

[Cancer environnement](#) > [Monographies du CIRC](#) > [Vol.105 : Cancérogénicité des gaz d'échappement des moteurs diesel...](#)

Volume 105 : Cancérogénicité des gaz d'échappement des moteurs diesel et des moteurs essence ainsi que de certains nitroarènes

En juin 2012, 24 experts de sept pays se sont réunis au Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) à Lyon pour évaluer la cancérogénicité des gaz d'échappements des moteurs essence et des moteurs diesel ainsi que de certains nitroarènes. Ces évaluations seront publiées dans le volume 105 des monographies du CIRC¹.

Les moteurs diesel sont utilisés pour les transports routiers et non routiers (trains, bateaux, par exemple), pour du matériel (lourd) dans différents secteurs industriels (bâtiment, exploitations minières par exemple) et pour les générateurs électriques, particulièrement dans les pays en voie de développement. Les moteurs essence sont utilisés pour les voitures et appareils portatifs (tronçonneuse, par exemple).

Les émissions provenant de ces moteurs sont complexes et leur composition chimique variable. La phase gazeuse se compose de monoxyde de carbone, d'oxyde d'azote et de composés organiques volatiles comme le benzène et le formaldéhyde. Les particules se composent de carbone élémentaire et organique, cendres, sulfate et métaux. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les nitroarènes sont répartis entre la phase gazeuse et la phase particulaire. La composition qualitative et quantitative des gaz d'échappement dépend du type de carburant, du type de moteur et de son ancienneté, de l'état des réglages et de l'entretien, du système de contrôle des émissions de gaz et du type d'utilisation. Les gaz d'échappement des moteurs diesel sans système de contrôle d'émission ou avec système limité contiennent plus de particules fines².

Ces deux dernières décennies, la mise en place de normes d'émissions plus strictes en Amérique du Nord, Europe et ailleurs a engendré des progrès dans la technologie diesel, ce qui a conduit à une baisse des émissions de particules fines, d'oxyde d'azote et d'hydrocarbures. En ce qui concerne les utilisations non-routières, les normes d'émission ont beaucoup de retard et ne sont donc pratiquement pas contrôlées à ce jour. De plus, dans beaucoup de pays moins développés, ces normes ne sont pas appliquées pour l'utilisation des moteurs essence et des moteurs diesel routiers et non routiers.

Les études épidémiologiques les plus influentes évaluant les risques de cancer associés aux gaz d'échappement de moteurs diesel se sont intéressées aux expositions professionnelles des mineurs (à l'exception des mineurs de mines métalliques), des travailleurs des chemins de fer, et des travailleurs de l'industrie du transport routier. L'étude américaine sur des mineurs inclut une analyse de cohorte³ et une étude cas-témoins nichée prenant en compte la consommation de tabac des sujets⁴. Les deux études montrent une tendance à l'augmentation du risque de cancer du poumon liée à une plus forte exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel, quantifiée via le carbone élémentaire estimé utilisé comme indicateur d'exposition. Les tendances sont significatives dans l'étude cas-témoins, avec un risque 2 à 3 fois plus élevé dans les catégories de plus forte exposition cumulée ou moyenne. Cette étude apporte l'une des indications les plus solides quant au lien entre l'exposition aux gaz d'échappement et le cancer du poumon, du fait de la faible proportion de facteurs de confusion pour l'exposition dans ces mines souterraines et des fortes expositions au gaz d'échappement de moteur diesel bien documentées dans les enquêtes en cours.

Dans une autre étude américaine⁵, on a observé chez les cheminots exposés aux émanations de diesel une augmentation de 40 % du risque de cancer du poumon par rapport aux individus exposés à de faibles taux

ou non exposés. L'ajustement sur la consommation de tabac suggère que les différences de consommation n'ont pas influencé de façon considérable cette augmentation de risque. Le champ de cette étude a ensuite été élargi en incluant une estimation du niveau d'exposition au diesel basée sur les antécédents professionnels et sur l'historique de « dieselisation » des différents chemins de fer, et a montré une augmentation significative de 70 à 80% du risque chez les travailleurs exposés ; ce risque augmentait avec la durée de l'exposition mais pas avec les expositions cumulées⁶.

Une vaste étude de cohorte au sein de l'industrie routière aux Etats-Unis⁷ a rapporté une augmentation de 15 à 40 % du risque de cancer du poumon chez les chauffeurs routiers et dockers exposés régulièrement aux gaz d'échappement des moteurs diesel. Il y avait une tendance significative à l'augmentation des risques avec la durée de la période d'emploi, avec pour une période de 20 ans, pratiquement un doublement du risque après ajustement sur la consommation de tabac. Lorsque cette étude a été étendue avec une évaluation du niveau d'exposition impliquant les méthodes de mesures disponibles et efficaces et une reconstitution de l'exposition basée sur le carbone élémentaire, des tendances positives ont été observées pour une exposition cumulée, mais pas pour une exposition moyenne. Ces tendances étaient beaucoup plus marquées lorsque la durée de l'emploi⁸ était prise en compte.

Les conclusions de ces études de cohorte sont appuyées par celles d'autres groupes professionnels et d'études cas-témoins incluant diverses professions qui impliquent une exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel. Dans plusieurs études américaines et européennes, qui pour la plupart ont pris en compte les risques liés à la consommation de tabac, une association positive entre l'exposition à l'agent et la réponse (cancer du poumon) a été trouvée. Plus particulièrement, l'analyse groupées provenant de 11 études cas-témoins, réalisées en Europe et au Canada a montré une augmentation des risques de cancer du poumon, ajustée sur la consommation de tabac, liée à l'exposition au gaz d'échappement des moteurs diesel. Cette exposition a été évaluée par une matrice emploi-exposition, et une relation dose-réponse positive tant pour ce qui est de l'index d'exposition cumulée que de la durée d'exposition⁹.

Ces études épidémiologiques appuient l'existence d'un lien de causalité entre l'exposition aux gaz d'échappement de moteur diesel et le cancer du poumon. Une augmentation du risque de cancer de la vessie a également été soulignée dans de nombreuses études cas-témoins, mais pas dans toutes celles dont on dispose. Cependant de tels risques n'ont pas été observés dans les études de cohorte. Le Groupe de Travail a conclu qu'il disposait d'indications suffisantes de la cancérogénicité pour l'Homme des gaz d'échappement des moteurs diesel.

Les gaz d'échappement de moteur diesel ainsi que leurs extraits utilisés dans les études de cancérogénicité en expérimentation animale, proviennent de carburant et de moteurs diesel produits avant 2000. Les études ont été analysées par type d'exposition : les gaz d'échappement diesel dans leur ensemble, la phase gazeuse des gaz d'échappement (sans les particules fines) ; et les extraits de particules provenant des gaz d'échappement. Chez le rat, les gaz d'échappement dans leur ensemble provoquaient une augmentation du nombre de tumeurs du poumon¹⁰. Les particules fines présentes dans les gaz d'échappement des moteurs diesel instillées par voie intratrachéale provoquaient chez le rat des tumeurs pulmonaires bénignes et malignes¹¹. Quant aux extraits de particules fines, elles provoquaient des carcinomes pulmonaires chez le rat et des sarcomes pulmonaires au niveau du point d'injection chez la souris^{12,13}. La phase gazeuse des gaz d'échappement de moteurs diesel n'augmentait pas l'incidence des tumeurs respiratoires chez toutes les espèces testées. Le Groupe de Travail a conclu à l'existence d'indications suffisantes dans les expérimentations animales de la cancérogénicité des gaz d'échappement des moteurs diesel dans leur ensemble, des particules de gaz d'échappement de diesel et de leurs extraits.

Les gaz d'échappement, les particules fines, les condensats des échappements de moteur diesel, et les extraits de solvants organiques provenant des particules d'échappement de moteur diesel causaient, in vivo et in vitro, diverses formes de dommages à l'ADN incluant des adduits volumineux, des dommages oxydatifs, une rupture des brins, une synthèse non programmée, des mutations, des échanges de chromatides sœurs, changement morphologique des cellules des mammifères et des mutations chez la bactérie¹⁴. Augmentation de l'expression des gènes impliqués dans le métabolisme xénobiotique, stress oxydatif, inflammation, réponse antioxydante, apoptose et cycle cellulaire dans les cellules des mammifères ont été observés.

Une génotoxicité positive des biomarqueurs d'exposition et d'effet a également été observée chez les personnes exposées au gaz d'échappement de moteur diesel. Le Groupe de Travail a conclu à l'existence d'« indications fortes » du potentiel cancérogène chez l'Homme des gaz d'échappement des moteurs diesel, du fait de la génotoxicité.

Les gaz d'échappement de moteurs essence et les risques de cancer n'ont fait l'objet que de quelques études épidémiologiques, et à cause de la difficulté à différencier les effets des émanations de l'essence de ceux du diesel, le niveau d'indications du potentiel cancérigène a été jugé « insuffisant ».

Le Groupe de Travail a considéré les études animales de cancérigénicité des gaz d'échappement de moteurs essence par type d'exposition : gaz d'échappement dans son ensemble, et condensat d'extraits du condensat de gaz échappement de moteur essence. Les extraits organiques du condensat de gaz d'échappement de moteurs essence entraînent une augmentation significative des carcinomes pulmonaires et des papillomes cutanés chez la souris¹⁵. Chez les rats, le condensat de gaz d'échappement d'essence entraînaient une augmentation significative des carcinomes pulmonaires¹⁶. Le Groupe de Travail a conclu à l'existence d'indications suffisantes dans les études expérimentales chez l'animal de la cancérigénicité des condensats de gaz d'échappement des moteurs essence.

Les gaz d'échappement de moteurs essence provoquent des dommages chromosomiques chez la souris et une modification de l'expression des gènes au niveau des poumons chez le rat, impliquant un processus apparenté au métabolisme xénobiotique et à l'inflammation. Dans les cellules des mammifères, les particules fines des gaz d'échappement de moteurs essence ainsi que les extraits organiques induisent des adduits à l'ADN, des ruptures de brins d'ADN, des dommages oxydatifs de l'ADN, des aberrations chromosomiques, des modifications morphologiques des cellules, ainsi que des mutations chez les bactéries. Dans les cellules mammifères, les extraits des gaz d'échappement des moteurs essence altèrent l'expression des gènes impliqués dans l'inflammation, le métabolisme des xénobiotiques, la progression tumorale et le cycle cellulaire. La phase gazeuse de ces gaz d'échappement était mutagène chez les bactéries. Le Groupe de Travail a conclu à l'existence d'une « indication forte » de mécanisme génotoxique pour la cancérigénicité des solvants organiques extraits des particules issues des gaz d'échappement de moteurs essence.

En conclusion, le Groupe de Travail a classé les gaz d'échappement des moteurs diesel comme cancérigènes avérés pour l'Homme (Groupe 1), et a classé les gaz d'échappement de moteurs essence comme cancérigènes possibles pour l'Homme (Groupe 2B).

Des évaluations de 10 nitroarènes, tous détectés dans les gaz d'échappement des moteurs diesel, sont présentées dans le tableau. Les études de bio-surveillance montrent que les travailleurs et la population en général sont exposés à ces substances^{17,18,19}. Tous ces nitroarènes sont génotoxiques à différents degrés dans différents tests. Le Groupe de travail a réaffirmé le classement en cancérigène possible pour l'homme (Groupe 2B) de 7 de ces nitroarènes. Des indications fortes sur la génotoxicité ont conduit à une classification du 3-nitrobenzanthrone en groupe 2B, et des résultats similaires sur des cellules humaines ont conduit à une mise à jour du classement du 1-nitropyrene et du 6-nitrochrysène et leur classification en groupe 2A.

Tableau: Evaluation de certains nitroarènes

	I n d i c a t i o n d e c a n c é r o g é n i c i t é c h e z l e s a n i m a u x d e l a b o r a t o i r e	D o n n é e s m é c a n i s t i q u e s	E v a l u a t i o n g l o b a l e
3,7-Dinitrofluoranthène	Suffisante	Faible	2B
3,9-Dinitrofluoranthène	Suffisante	Faible	2B
1,3-Dinitropyrene	Suffisante	Faible	2B
1,6-Dinitropyrene	Suffisante	Modérée	2B
1,8-Dinitropyrene	Suffisante	Modérée	2B
3-Nitrobenzanthrone	Limitée	Forte	2B*
6-Nitrochrysène	Suffisante	Forte	2A*
2-Nitrofluorène	Suffisante	Faible	2B
1-Nitropyrene	Suffisante	Forte	2A*
4-Nitropyrene	Suffisante	Modérée	2B

*: des données mécanistiques fortes ont contribué à l'évaluation globale

Auteurs : Lamia Benbrahim-Tallaa, Robert A Baan, Yann Grosse, Béatrice Lauby-Secretan, Fatiha El Ghissassi, Véronique Bouvard, Neela Guha, Dana Loomis, Kurt Straif, au nom du Groupe de Travail des Monographies du Centre International de Recherche sur le Cancer, CIRC, Lyon, France. Nous déclarons ne pas avoir de

conflits d'intérêts. Pour les références, voir annexe disponible en ligne.

Références :

1. IARC. Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum (in press).
2. Majewski WA, Khair MK. Diesel emissions and their control. Warrendale, PA: SAE International, 2006.
3. Attfield MD, Schleiff PL, Lubin JH, et al. The diesel exhaust in miners study: a cohort mortality study with emphasis on lung cancer. *J Natl Cancer Inst* 2012; 104: 869–83.
4. Silverman DT, Samanic CM, Lubin JH, et al. The diesel exhaust in miners study: a nested case-control study of lung cancer and diesel exhaust. *J Natl Cancer Inst* 2012; 104: 855–68.
5. Garshick E, Laden F, Hart JE, et al. Lung cancer in railroad workers exposed to diesel exhaust. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 1539–43.
6. Laden F, Hart JE, Eschenroeder A, Smith TJ, Garshick E. Historical estimation of diesel exhaust exposure in a cohort study of US railroad workers and lung cancer. *Cancer Causes Control* 2006; 17: 911–19.
7. Garshick E, Laden F, Hart JE, et al. Lung cancer and vehicle exhaust in trucking industry workers. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 1327–32.
8. Garshick E, Laden F, Hart JE, et al. Lung cancer and elemental carbon exposure in trucking industry workers. *Environ Health Perspect* 2012; published online June 1. DOI:10.1289/ehp.1204989.
9. Olsson AC, Gustavsson P, Kromhout H, et al. Exposure to diesel motor exhaust and lung cancer risk in a pooled analysis from case-control studies in Europe and Canada. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183: 941–48.
10. Heinrich U, Fuhst R, Rittinghausen S, et al. Chronic inhalation exposure of wistar rats and two different strains of mice to diesel engine exhaust, carbon black, and titanium dioxide. *Inhal Toxicol* 1995; 7: 533–56.
11. Pott F, Roller M. Carcinogenicity study with nineteen granular dusts in rats. *Eur J Oncol* 2005; 10: 249–81.
12. Kunitake E, Shimamura K, Katayama H, et al. Studies concerning carcinogenesis of diesel particulate extracts following intratracheal instillation, subcutaneous injection, or skin application. *Dev Toxicol Environ Sci* 1986; 13: 235–52.
13. Grimmer G, Brune H, Utsch-Wenzel R, et al. Contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-derivatives to the carcinogenic impact of diesel engine exhaust condensate evaluated by implantation into the lungs of rats. *Cancer Lett* 1987; 37: 173–80.
14. IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum 1989; 46: 1–458.
15. Brune H, Habs M, Schmahl D. The tumor-producing effect of automobile exhaust condensate and fractions thereof. Part II: animal studies. *J Environ Pathol Toxicol* 1978; 1: 737–45.
16. Grimmer G, Brune H, Utsch-Wenzel R, Dettbarn G, Misfeld J. Contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons to the carcinogenic impact of gasoline engine exhaust condensate evaluated by implantation into the lungs of rats. *J Natl Cancer Inst* 1984; 72: 733–39.
17. Scheepers PTJ, Velders DD, Martens MHJ, Noordhoek J, Bos RP. Gas chromatographic-mass spectrometric determination of nitro polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particulate matter from workplace atmosphere. *J Chromatogr A* 1994; 677: 107–21.
18. Seidel A, Dahmann D, Krekeler H, Jacob J. Biomonitoring of polycyclic aromatic compounds in the urine of mining workers occupationally exposed to diesel exhaust. *Int J Hyg Environ Health* 2002 February;204(5-6):333-8.
19. Zwirner-Baier I, Neumann HG. Polycyclic nitroarenes (nitro-PAHs) as biomarkers of exposure to diesel exhaust. *Mutat Res* 1999 April 26;441(1):135-44.

Article disponible en anglais

Benbrahim-Tallaa L, Baan RA, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, et al. Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. *The Lancet Oncology*. 2012 Jul;13(7):663–4: [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(12\)70280-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(12)70280-2)

Pour plus d'informations sur les **Monographies du CIRC**, voir : [http:// monographs.iarc.fr](http://monographs.iarc.fr)

Membres du Groupe de Travail de la Monographie

CJ Portier (USA)—Chair; D Karman, P White (Canada); U Heinrich (seulement présent pendant une partie des évaluations), H Zeeb (Germany); T Shimada, H Tsuda (seulement présent pendant une partie des évaluations; Japan);

PTJ Scheepers, R Vermeulen (Netherlands); P Gustavsson (Sweden); VM Arlt (UK); DM DeMarini, K El-Bayoumy, E Garshick, CW Jameson, R Lunn, JD McDonald, S Nesnow, TM Penning, T Smith, K Steenland (USA)

Spécialistes invités

A Cohen, DB Kittelson (USA); M van Tongeren (UK; participation en ligne uniquement)

Représentants

M Möhner, Institut Fédéral pour la sécurité et la santé au travail (Allemagne); M Redaelli, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES; France); C Siegel Scott, Agence de protection de l'environnement (USA)

Observateurs

N Falette (Centre Léon Bérard, France); JF Gamble, T Hesterberg, RO McClellan, JC Wall (IARC Review Stakeholder Group, USA; le IARC Review Stakeholder Group représente l'Alliance of Automobile Manufacturers, European Automobile Manufacturers Association, Association for Emissions Control by Catalyst, American Petroleum Institute, Conservation of Clean Air Water and Environment, the Oil Companies European Association for Environment, Health, and Safety in Refining and Distribution, Truck and Engine Manufacturers of America, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, Manufacturers of Emission Controls Association, and International Organization of Motor Vehicle Manufacturers); DS Greenbaum (Health Effects Institute, USA); TL Lash (Association of American Railroads, USA); M Mattenklott (8–12 Juin), D Pallapies (5–7 Juin; German Social Accident Insurance, Germany); P Morfeld (European Research Group on Environment and Health in the Transport Sector, Germany).

Secrétariat du CIRC

RA Baan, L Benbrahim-Tallaa, V Bouvard, R Carel, F El Ghissassi, Y Grosse, N Guha, P Lajoie, B Lauby-Secretan, D Loomis, S Moore, K Müller, A Olsson, K Straif, J Vlaanderen

Conflits d'intérêts

DBK a reçu des fonds de recherche de Caterpillar et de British Petroleum. MvT a reçu des fonds de recherche de Statoil, CONCAWE, and CEFIC. JG a reçu des fonds de recherche de CONCAWE.

DG est le Président de Health Effects Institute (le financement de cet Institut provient à partie égale de l'Agence américaine de protection de l'environnement et des fabricants de véhicules à moteur en vente aux Etats-Unis). TH est un employé de Navistar (fabricant de camions diesel et de moteurs). TLL a été consultant pour l'industrie du diesel par le biais de Cambridge Environmental. RM a été consultant pour the Engine Manufacturers Association, Navistar International, Cummins Engine Company, Shell Exploration and Production Company, Union Pacific, et the American Petroleum Institute. PM est membre du groupe consultatif scientifique de l'European Research Group sur l'Environnement et la Santé dans le Secteur des Transports. DP détient des actions dans Daimler-Benz AG et a été employé jusqu'en 2008 par BASF. JCW est Vice-Président et Directeur Technique de Cummins, et détient des actions et des brevets. SM détient des actions dans BHP Billiton Limited. Tous les autres membres du Groupe de Travail, les spécialistes, les représentants, et le secrétariat déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts.

Traduit de l'anglais par le Département Cancer Environnement

Relecture : Lamia Tallaa (section des monographies du CIRC)

 21 déc. 2016



Copyright 2016 - Centre Léon-Bérard