

Le benzo[a]pyrène

Recommandation

La concentration maximale acceptable (CMA) de benzo[a]pyrène dans l'eau potable est de 0,00001 mg/L (0,01 µg/L).

Propriétés physico-chimiques, utilisations et sources de contamination

Le benzo[a]pyrène est membre de la classe des hydrocarbures aromatiques polynucléaires (ArH), dont la molécule comprend deux ou plusieurs noyaux aromatiques unis, et où des noyaux adjacents partagent deux ou plusieurs atomes de carbone. Nous étudions ici le dossier du benzo[a]pyrène parce qu'il s'agit du seul hydrocarbure aromatique polynucléaire ayant fourni suffisamment de données toxicologiques pour qu'on puisse élaborer des recommandations. Le benzo[a]pyrène est une substance solide qui fond à 179°C; elle est aisément soluble dans les hydrocarbures aromatiques, mais sa solubilité dans l'eau est faible, soit de 0,2 à 6,1 µg/L.^{1,2}

Le benzo[a]pyrène n'est pas fabriqué, et n'a pas d'utilisation industrielle. C'est une substance omniprésente dans l'environnement parce qu'elle se forme au cours de la combustion des matières organiques. Il n'existe aucun rapport quantitatif entre le benzo[a]pyrène mesuré et toute teneur en un autre hydrocarbure aromatique polynucléaire; cependant si l'on détecte le premier, les autres sont probablement présents. Les principales sources naturelles de benzo[a]pyrène sont les feux de forêts et les volcans en éruption.³ Les sources anthropiques comprennent la combustion des combustibles fossiles, les rejets des fours à coke et les gaz d'échappement des véhicules.^{4,5} D'après un inventaire des rejets de benzo[a]pyrène au Canada, de 19 000 à 22 000 kg en seraient produits chaque année par des sources anthropiques (c.-à-d. les procédés industriels, la combustion des combustibles fossiles et les transports).² La principale source du benzo[a]pyrène présent dans les eaux superficielles semble être l'atmosphère, par contact direct; le taux d'accumulation annuelle de benzo[a]pyrène dans les Grands Lacs, par exemple, est proportionnel à leur

superficie et varie de 9,1 à 9,8 ng/cm².⁶ La désagrégation des revêtements bitumineux ou asphaltiques internes des canalisations de distribution d'eau pourraient également contribuer à la présence de benzo[a]pyrène dans l'eau potable.

Exposition

Les données sur les quantités de benzo[a]pyrène présentes dans l'eau potable sont peu nombreuses. Lors d'une étude récente portant sur sept installations de traitement des eaux de la région de Niagara, on n'a pu détecter la présence de benzo[a]pyrène par les techniques dont le seuil de détection est de 1 µg/L.⁷ Au Canada, un tour d'horizon de la littérature technique a indiqué que les concentrations de ce produit varient de 0 à 1 000 ng/L dans l'eau du robinet;⁸ aux États-Unis, la concentration moyenne est de 0,55 ng/L.⁹ En l'absence de données pertinentes, il est impossible d'évaluer l'exposition individuelle due à l'eau du robinet par des voies autres que l'ingestion d'eau potable. Compte tenu des propriétés physico-chimiques du benzo[a]pyrène, l'exposition par inhalation de cette substance dégagée par les installations domestiques d'eau potable semble limitée. Il n'existe aucune donnée sur la vitesse d'absorption percutanée du benzo[a]pyrène en solution aqueuse.

Les principales voies de pénétration du benzo[a]pyrène dans les produits alimentaires sont l'absorption et l'accumulation de matières particulaires au cours du traitement (viandes et poissons fumés, légumes-feuilles), la pyrolyse des corps gras et la combustion incomplète du charbon de bois. Voici les teneurs typiques en benzo[a]pyrène de certains aliments (en µg/kg): saucisse grillée, de 0,17 à 0,63; viande grillée sur charbon de bois, de 2,60 à 11,20; épinards, 7,40; huile de coprah brute, 43,7; et thé, de 3,90 à 21,3.¹⁰

Dans l'air ambiant, le benzo[a]pyrène, tout comme les autres ArH, est généralement associé à de fines matières particulaires.⁸ Une étude bibliographique récente a montré que les concentrations atmosphériques estivales de cette substance dans les centres urbains était en moyenne de 3,6 ng/m³ (écart-type: 4,0).¹¹ En hiver,

les concentrations sont plus élevées (moyenne de 7,1 ng/m³; écart-type: 5,1), probablement à cause de l'utilisation de combustibles fossiles en milieu industriel et domestique.

Des quantités importantes de benzo[a]pyrène sont inhalées avec la fumée de cigarette. La quantité de cette substance par cigarette varie de 18 à 50 ng et la quantité d'ArH totaux peut atteindre 248 ng.³

L'eau potable ne fournirait qu'environ 0,1 à 0,3 pour cent de tout le benzo[a]pyrène ingéré; la respiration n'en apporte qu'environ 0,9 pour cent, alors que les aliments en sont la source principale, soit 99 pour cent.¹²

Méthodes d'analyse et techniques de traitement

On effectue le dosage du benzo[a]pyrène et des autres ArH par la chromatographie en phase gazeuse associée à la spectrométrie de masse. Le seuil pratique d'évaluation quantitative des benzo[a]pyrènes (fondé sur la capacité des laboratoires à le doser avec une précision suffisante) est de 0,01 µg/L.¹³

Les processus habituels de traitement des eaux brutes — coagulation à l'alun, décantation et filtration sur sable — permettent de réduire la teneur en benzo[a]pyrène des eaux potables à moins de 0,001 µg/L, même si la teneur des eaux brutes est élevée.¹

Effets sur la santé

Les études réalisées montrent que les propriétés physico-chimiques du benzo[a]pyrène favorisent son absorption et sa diffusion rapide par la grande circulation sanguine. Les principaux organes d'absorption sont l'appareil digestif, suivant l'ingestion d'aliments, et les poumons, suivant l'inhalation d'aérosols de contaminants et de matières particulaires. La diffusion dans les organes et les tissus bien irrigués a lieu en quelques minutes.¹⁴ L'excrétion se fait par l'urine sous forme de métabolites hydrosolubles, bien qu'il se produise un peu de réabsorption par la voie entérohépatique (excrétion biliaire suivie d'une réabsorption par la circulation sanguine). Le benzo[a]pyrène peut traverser le placenta et se retrouver dans le fœtus.¹⁵ À cause de sa nature lipophile, il diffuse et est absorbé dans les tissus adipeux, y compris les loges adipeuses du sein et la moelle osseuse.

Le métabolisme du benzo[a]pyrène se déroule en deux étapes. La première, ou métabolisme de la phase I, comprend l'interaction du benzo[a]pyrène avec des oxydases à fonctions mixtes et la formation de diol-époxydes, y compris le trans-9,10-époxy-7,8-dihydrodiol benzo[a]pyrène. C'est ce diol-époxyde qui serait cancérigène. On remarque que le benzo[a]pyrène, comme les autres ArH, est un puissant inducteur des oxydases à fonctions mixtes et peut donc potentialiser sa

propre toxicité. Le métabolisme de la phase II comporte la conjugaison des intermédiaires métaboliques et du glutathione, des sulfates et de l'acide mercapturique ou glucuronique. Ces conjugués sont beaucoup plus hydrosolubles que les composés dont il dérivent, ce qui permet leur excrétion rapide par le foie. Bien que le foie apparaisse comme l'organe principal de ce métabolisme, il existe des lieux secondaires: les tissus du poumon, l'appareil digestif, le placenta et la peau. On sait que l'endothélium est un site particulièrement actif de ce métabolisme.¹⁶

On n'a pu associer de façon certaine l'exposition au benzo[a]pyrène avec des effets sur la santé humaine. Parce que le pouvoir potentiellement cancérigène de ce composé était le plus inquiétant, on n'a réalisé que peu d'études sur sa toxicité aiguë, subaiguë ou chronique pour les animaux de laboratoire. Il faut administrer des doses au moins 10 fois plus fortes que celles qui provoquent des néoplasmes pour induire d'autres effets. La seule donnée disponible sur la DL₅₀, soit 250 mg/kg p.c., concerne les souris exposées au benzo[a]pyrène par la voie intrapéritonéale.⁸ D'autres effets provoqués chez des animaux par une exposition généralement aiguë à de fortes concentrations de ce produit comprennent l'inflammation de la peau, l'hyperplasie, l'hyperkératose, la pneumonite, les modifications des ganglions lymphatiques, les ulcérations, le ralentissement de la croissance et la diminution de la fécondité, ainsi que des phénomènes d'immunodépression.⁹

Le benzo[a]pyrène est cancérigène pour de nombreuses espèces animales, et par bon nombre de voies. On a induit la formation de tumeurs chez des souris, des rats, des hamsters, des cobayes, des lapins, des canards et des singes par l'administration intragastrique, sous-cutanée, cutanée ou intratrachéale. Les tumeurs primitives ainsi causées apparaissent à l'emplacement d'administration ou ailleurs. Les tissus cibles sont ceux, en croissance rapide, de l'épithélium intestinal, de la moelle osseuse, des organes lymphoïdes et des testicules, et ils interagissent avec les métabolites actifs du benzo[a]pyrène au cours de l'anaphase du cycle mitotique.⁹

Seul, le dosage biologique du pouvoir cancérigène du benzo[a]pyrène administré par voie orale à des animaux de laboratoire a été effectué par Neal et Rigdon.¹⁷ Leur méthode a permis d'évaluer le risque causé par la consommation d'eau potable contenant du benzo[a]pyrène. Ces chercheurs ont ajouté, à la provende des souris de souche CFW, pendant 110 jours, du benzo[a]pyrène à des teneurs de 0,001, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,045, 0,05, 0,10, et 0,25 mg/g d'aliment. Ils ont observé la formation de tumeurs stomacales, essentiellement des papillomes de l'épithélium

malpighien et quelques cancers; leur incidence était notablement plus élevée chez les animaux ainsi nourris que chez les témoins et était fonction des doses.

Le benzo[a]pyrène s'est révélé mutagène lors du dosage d'Ames réalisé avec des enzymes hépatiques activées S-9 et la *Salmonella* TA1538.¹⁸ De plus, les métabolites de diol-époxyde du benzo[a]pyrène sont beaucoup plus mutagènes que les composés dont ils dérivent. Des mutations vers un type mutant de cellules de mammifère sont également provoquées par le benzo[a]pyrène ajouté aux cultures de cellules. On a aussi observé des échanges entre chromatides soeurs chez des hamsters genre *Phodopus* après administration intrapéritonéale de cette substance.¹⁹ Le pouvoir tératogène du benzo[a]pyrène est incertain,⁹ bien qu'on ait observé son pouvoir cancérogène transplacentaire après administration sous-cutanée de fortes doses.²⁰

Classification et évaluation

Les conclusions des études sur le pouvoir cancérogène du benzo[a]pyrène permettent de le classer dans le Groupe II — probablement cancérogènes pour l'homme (données suffisantes pour les animaux de laboratoire; données insuffisantes ou absentes pour l'homme). On a évalué les risques de cancer en se fondant sur l'étude réalisée par Neal et Rigdon sur des souris de souche CFW.¹⁷ Après introduction d'une correction de superficie des tumeurs, et en appliquant le modèle d'extrapolation linéaire dynamique à l'incidence plus forte des tumeurs stomacales (papillomes de l'épithélium malpighien et quelques cancers), on calcule le risque de cancer au cours de la vie découlant de la consommation d'eau potable contenant 1 µg de benzo[a]pyrène par litre: il est de 5×10^{-5} . Les concentrations de benzo[a]pyrène correspondant à des risques de cancer de 10^{-5} , 10^{-6} et 10^{-7} pour ces types de tumeurs au cours de la vie, calculées grâce au modèle décrit ci-dessus,* sont respectivement de 0,2, 0,02 et 0,002 µg/L.

Justification

Comme on a classé le benzo[a]pyrène dans le Groupe II (probablement cancérogène pour l'homme), on calcule la concentration maximale acceptable (CMA) en tenant compte des techniques pratiques de traitement de l'eau et des risques calculés de cancer au cours de la vie. On tient également compte du seuil pratique d'évaluation quantitative qu'on peut atteindre par les méthodes actuelles d'analyse.

On a donc fixé la CMA à 0,01 µg/L, en tenant compte des paramètres suivants:

* Poids corporel moyen d'un adulte = 70 kg; consommation quotidienne moyenne d'eau potable = 1,5 L.

(1) Le risque de cancer au cours de la vie découlant de la consommation d'eau potable contenant 1 µg de benzo[a]pyrène par litre est de 5×10^{-5} , si l'on se fonde sur l'accroissement de l'incidence des tumeurs de l'estomac (papillomes de l'épithélium malpighien et quelques cancers) chez l'animal. En conséquence, le risque de cancer au cours de la vie, causé par l'ingestion d'eau potable renfermant 0,01 µg/L de benzo[a]pyrène (c.-à-d. 5×10^{-7}), se trouve dans une plage qu'on considère comme "fondamentalement négligeable."

(2) Les procédés classiques d'épuration des eaux — coagulation à l'alun, décantation et filtration sur sable — permettent de réduire les concentrations de benzo[a]pyrène à moins de 0,001 µg/L.

(3) Le seuil pratique d'évaluation quantitative du benzo[a]pyrène fondé sur la capacité des laboratoires à le doser avec une précision suffisante, est de 0,01 µg/L.

Références bibliographiques

1. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Review of benzo[a]pyrene. Occurrence, human exposure and health effects. Rédigé par Canviro Consultants Ltd., Kitchener et Toronto (1985).
2. Conseil national de recherches du Canada. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: formation, sources, fate and effects on the aquatic environment. CNRC n° 18981, Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Ottawa (1983).
3. Zedeck, M.S. Polycyclic aromatic hydrocarbons, a review. *J. Environ. Pathol. Toxicol.*, 3: 357 (1980).
4. Lee, M.L., Prado, G.P., Howard, J.P. et Hites, R.A. Source identification of urban airborne polycyclic aromatic hydrocarbons by gas chromatographic mass spectrometry and high resolution mass spectrometry. *Biomed. Mass Spectrom.*, 4: 182 (1977).
5. Stoker, H.S., Seager, S.L. et Capener, R.L. Energy, from source to use. S. Foresman, Glenview, IL (1975).
6. International Joint Commission. Report on the Great Lakes water quality. Appendix: Great Lakes surveillance. Rapport n° 66-81, Windsor (1983).
7. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Drinking water survey of selected municipalities in the Niagara area and Lake Ontario (1984).
8. Centre international de recherche sur le cancer. Polynuclear aromatic compounds. Part I. Chemical, environmental and experimental data. IARC Monograph 32, Lyon (1983).
9. Santodonato, J., Howard, P. et Basu, D. Health and ecological assessment of polynuclear aromatic hydrocarbons. *J. Environ. Pathol. Toxicol.*, 5: 1 (1981).
10. Centre international de recherche sur le cancer. Monograph on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man. Certain polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic compounds. IARC Monograph 3, Lyon (1973).
11. Grimmer, G. Environmental carcinogens: polycyclic aromatic hydrocarbons. CRC Press, Boca Raton, FL (1983).
12. Organisation mondiale de la santé. Guidelines for drinking water quality. Vol. 3. Genève. p. 183 (1984).

Le benzo[a]pyrène (09/86)

13. Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. Données non publiées. Division de la surveillance et des critères, Bureau des dangers des produits chimiques (1988).
14. Tyrer, H.W., Cantrell, E.T., Horres, R., Lee, I.P., Peirano, W.B. et Danner, R.M. Benzo[a]pyrene metabolism in mice exposed to diesel exhaust. *Environ. Int.*, 5: 307 (1981).
15. Tomatis, L. Transplacental carcinogenesis. Dans: *Modern trends in oncology. Part I. Research progress.* R.W. Raven (dir. de publ.). Butterworths, London. p. 99 (1973).
16. Bakhe, Y.S. et Vane, J.R. *Metabolic function of the lung.* Marcel Dekker, New York, NY (1977).
17. Neal, J. et Rigdon, R.H. Gastric tumours in mice fed benzo[a]pyrene: a quantitative study. *Tex. Rep. Biol. Med.*, 25: 553 (1967).
18. Teranishi, K., Hamada, K. et Watanabe, H. Quantitative relationship between carcinogenicity of polyaromatic hydrocarbons in *Salmonella typhimurium* mutants. *Mutat. Res.*, 31: 97 (1975).
19. Raszinsky, K., Basler, A. et Rohrborn, G. Mutagenicity of polycyclic hydrocarbons. V. Induction of sister chromatid exchanges *in vivo*. *Mutat. Res.*, 66: 65 (1979).
20. Bulay, O.M. et Wattenberg, L.W. Carcinogenic effects of subcutaneous administration of benzo[a]pyrene during pregnancy on the progeny. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 135: 84 (1970).