photochimie, qui modifient les concentrations atmosphériques, et par suite les concentrations intérieures de formaldéhyde dans les véhicules, sont importantes. Pang et Mu (2007) indiquent ainsi que les concentrations auxquelles seraient exposés les conducteurs augmenteraient en été à cause du smog photochimique à Beijing. De même, les concentrations relevées à Mexico City par Baez et al. (1995) varient de 15 ppb par temps couvert ou venteux et en absence de smog, jusque 65 ppb lorsque l'atmosphère est stable et dominée par le smog. La météorologie locale est aussi une des raisons avancées par Jo et Lee (2002) qui expliquerait la différence de concentration de formaldéhyde relevée à l'intérieur des véhicules à Taegu (Corée), avec une médiane de 22,6 ppb en hiver et de 15,9 en été, voitures et bus confondus, même si d'autres paramètres sont invoqués, comme la plus basse efficacité de combustion en hiver ou la vitesse de conduite moyenne.

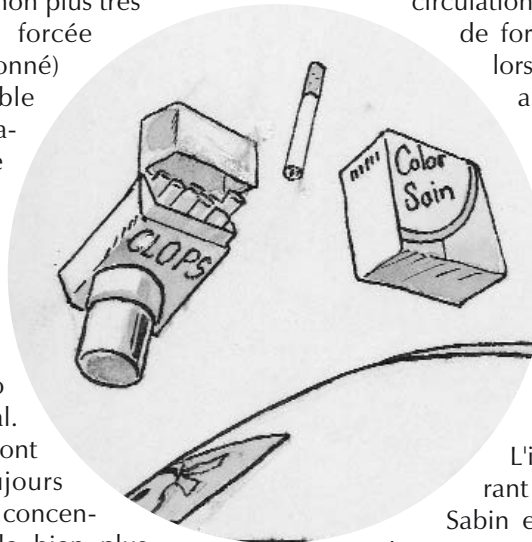
La deuxième conséquence de cet échange entre intérieur et extérieur est l'influence prépondérante des véhicules environnants sur les concentrations de formaldéhyde relevées à l'intérieur, et en particulier du véhicule immédiatement précédent. Comme discuté par Rodes et al. (1998), dans ces conditions, la distance entre les deux véhicules, le type de carburant utilisé par le premier véhicule, et l'état de fonctionnement de la ventilation du véhicule suiveur sont des

facteurs potentiellement importants. Ces facteurs ont été abordés par Hanoune en 2008, qui a effectivement mesuré, dans des conditions de circulation simulée, des concentrations de formaldéhyde plus importantes lorsque le véhicule polluant est alimenté en gazole plutôt qu'en essence, et lorsque la ventilation est forcée dans le véhicule suiveur. Les facteurs d'émission en formaldéhyde des véhicules Diesel sont en effet plus importants que ceux des véhicules à essence (voir par exemple Caplain et al. 2006).

L'influence du type de carburant avait déjà été discutée par Sabin et al. (2005), pour expliquer les concentrations plus faibles relevées dans cette étude par rapport à l'étude de Rodes et al. (1998), baisse attribuée d'une part à la reformulation des carburants, et d'autre part à des normes plus strictes pour les émissions véhiculaires et l'évaporation, depuis cette première étude. Dans cette même étude, il a été montré que l'utilisation dans certains véhicules de gaz naturel comprimé était source d'une surexposition au formaldéhyde. Les émissions en polluants non réglementés, dont le formaldéhyde, des carburants alternatifs sont toujours en cours d'étude. Il semble que le biodiesel produise moins de formaldéhyde (Peng et al. 2008), mais pas les mélanges d'essence ou de gazole avec de l'éthanol (Pang et al. 2008), même si ceux-ci ont des émissions réduites en ce qui concerne le monoxyde de carbone ou les particules.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agence française de sécurité sanitaire et de l'environnement et du travail (Afsset) (2008). Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs. Evaluation des risques sanitaires pour la population générale. Rapport d'expertise collective, mai 2008. ISBN 978-2-11-097830-1, consultable sur [www.afsset.fr](http://www.afsset.fr)
- Agence française de sécurité sanitaire et de l'environnement et du travail (Afsset) (2008b). Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs. Toxicité du formaldéhyde. Etats des connaissances sur la caractérisation des dangers et choix des valeurs toxicologiques de référence. Rapport d'expertise collective, mai 2008. ISBN 978-2-11-097829-5, consultable sur [www.afsset.fr](http://www.afsset.fr)
- Baez A.P., Belmont R. & Padilla H. (1995). Measurements of formaldehyde and acetaldehyde in the atmosphere of Mexico City, *Environmental Pollution*, vol. 89, p. 163-167
- Caplain I., Cazier F., Nouali H., Mercier A., Déchaux J.-C., Nollet V., Joumard R., André J.-M. & Vidon R. (2006). Emissions of unregulated pollutants from gasoline and diesel passenger cars, *Atmos. Envir.*, vol. 40, p. 5954-5966
- Chan A.-T., Spengler J.D., Özkaynak H., & Lefkopolou M. (1991). Commuter exposures to VOCs in Boston,



- Massachusetts, *J. Air & Waste Manag. Assoc.*, vol. 41, p. 964-972
- Dagnelie R., Hanoune B. & Tran-Thi T.-H. (2008). Méthodes de mesure du formaldéhyde dans l'atmosphère, ce numéro d'*Air Pur*.
- Fedoruk M.J. & Kerger B.D. (2003). Measurement of volatile organic compounds inside automobiles, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, vol. 13, p. 31-41
- Hanoune B. (2008). Assessment of the exposure to formaldehyde while driving: a feasibility study, Proceedings du Colloque "Environnement et transports dans des contextes différents", Ghardaïa (Algérie), octobre 2008
- Jo W.-K. & Lee J.-W. (2002). In-vehicle exposure to aldehydes while commuting on real commuter routes in a Korean urban area, *Environ. Res.*, vol. 88, p. 44-21
- Lamarena R.B. & Lee W. (2008). Influence of ozone concentration and temperature on ultra-fine particle and gaseous volatile organic compound formations generated during the ozone-initiated reactions with emitted terpenes from a car air freshener, *J. Hazard. Mater.* (in press)
- Lawryk N.J., Liroy P.J. & Weisel C. (1995). Exposure to volatile organic compounds in the passenger compartment of automobiles during periods of normal and malfunctioning operation, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, vol. 5, p. 511-531
- Marchand C., Bulliot B., Le Calvé S. & Mirabel P. (2006). Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg (France), *Atmos. Environ.*, Vol. 40, p. 1336-1345
- Ott W., Klepeis N. & Switzer P. (2008). Air change rates of motor vehicles and in-vehicle pollutant concentrations from secondhand smoke, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, vol. 18, p. 312-325
- Pang X. & Mu Y. (2007). Characteristics of carbonyl compounds in public vehicles of Beijing city: concentrations, sources, and personal exposures, *Atmos. Environ.*, vol. 41, p. 1819-1824
- Pang X., Mu Y., Yuan J. & He H. (2008). Carbonyls emission from ethanol-blended gasoline and biodiesel-ethanol-diesel used in engines, *Atmos. Environ.*, vol. 42, p. 1349-1358
- Peng C.-Y., Yang H.-H., Lan C.-H. & Chien S.-M. (2008). Effects of biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust, *Atmos. Environ.*, vol. 42, p. 906-915
- Rodes, C., Sheldon L., Whitaker D., Clayton A., Fitzgerald K., Flanagan J., DiGenova F., Hering S. & Frazier C. (1998). Measuring concentrations of selected air pollutants inside California vehicles. California Air Resources report n° PB-99-161028/XAB, 536p.
- Sabin L.D., Behrentz E., Winer A.M., Jeong S., Fitz D.R., Pankratz D.V., Colome S.D. & Fruin S.A. (2005). Characterizing the range of children's air pollutant exposure during school bus commutes, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, vol. 15, p. 377-387
- Schupp T., Bolt H.M. & Hengstler J.G. (2005). Maximum exposure levels for xylene, formaldehyde and acetaldehyde in cars, *Toxicology*, vol. 206, p. 461-470
- Shiohara N, Fernandez-Bremauntz A.A., Jiménez S.B. & Yanagisawa Y. (2005). The commuters' exposure to volatile chemicals and carcinogenic risk in Mexico City, *Atmos. Environ.*, vol. 39, p. 3481-3489
- Yoshida T. & Matsunaga I. (2006). A case study on identification of airborne organic compounds and time courses of their concentrations in the cabin of a new car for private use, *Environ. Intern.*, vol. 32, p. 58-79
- Zhang G.-S., Li T.-T., Luo M., Liu J.-F., Liu Z.-R. & Bai Y.-H. (2008). Air pollution in the microenvironment of parked new cars, *Build. Environ.*, vol. 43, p. 315-319

