

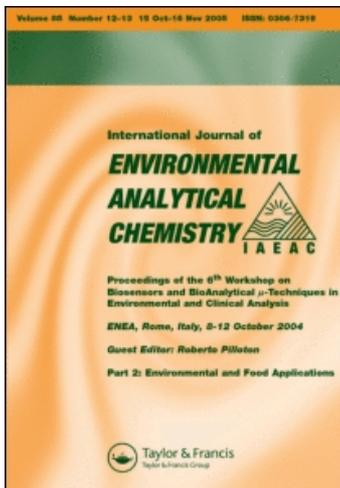
This article was downloaded by:

On: 18 January 2011

Access details: *Access Details: Free Access*

Publisher *Taylor & Francis*

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



International Journal of Environmental Analytical Chemistry

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713640455>

Etude Exploratoire De La Teneur En Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Des Huiles Lubrifiantes En Fonction Des Conditions D'utilisation

L. Ouazzani^a; M. Caude^a; R. Rosset^a

^a Laboratoire de Chimie analytique, Ecole Supérieure de Physique et de Chimie de Paris, Paris, France

To cite this Article Ouazzani, L. , Caude, M. and Rosset, R.(1992) 'Etude Exploratoire De La Teneur En Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Des Huiles Lubrifiantes En Fonction Des Conditions D'utilisation', *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 47: 2, 137 – 146

To link to this Article: DOI: 10.1080/03067319208027024

URL: <http://dx.doi.org/10.1080/03067319208027024>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.informaworld.com/terms-and-conditions-of-access.pdf>

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

ETUDE EXPLORATOIRE DE LA TENEUR EN HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES DES HUILES LUBRIFIANTES EN FONCTION DES CONDITIONS D'UTILISATION

L. OUZZANI, M. CAUDE, and R. ROSSET*

*Laboratoire de Chimie analytique,
Ecole Supérieure de Physique et de Chimie de Paris,
10, rue Vauquelin, 75005 Paris, France.*

(Received, 7 March 1991; in final form 30 May 1991)

Used motor oils are products of environmental concern as they contain polycyclic aromatic hydrocarbons and high levels of heavy metals. A method using charge transfer chromatography for the preconcentration of PAH in used oil and their subsequent separation on a special C18 bonded silica gel is described in this paper. The method is applied to the measurement of PAH in semi-synthetic and mineral lubricating oils used in gasoline and diesel motors.

It is shown that the higher generation of PAH is related with a gasoline motor lubricated with a semi-synthetic oil. The best case is a Diesel motor lubricated with a semi-synthetic oil. Gasoline motors and mineral oils generate high levels ($300 \mu\text{g g}^{-1}$) of PAH which, however, remain constant against time. Diesel motors on road, lubricated with mineral oils, generate moderate levels ($15\text{--}20 \mu\text{g g}^{-1}$) of PAH.

KEY WORDS: PAHs, HPLC, lubricating oils, preconcentration.

Les huiles lubrifiantes utilisées dans les moteurs (ou huiles-moteurs) constituent des polluants dangereux en raison de leur teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), connus pour leur caractère mutagène et cancérigène, et en métaux lourds tels que Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, et Cd qui sont particulièrement toxiques pour les organismes vivants¹.

Dans une mise au point récente Valquez-Duhalt² a rassemblé de nombreuses données sur les risques que les huiles-moteurs font courir à l'environnement. Nous résumons ses conclusions quant aux HAP. Le danger que présentent les huiles-moteurs est aggravé par les tonnages importants de ces produits. La production mondiale est estimée à 40 millions de tonnes dont 50% sont consommés par l'industrie et 50% par les véhicules automobiles. Sur ces 40 millions de tonnes, 27 millions constituent les huiles-usées tandis que 13 millions sont perdus pendant le fonctionnement des moteurs. La teneur des HAP dans une huile neuve est très faible mais augmente avec la durée de fonctionnement du moteur. Sans que le kilométrage exact des moteurs ait été précisé on considère que, par rapport à une huile neuve, la teneur totale en HAP est multipliée, pour une huile dite "usée", par 3 pour un camion Diesel, par 6 pour un autobus Diesel, par 30 pour une voiture Diesel et par 180 pour une voiture à essence. Pour le plus dangereux des HAP,

le benzo (a) pyrène on a trouvé que sa teneur pouvait être multipliée par 1000 dans une huile usée par rapport à une huile neuve³.

L'interprétation admise est que ce sont les HAP de l'essence qui s'accumulent dans l'huile pendant le fonctionnement du moteur. Jusqu'à 93% des HAP de l'essence peuvent ainsi se retrouver dans l'huile-moteur et il y aurait une corrélation directe entre la teneur en HAP de l'essence et celle de l'huile usée⁴⁻⁷. On considère également que les HAP sont des produits inhérents au processus de combustion des hydrocarbures⁸ qui constituent les carburants (essence ou Diesel).

Les effets mutagènes et cancérogènes des huiles lubrifiantes ont été largement démontrés (Cf. références dans²) et, en raison de l'accroissement de leur teneur en HAP et, en particulier, en benzo [a] pyrène, les huiles usées sont beaucoup plus mutagènes que les huiles-moteurs neuves. Il y a en effet une corrélation nette entre l'effet cancérogène d'une huile lubrifiante et sa teneur en HAP⁹.

Toutefois, bien des facteurs ont été laissés dans l'ombre par les études précédentes. Les huiles de base contenant des hydrocarbures aromatiques (monoaromatiques: 11 à 15% en poids, diaromatiques: 2 à 5%, polyaromatiques et composés polaires: 4-8% selon¹⁰ tandis que la composition typique d'une huile de base est: monoaromatique: 26,5%, diaromatique: 5,3%, polyaromatiques: 2,2% soit, en tout, 34% d'aromatiques, dérivés soufrés thiophéniques compris) on peut se demander si les HAP ne peuvent pas également se former par la condensation de ces hydrocarbures aromatiques lors de l'utilisation de l'huile, qui est portée à plus ou moins haute température selon les conditions de fonctionnement du moteur. La nature des huiles-moteurs (minérales, semi-synthétiques) a-t-elle une influence sur les HAP produits? Quel est le rôle du type de moteur?

Nous avons étudié ces différents aspects et en présentons les conclusions dans ce qui suit. Précisons qu'il s'agit de résultats préliminaires permettant seulement de dégager les tendances en ce qui concerne l'influence de la composition des carburants, celle des huiles de base et celle du moteur mis en oeuvre. Nous traiterons d'abord de la méthode d'analyse des HAP mise en oeuvre.

DETERMINATION DES HAP

Bien que le nombre de travaux traitant de la détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement soit important, la procédure est, globalement, toujours la même c'est-à-dire une analyse en différé avec extraction, concentration puis séparation des HAP¹¹. Les procédés en ligne sont beaucoup moins fréquents¹².

La principale méthode d'extraction demeure celle par solvants^{11,13-21} aussi bien pour les milieux apolaires que polaires. A cette extraction succède une étape de concentration généralement par chromatographie d'adsorption^{13,15,18-21} bien que d'autres méthodes sont employées^{14,21-23}. En ce qui concerne la séparation, la chromatographie en phase gazeuse est très utilisée^{17,19,21,23} ainsi que la chromatographie en phase liquide avec, dans ce dernier cas, un large éventail de méthodes (chromatographies d'adsorption, de partage²⁴⁻³² de transfert de charges³³).

Nous avons choisi d'extraire les HAP des huiles par chromatographie de transfert de charges puis de les analyser par chromatographie de partage à polarité de phases inversée.

En effet dans des études antérieures³⁴⁻³⁷ nous avons montré que l'extraction quantitative des HAP pouvait être réalisée par chromatographie par transfert de charges: les HAP qui sont donneur d'électrons sont fixés sur une phase stationnaire accepteur à greffons tétrachlorophthalimidopropyle (TCPP) dont nous avons décrit la synthèse (9) et qui a été, par ailleurs, commercialisée*. Le mode opératoire est décrit ci-après: les huiles usées sont diluées de moitié dans l'isooctane afin de diminuer la viscosité du mélange et de permettre ainsi une vitesse d'écoulement suffisante. En raison de leur teneur en matière solide (sludge) la centrifugation d'un volume de 140 ml du mélange huile-isooctane 50:50 (v/v) pendant 45 minutes à 6000 rpm est effectuée avant la percolation de l'huile sur la colonne chromatographique afin d'éviter son colmatage. La teneur en HAP dans le culot de centrifugation est d'environ 10% de celle de l'huile, résultat qui est en accord avec ceux de Graf³⁸. Les teneurs en HAP données dans ce qui suit correspondent à la somme des HAP dans l'huile et dans le résidu solide obtenu après centrifugation.

La préconcentration des HAP est réalisée sur une colonne de 15 cm × 4,6 mm D.I. remplie de silice greffée TCPP de 10 µm de diamètre (colonne remplie par voie humide sous une pression de 450 bars). On lave ensuite cette colonne avec 5 fois 10 ml de mélanges isooctane-hexadécane successivement 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, et 20:80 (v/v).

L'intérêt de cet alcane lourd réside dans sa viscosité. Comme l'huile est très visqueuse, l'isooctane seul ne pénètre que difficilement dans les pores. Leur rinçage est facilité par la présence de l'hexadécane lui aussi très visqueux. Cette opération de rinçage des pores se termine avec de l'isooctane pur.

Les HAP sont récupérés par un lavage de la colonne avec du dichlorométhane et inversion du sens de migration de la phase mobile (backflush). Puis, le dichlorométhane est évaporé. Les thiophènes, présents dans les huiles-moteurs, qui ont également un caractère donneur d'électrons sont fixés par la colonne TCPP et perturberaient l'analyse. Ils sont oxydés en sulfones par le peroxyde d'hydrogène à 110 volumes en milieu toluène-acide acétique (toluène: 50 ml, acide acétique: 50 ml, eau oxygénée à 110 volume: 20 ml) à reflux pendant 16 heures. Les sulfones sont ensuite séparées des HAP par chromatographie d'adsorption sur silice Kieselgel 100, 70-230 mesh (Merck).

Les HAP ainsi concentrés et séparés des thiophènes sont chromatographiés sur une colonne spéciale pour la détermination des HAP (silice greffée C18 Chromspher PAH, Chrompack) qui assure la reproductibilité de ce type de séparation et une bonne résolution. La détection des HAP est effectuée par spectrofluorimétrie à programmation de longueur d'onde (Perkin-Elmer LS4). Un chromatogramme-type est représenté Figure 1. Sa légende précise les conditions de la séparation des huit HAP considérés.

* Société Française Chromato-Colonne-Shandon, Z.A. des Bellevues, Avenue de Gros Chêne, 95610 ERAGNY, FRANCE.

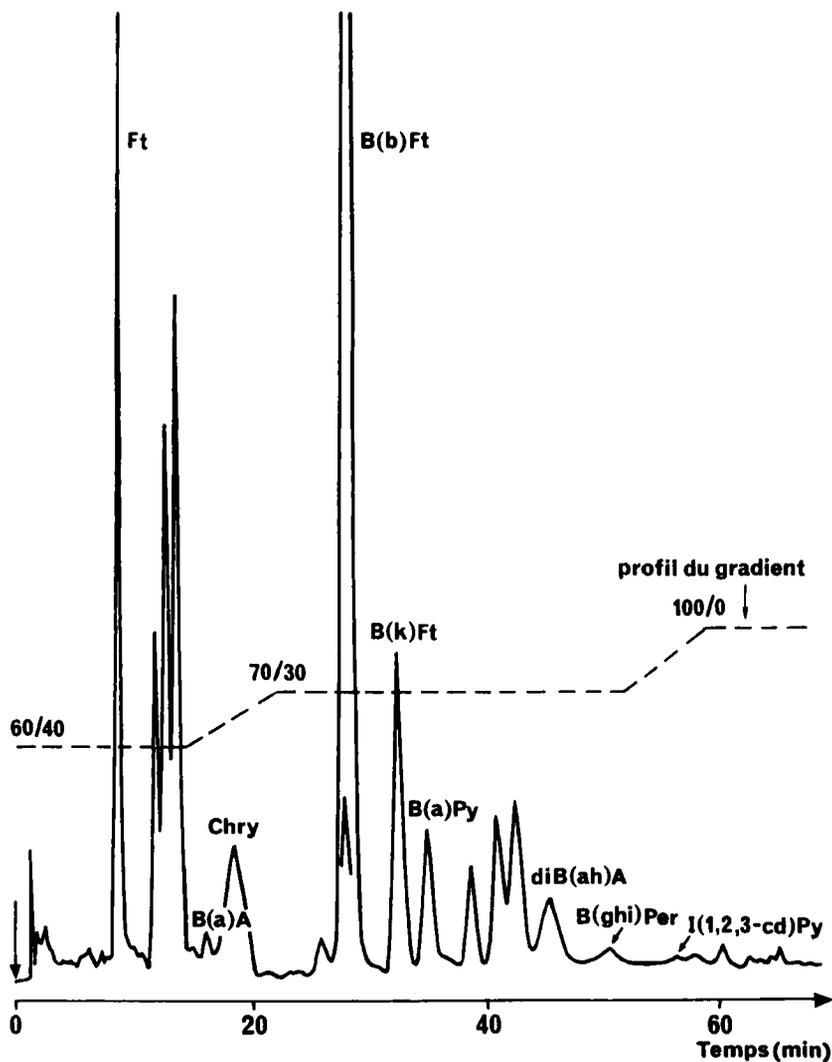


Figure 1 Séparation par chromatographie de partage à polarité de phases inversée des HAP contenus dans une huile usée semi-synthétique. Colonne: longueur: 100 mm; diamètre intérieur: 3 mm. Phase stationnaire: Chromspher PAH. Phase mobile: gradient eau-acétonitrile selon le profil indiqué. Débit: 0.4 ml min^{-1} . Détection spectrofluorimétrique avec programmation des longueurs d'onde d'excitation et d'émission:

t (min)	λ_{ex} (nm)	λ_{em} (nm)
0	278	440
20	309	411
27	302	437
43	273	412
53	277	504

Soluté: Ft: fluoranthène; B[a]A: benzo[a]anthracène; Chry: chrysène; B[b]Ft: Benzo[b]fluoranthène; B[k]Ft: benzo[k]fluoranthène; B[a]Py: benzo[a]pyrène; diB[a,k]A: dibenzo[a,k]anthracène; B[ghi]-Per: benzo[ghi]perylène; I[1,2,3-cd]Py: indeno[1,2,3-cd] pyrène.

RESULTATS

Le Tableau 1 rassemble les différentes huiles étudiées ainsi que les conditions de fonctionnement des moteurs.

Huiles semi-synthétiques

Il s'agit de mélanges d'esters d'acides gras, de polyalphaoléfinés, d'huile minérale et d'additifs. Ces huiles ont été utilisées lors d'essais routiers avec deux véhicules à moteur à essence (Audi 100 et 200) et avec une camionnette à moteur Diesel.

La Figure 2 représente l'augmentation de la teneur totale en HAP en fonction du kilométrage parcouru pour les véhicules à moteur à essence.

Pour un même kilométrage parcouru les teneurs globales en HAP des deux huiles semi-synthétiques sont sensiblement identiques. Elles atteignent $100 \mu\text{g g}^{-1}$ après 18000 km.

Dans le cas des huiles semi-synthétiques n° 3 et 4 utilisées avec un moteur Diesel les teneurs en HAP sont extrêmement faibles: après 2600 km parcourus, la teneur totale en HAP dans l'huile n° 3 est inférieure à $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ et voisine de $1,5 \mu\text{g g}^{-1}$ pour l'huile n° 4.

Huiles minérales

Ces huiles ont été utilisées soit au banc d'essai avec des moteurs à essence et Diesel soit sur route uniquement avec des moteurs Diesel classiques ou Diesel Turbo.

Avec un moteur à essence (Renault 21) et au banc d'essai la Figure 3 montre que la teneur totale en HAP augmente régulièrement puis se stabilise à une valeur de l'ordre de $36 \mu\text{g g}^{-1}$ qui demeure constante jusqu'à 128 heures de fonctionnement. Ce comportement est très différent de celui observé avec les huiles semi-synthétiques dont la teneur en HAP augmentait en permanence avec la durée et atteignait des valeurs plus importantes ($100 \mu\text{g g}^{-1}$ après 18000 km soit, en supposant une vitesse moyenne de 90 km h^{-1} , une durée de 200 heures).

Avec un moteur de type Diesel et au banc d'essai le comportement est fondamentalement différent. On ne détecte aucun autre HAP que le fluoranthène et les benzo[b] et benzo[k]fluoranthène et leur teneur totale, après 50 heures de fonctionnement, est comprise entre 0,5 et $1 \mu\text{g g}^{-1}$ (Figure 3).

Dans le cas d'essais sur route (huiles n° 5, 6, 7) avec des moteurs Diesel la teneur en HAP reste limitée à $15\text{--}20 \mu\text{g g}^{-1}$ au bout de 8000 km ce qui est supérieur aux essais réalisés au banc mais reste inférieur au cas du moteur à essence.

Avec l'huile minérale n° 4, nous avons effectué des essais avec des moteurs variés (ZpJ, TU 1, TU 3, TU 2/4) au banc d'essai et alimentation en supercarburant sans plomb. On constate une augmentation rapide de la teneur en HAP qui atteint $300 \mu\text{g g}^{-1}$ au bout de 100 heures puis reste stable en fonction du temps (Figure 4) au moins jusqu'à 500 heures.

Tableau 1 Huiles étudiées et conditions de fonctionnement

Type d'huile	Grade SAE	Spécification API	Type de véhicule	Fonctionnement au banc moteur	Température de fonctionnement de l'huile (°C)
Semi-synthétique n° 1	10W30	SF/CC	Essence (Audi 200)	—	—
Semi-synthétique n° 2	20W50	SF/CC	Essence (Audi 100)	—	—
Semi-synthétique n° 3	30	CD	Diesel (camionnette)	—	—
Semi-synthétique n° 4	30	CD	Diesel (camionnette)	—	—
Minérale n° 1	15W40	SG/CC	—	Essence (Renault 21)	97
Minérale n° 2	15W40	CD/SF	—	Diesel	130
Minérale n° 3	15W40	CD/SF	—	Diesel	130
Minérale n° 4	15W40	SF/CC	—	Essence	—
Minérale n° 5	15W40	CD	Diesel XUD 1905	—	—
Minérale n° 6	20W50	CD/SF	Iveco type Turbo	—	—
			Zeta Diesel	—	—
Minérale n° 7	20W50	CD/SF	Renault Diesel type S 170	—	—



Figure 2 Variation de la concentration totale des HAP dans les huiles semi-synthétiques n° 1 (■) et 2 (●) en fonction du kilométrage parcouru (moteur à essence).

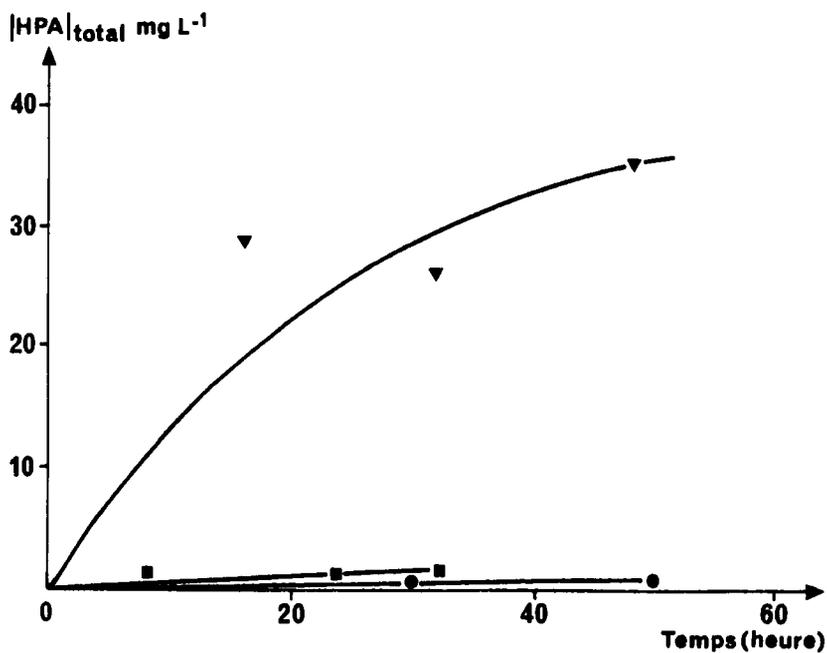


Figure 3 Variation de la concentration totale des HAP dans les huiles minérales n° 1 (▼) (moteur à essence) n° 2 (●) et 3 (■) (moteurs Diesel) en fonction du temps.

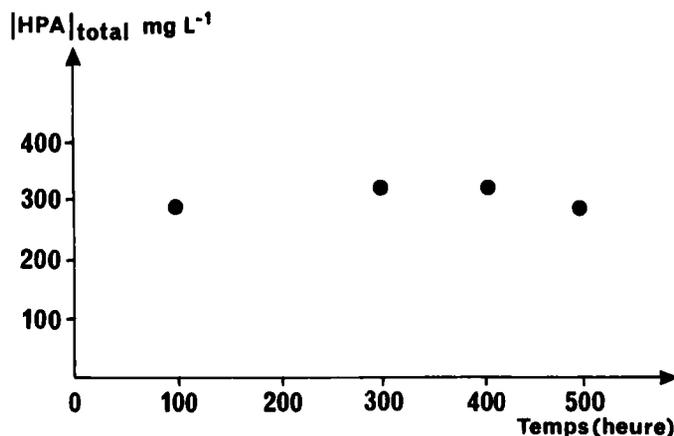


Figure 4 Variation de la concentration totale des HAP dans l'huile minérale n° 4 sur un moteur TU2/4 au banc d'essai, en fonction du temps d'utilisation (carburant: super sans plomb).

Influence de l'oxydation des huiles

Nous avons recherché si le vieillissement artificiel d'une huile lubrifiante générait des HAP. L'huile minérale n° 6 (SF/CD 20W50) a été chauffée à 175°C pendant 16 heures avec barbotage d'air (15 lh⁻¹) et en présence d'un catalyseur polymétallique (Cu, Fe, Pb, Al). On n'a constaté aucune augmentation de la teneur en HAP après ce traitement: celle-ci reste inférieure à la limite de détection de la méthode (1 µg g⁻¹) ce qui est la teneur des huiles neuves considérées.

CONCLUSION

Le vieillissement artificiel d'une huile minérale ne produit pas d'HAP (teneur inférieure à 1 µg g⁻¹) et la génération de ceux-ci est liée au fonctionnement des moteurs.

Les moteurs à essence génèrent beaucoup plus d'HAP que les moteurs Diesel. Le cas le plus défavorable est celui d'un moteur à essence lubrifié par une huile semi-synthétique: sa teneur en HAP augmente de manière monotone. Avec les moteurs à essence et les huiles minérales la teneur en HAP augmente rapidement au cours des 100 premières heures de fonctionnement pour atteindre une valeur de l'ordre de 300 µg g⁻¹ qui reste stable en fonction du temps au moins jusqu'à 500 heures.

Avec les moteurs Diesel et les huiles semi-synthétiques on n'observe pas la génération d'HAP dont la teneur reste de l'ordre de 1 µg g⁻¹ c'est-à-dire voisine de celle de l'huile neuve. Il en est de même avec les huiles minérales au banc d'essai. Sur route, la teneur en HAP est plus importante mais reste limitée à des valeurs de l'ordre de 15-20 µg g⁻¹.

Remerciements

La Chambre Syndicale Nationale de l'Industrie des Lubrifiants (CSNIL) a permis la réalisation de cette étude. Nos remerciements vont plus particulièrement à MM. M. L. BENZERRAK et J. DELACOUR avec lesquels nous avons eu de fructueuses discussions ainsi qu'aux membres du Comité Technique.

References

1. A. Bjorseth and T. Ramdahl, Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocabons, (Marcel Dekker Inc. New York, 1985) Vol. 2.
2. R. Vasquez-Duhalt, *Science Total Environ*, **79**, 1–23 (1989).
3. G. Grimmer, G. Dettbarn, H. Brune, R. Deutsch-Wenzel and J. Misfeld, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **50**, 95–100 (1982).
4. G. Grimmer, J. Jacob and K. W. Naujack, *Fresenius Z. Anal. Chem.*, **306**, 347–355 (1981).
5. G. Grimmer, J. Jacob, K. W. Naujack and G. Dettbarn, *Fresenius Z. Anal. Chem.*, **309**, 13–19 (1981).
6. G. Grimmer, K. W. Naujack, G. Dettbarn, H. Brune, R. Deutsch-Wenzel and J. Misfeld, *Erdöl Kohle Erdgas Petrochem.*, **35**, 466–472 (1982).
7. U. Bhen, J. P. Meyer and G. Grimmer, *Erdöl Kohle Erdgas Petrochem.*, **33**, 135 (1980).
8. J. A. Yergey, T. H. Risby and S. S. Lestz, *Anal. Chem.*, **54**, 354–357 (1982).
9. D. Gradiski, J. Vinot, D. Zussu, J. C. Limasset and M. Lafontaine, *Environ. Res.*, **32**, 258 (1983).
10. F. O. Cotton, M. L. Whisman, J. W. Goetzinger and J. W. Reynolds, *Hydrocarbon Process*, **9**, 131 (1977).
11. H. A. Claessens and L. G. D. Lammerts Van Bueren, *J. High Resolut. Chromatogr. Chromatogr. Commun.*, **10**, 342–347 (1987).
12. B. W. Wright, S. R. Frye, D. G. McMinn and R. D. Smith, *Anal. Chem.*, **59**, 640–644 (1987).
13. P. Ciccioli, E. Brancaloni, A. Cecinato, C. Dipalo, P. Buttini and A. Liberti, *J. Chromatogr.*, **351**, 451–464 (1986).
14. T. Spitzer and S. Kuwatsuka, *J. Chromatogr.*, **358**, 434–437 (1986).
15. K. P. Naikwadi, G. M. Charbonneau, F. W. Karasek and R. E. Clement, *J. Chromatogr.*, **398**, 227–237 (1987).
16. H. Hagenmaier, H. Haut and P. Krauss, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **23**, 331–345 (1986).
17. H. Tausch and G. Stehlik, *J. High Resolut. Chromatogr. Chromatogr. Commun.*, **8**, 524–527 (1985).
18. K. E. Thrane, A. Mikalsen and H. Stray, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **23**, 111–134 (1985).
19. J. M. Ronchetti, G. Cartoni and L. Zoccolillo, *J. Chromatogr.*, **348**, 159–165 (1985).
20. G. Cartoni, F. Coccioli, M. Ronchetti, I. Simonetti and L. Zoccolillo, *J. Chromatogr.*, **370**, 157–163 (1986).
21. C. Y. Ma, E. H. McBay, C. H. Ho and W. H. Griest, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **30**, 37–49 (1987).
22. R. J. Ozretich and W. P. Schroeder, *Anal. Chem.*, **58**, 2041–2048 (1986).
23. G. Mille, M. Mulyono, M. Guliano, J. Kister and H. Dou, *Analisis*, **13**, 10–13 (1985).
24. P. L. Grizzle and D. M. Sablotny, *Anal. Chem.*, **58**, 2389–2396 (1986).
25. S. A. Wise, B. A. Benner, S. N. Chesler, L. R. Hilpert, C. R. Vogt and W. E. May, *Anal. Chem.*, **58**, 3067–3077 (1986).
26. S. C. Ruckmick and R. J. Hurtubise, *J. Chromatogr.*, **331**, 55–68 (1985).
27. S. D. Killops, *J. High Resolut. Chromatogr. Chromatogr. Commun.*, **9**, 302–303 (1986).
28. K. Jinno, T. Nagoshi, N. Tanaka, M. Okamoto, J. C. Fetzer and W. R. Biggs, *J. Chromatogr.*, **386**, 123–135 (1987).
29. C. Gonnet, D. Morel, E. Ramamonjirinina, J. Serpinet, P. Claudy and J. M. Letoffe, *J. Chromatogr.*, **330**, 227–241 (1985).
30. W. R. Melander, J.-X. Huang, Cs. Horwarth, R. W. Stout and J. J. Destephano, *Chromatographia*, **20**, 641–651 (1985).
31. K. Jinno and M. Okamoto, *Chromatographia*, **20**, 242–248 (1985).
32. S. A. Wise and L. C. Sander, *J. High Resolut. Chromatogr. Chromatogr. Commun.*, **8**, 248–255 (1985).
33. P. Cleon, M. C. Foucheres, D. Cagniant, D. Severin and W. Holstein, *Chromatographia*, **20**, 543–555 (1985).
34. Ph. Jadaud, Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1987.
35. Ph. Jadaud, M. Caude and R. Rosset, *J. Chromatogr.*, **393**, 39–49 (1987).

36. Ph. Jadaud, M. Caude and R. Rosset, *J. Chromatogr.*, **439**, 195–211 (1988).
37. Ph. Jadaud, M. Caude and R. Rosset, X. Duteurtre and J. Henoux, *J. Chromatogr.*, **464**, 333–342 (1989).
38. R. T. Graf, W. G. Copan, R. E. Kornbrekke and J. P. Murphy, International Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, Portland, Oregon, October 10-13, 1988. Communication n° 881580 (SAE, The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space, 400, Commonwealth Drive, Warrendale Pa 15096, USA).