

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

---

Dernière mise à jour : 07/02/05

## RESPONSABLE DU PROGRAMME

A. PICHARD : [annick.pichard@ineris.fr](mailto:annick.pichard@ineris.fr)

## EXPERTS AYANT PARTICIPÉ A LA RÉDACTION

M. BISSON - B. DOORNAERT - C. HULOT - S. JOACHIM - G. LACROIX -  
J.P. LEFEVRE - L. MALLERET - S. TISSOT

## DOCUMENTATION

C. GILLET

Afin d'avoir une meilleure compréhension de cette fiche, les lecteurs sont invités à se référer à la méthodologie de renseignements.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## SOMMAIRE

1. GÉNÉRALITÉS	5
1.1 Identification/caractérisation	5
1.2 Principes de production	5
1.3 Utilisations	5
1.4 Principales sources d'exposition	5
2. PARAMÈTRES D'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION	6
2.1 Paramètres physico-chimiques	6
2.2 Comportement	8
2.2.1 Dans l'eau	8
2.2.2 Dans les sols	8
2.2.3 Dans l'air	8
2.3 Persistance	8
2.3.1 Dégradation abiotique	8
2.3.2 Biodégradation	9
2.4 Bio-accumulation et métabolisme	9
2.4.1 Organismes aquatiques	9
2.4.2 Organismes terrestres y compris les végétaux	10
3. DONNÉES TOXICOLOGIQUES	10
3.1 Devenir dans l'organisme	11
3.2 Toxicologie aiguë	11
3.3 Toxicologie chronique	11
3.3.1 Effets systémiques	11
3.3.2 Effets cancérigènes	12

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

3.3.3 Effets sur la reproduction et le développement	13
3.4 Valeurs toxicologiques de référence	14
3.4.1 Valeurs toxicologiques de référence de l'ATSDR, l'US EPA et l'OMS	14
3.4.2 Valeurs toxicologiques de référence de Santé Canada, du RIVM et de l'OEHHA	14
4. DONNÉES ÉCOTOXICOLOGIQUES	15
4.1 Paramètres d'écotoxicité aiguë	15
4.1.1 Organismes aquatiques	15
4.1.2 Organismes terrestres	16
4.2 Paramètres d'écotoxicité chronique	16
4.2.1 Organismes aquatiques	16
4.2.2 Organismes terrestres	17
5. VALEURS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES	17
5.1 Classification - Milieu de travail	17
5.2 Nomenclature Installations classées (IC)	17
5.3 Valeurs utilisées en milieu de travail - France	17
5.4 Valeurs utilisées pour la population générale	18
5.4.1 Qualité des eaux de consommation	18
5.4.2 Qualité de l'air	18
5.4.3 Valeurs moyennes dans les milieux biologiques	18
5.5 Concentrations sans effet prévisible pour l'environnement (PNEC).	19
Propositions de l'INERIS	19
6. MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE QUANTIFICATION DANS L'ENVIRONNEMENT	19
6.1 Familles de substances	19
6.2 Principes généraux	19
6.2.1 Eau	19
6.2.2 Air	20
6.2.3 Sols	21
6.3 Principales méthodes	22
6.3.1 Présentation des méthodes	22

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

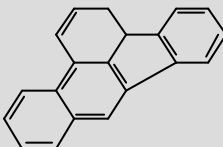
---

6.3.2 Tableau de synthèse	32
7. BIBLIOGRAPHIE	32

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## 1. GÉNÉRALITÉS

### 1.1 Identification/caractérisation

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique
Benzo[b]fluoranthène  $C_{20}H_{12}$  	205-99-2		2,3-benzofluoranthène 2,3-benzfluoranthène 3,4-benzofluoranthène 3,4-benzfluoranthène benz[e]fluoranthène benz[e]acéphénanthrylène 3,4- benz[e]acéphénanthrylène B[b]F	solide cristallisé sous forme d'aiguilles

(\*) dans les conditions ambiantes habituelles

### 1.2 Principes de production

Le benzo[b]fluoranthène est produit lors de la combustion incomplète d'hydrocarbures ou de charbon.

### 1.3 Utilisations

Il n'existe pas d'utilisation connue du benzo[b] fluoranthène autre que la recherche.

### 1.4 Principales sources d'exposition

La présence de benzo[b]fluoranthène (B(b)F) dans l'environnement est uniquement anthropique, elle résulte de la combustion incomplète d'hydrocarbures, ou de charbon.

Le raffinage du pétrole, la cokéfaction du charbon et le trafic automobile constituent des sources d'exposition importantes.

L'OMS IPCS (1998) indique d'une part, pour des raffineries de pétrole, une concentration de 1,3 µg/m<sup>3</sup> de B[b]F dans les émissions gazeuses et une concentration pouvant atteindre 0,2 µg/L dans les eaux rejetées (après traitement), d'autre part une teneur en B[b]F de 3,8 mg/kg dans des boues résiduelles provenant de la cokéfaction du charbon.

Des concentrations élevées atteignant 10 g/kg peuvent être trouvées dans l'asphalte.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## Concentrations ubiquitaires

Milieu	Concentration
<b>Air</b>	0,1 à 1 ng/m <sup>3</sup> (1)
<b>Eau</b>	
-eaux de rivières	? 50 ng/L(2)
-eaux de pluie	10 à 200 ng/L(3)
-eaux souterraines	? 10 ng/L(4)
<b>Sol</b>	? 100 ?g/kg (5)
<b>Sédiments</b>	(6)

(1) Valeur variable suivant les saisons (plus élevée l'hiver que l'été dans un rapport de l'ordre de 10) estimée sur la base de données européennes citées par ATSDR (1995), HSDB (2001) et OMS IPCS (1998).

(2) OMS IPCS (1998), Verschueren (2001).

(3) OMS IPCS (1998).

(4) Valeur estimée sur la base de données fournies par HSDB (2001) et Verschueren (2001).

(5) Valeur estimée sur la base de données fournies par ATSDR (1995) et Verschueren (2001).

(6) Les données disponibles sont trop dispersées (de 10 ?g/kg à 10 000 ?g/kg) pour permettre une évaluation correcte.

## 2. PARAMÈTRES D'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

### 2.1 Paramètres physico-chimiques

Paramètre	Valeur	Étendue	Référence
<b>Facteur de conversion</b> (dans l'air à 20 °C)	1 ppb = 10,49 ?g/m <sup>3</sup> 1 ?g/m <sup>3</sup> = 0,095 ppb (1)		
<b>Seuil olfactif (ppm)</b>	Non disponible		
<b>Masse molaire (g/mol)</b>	252,3		ATSDR (1995) ; HSDB (2001) ; OMS IPCS (1998)
<b>Point d'ébullition (°C)</b> (à pression normale)	481		OMS IPCS (1998)
<b>Pression de vapeur</b> (Pa)	6,7.10 <sup>-5</sup> à 20 °C		ATSDR (1995) ; HSDB (2001) ; OMS IPCS (1998) ; Verschueren (2001)

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

<b>Densité</b> -vapeur (par rapport à l'air)	8,7		
-solide	non disponible		
<b>Tension superficielle</b> (N/m)	Non concerné		
<b>Viscosité dynamique</b> (Pa.s)	Non concerné		
<b>Solubilité</b> (mg/L) dans l'eau	0,012 à 20 °C <sub>(2)</sub>		OMS IPCS (1998)
<b>Log Kow</b>	6,57 <sub>(6)</sub>	5,78 - 6,57	US EPA (1996) ; OMS IPCS (1998) ; Verschuieren (2001) ; Ryan <i>et al.</i> (1988) ; HSDB (2002) ; CHEMFATE (2002)
<b>Koc</b> (L/kg)		1,5 10 <sup>5</sup> - 6,3 10 <sup>5</sup>	Sims <i>et al.</i> (1988) ; CHEMFATE (2002) ; Jury <i>et al.</i> (1990)
<b>Coefficient de partage</b> sol-eau : Kd (L/kg)	(4)	48,9 - 7 244 <sub>(7)</sub>	Sims <i>et al.</i> (1988)
<b>Coefficient de partage</b> sédiments-eau : Kd (L/kg)	(4)		
<b>Coefficient de partage</b> Matière en Suspension-eau : Kd (L/kg)	(4)		
<b>Constante de Henry</b> (Pa.m <sup>3</sup> /mol)		0,05 - 15,6 à 25 °C	HSDB (2002) ; Verschuieren (2001) ; Ten Hulscher <i>et al.</i> (1992) ; US EPA (1996) ; CHEMFATE (2002)
<b>Coefficient de</b> <b>diffusion dans l'air</b> (cm <sup>2</sup> /s)	3,33 10 <sup>-2</sup> <sub>(5)</sub>	4,40 10 <sup>-2</sup> - 2,26.10 <sup>-2</sup> à 25 °C	EPRI (1988) ; US EPA (1996)
<b>Coefficient de</b> <b>diffusion dans l'eau</b> (cm <sup>2</sup> /s)	5,13 10 <sup>-6</sup> <sub>(5)</sub>	5,56 10 <sup>-6</sup> - 4,70.10 <sup>-6</sup> à 25 °C	EPRI (1988) ; US EPA (1996)
<b>Coefficient de</b> <b>diffusion à travers le</b> <b>PEHD</b> (m <sup>2</sup> /j)	Non disponible		
<b>Perméabilité cutanée à</b>	1,2 par défaut <sub>(3)</sub>		US EPA (1992)

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

une solution aqueuse (cm/h)			
--------------------------------	--	--	--

Choix des valeurs :

- (1) Les concentrations maximales attendues dans l'atmosphère sont de l'ordre du ppb du fait de la très basse pression de vapeur.
- (2) ATSDR (1995), HSDB (2001) et Verschueren (2001) indiquent également cette valeur sans préciser la température.
- (3) Aucune valeur expérimentale n'étant disponible pour le coefficient de perméabilité cutanée depuis l'eau, il est proposé, par défaut, la valeur de 1,2 calculée par l'US EPA (1992) (valeur de K<sub>ow</sub> utilisée pour le calcul égale à 6,12).
- (4) La valeur pourra être calculée à partir de l'expression suivante :  $K_d = f_{oc} \times K_{oc}$  (suivant l'hypothèse d'une adsorption sur la seule fraction organique du sol, du sédiment ou des matières en suspension, ce qui revient à négliger l'adsorption sur la fraction minérale et qui conduit à majorer le transfert du sol vers l'eau ou l'air). La valeur de f<sub>oc</sub> est issue de mesure de terrain ou par défaut d'une valeur issue de la littérature, par exemple celle du TGD (CE, 1996), de 0,02 pour f<sub>oc\_sol</sub>, de 0,05 pour f<sub>oc\_sed</sub>, de 0,1 pour f<sub>oc\_mes</sub>.
- (5) Moyenne arithmétique des 2 valeurs
- (6) Valeur la plus fréquemment citée
- (7) Valeurs correspondant à des sols de type limon sableux, avec pH compris entre 7,9 et 8,1.

## 2.2 Comportement

### 2.2.1 Dans l'eau

Dans l'eau le benzo[b]fluoranthène possède les propriétés requises pour s'adsorber sur les sédiments et la phase particulaire.

Sa volatilisation à partir des eaux de surface est lente.

### 2.2.2 Dans les sols

La mobilité du benzo[b]fluoranthène est très modérée dans les sols.

La volatilisation à partir de sols humides ou secs n'est pas significative.

### 2.2.3 Dans l'air

Compte tenu de ses caractéristiques ou adsorbé sur la matière particulaire.

## 2.3 Persistance

### 2.3.1 Dégradation abiotique

Dans l'air, le benzo[b]fluoranthène est dégradé en réagissant avec les radicaux hydroxyles formés par réaction photochimiques, avec une demi-vie estimée de 21 h pour une concentration de  $5 \cdot 10^5$  radicaux hydroxyles/cm<sup>3</sup> (HSDB, 2002).

La photolyse est un processus significatif.



# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## 2.3.2 Biodégradation

### Eaux de surface

Le benzo[b]fluoranthène a une demi-vie de 360 jours à 3 ans (Howard, *et al.*, 1991).

### Sol

Le benzo[b]fluoranthène ne se dégrade pas facilement dans les sols; des demi-vies allant jusqu'à 1 an ont été mesurées (Howard *et al.*, 1991).

Les facteurs tels que la température, le type de sols, et la présence de polluants conditionnent le taux de dégradation (Environnement Canada, 1994).

### Sédiments

Aucune information n'est disponible mais on peut supposer que la dégradation est lente.

### Eaux souterraines

La présence de solvants organiques mobiles dans les sols peut être à l'origine de la contamination des eaux souterraines par des phénomènes de lixiviation.

Dans ces eaux considérées comme anoxiques, des demi-vies de 4 à 7 ans ont été estimées (Howard *et al.*, 1991).

## 2.4 Bio-accumulation et métabolisme

### 2.4.1 Organismes aquatiques

#### Organismes benthiques

Dans les sédiments, le taux d'accumulation du benzo[b]fluoranthène dans les organismes dépend de plusieurs facteurs dont :

- ✍ les propriétés physico-chimiques de la substance,
- ✍ le temps d'exposition,
- ✍ la nature du sédiment,
- ✍ les taux d'absorption et de désorption par les organismes (varie d'un individu à un autre),
- ✍ le comportement de l'organisme durant la période d'exposition (alimentation, évitement, reproduction).

De plus, la disponibilité des HAP pour les organismes benthiques détritivores est très inférieure à celle d'autres substances possédant des propriétés physico-chimiques similaires (Landrum et Faust, 1991 ; Tracey et Hansen, 1996). La séquestration des HAP dans la matière

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

organique sédimentaire serait à l'origine de cette faible biodisponibilité (Kraaij et al, 2001 ; Van Hoof *et al*, 2001).

Les résultats des essais disponibles dans la littérature correspondent à une exposition des organismes benthiques à des mélanges de HAP. Aucune conclusion ne peut donc être donnée sur la biodisponibilité et l'accumulation du benzo[b]fluoranthène chez les organismes benthiques.

## Poissons

Le facteur de bioconcentration peut être estimé pour les poissons partir du coefficient de partage eau-octanol (CE, 1996). Étant donné que cette méthode de calcul ne prend pas en compte les éventuels phénomènes de biotransformations, chez certaines espèces le facteur de bioconcentration sera sur-estimé.

Ainsi, le  $BCF_{\text{poisson}}$  est de 31 768 indiquant qu'il existe un risque d'accumulation.

## 2.4.2 Organismes terrestres y compris les végétaux

Aucun résultat d'essai valide permettant de dériver des facteurs de bioconcentration dans les végétaux n'a pu être trouvé dans la littérature.

## 3. DONNÉES TOXICOLOGIQUES

L'ensemble des informations citées ci-dessous provient de diverses monographies publiées par des organismes reconnus pour la qualité scientifique de leurs documents (ATSDR, 1995 ; IARC, 1983, 1987 ; US EPA (IRIS), 1994). Les références bibliographiques aux auteurs sont citées pour permettre un accès direct à l'information scientifique mais n'ont pas fait l'objet d'un nouvel examen critique par les rédacteurs de la fiche.

Très peu de données toxicologiques sont disponibles pour le benzo[b]fluoranthène.

Nous invitons le lecteur à lire le rapport INERIS (Doornaert et Pichard, 2003) 'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) : évaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélange ; évaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérigènes : Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)'. Ce rapport est disponible sur le site Internet de l'INERIS (<http://www.ineris.fr>) et sur le portail substances chimiques (<http://chimie.ineris.fr>).

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## 3.1 Devenir dans l'organisme

### Études chez l'homme

Il n'existe pas d'étude concernant le devenir dans l'organisme du benzo[b]fluoranthène chez l'homme.

### Études chez l'animal

Chez l'animal, peu de données concernant le devenir dans l'organisme du benzo[b]fluoranthène sont disponibles.

L'étude de Amin et co-auteurs (1982) réalisée sur des préparations de foies de rats a montré que les métabolites du benzo[b]fluoranthène étaient le 1,2-dihydrodiolbenzo[b]fluoranthène, le 11,12-dihydrodiolbenzo[b]fluoranthène, le 4- ou le 7-monohydroxybenzo[b]fluoranthène ainsi que le 5- ou le 6-monohydroxybenzo[b]fluoranthène. Les époxydes dihydrodiol issus du métabolisme du benzo[b]fluoranthène n'induisent pas d'effet génotoxique. Par contre, le 5,9,10-trihydroxy-11, 12 époxy-9,10,11,12-tétrahydrobenzo[b]fluoranthène semble être lié à l'activité génotoxique observée sur la peau des souris exposées au benzo[b]fluoranthène (Weyand *et al.*, 1993).

## 3.2 Toxicologie aiguë

### Études chez l'homme

Chez l'homme, les effets induits par une exposition aiguë au benzo[b]fluoranthène n'ont pas été étudiés. En revanche, comme pour la plupart des HAP, l'exposition aiguë au benzo[b]fluoranthène ne semble pas induire d'effets défavorables sur la santé (HSDB, 2001).

### Études chez l'animal

Aucune étude expérimentale chez l'animal ne traite des effets induits par une exposition aiguë au benzo[b]fluoranthène.

## 3.3 Toxicologie chronique

### 3.3.1 Effets systémiques

#### Études chez l'homme

Chez l'homme, aucune donnée n'est disponible concernant les effets systémiques induits par une exposition chronique au benzo[b]fluoranthène et ceci quelle que soit la voie d'exposition.

#### Études chez l'animal

Chez l'animal, la seule étude décrivant les effets systémiques induits par une exposition chronique au benzo[b]fluoranthène montre que le benzo[b]fluoranthène peut induire des troubles immunologiques chez les souris BALB/c. Ainsi, chez les souris BALB/c,

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

l'administration par voie orale, 2 fois par semaine pendant 8 semaines, de 0,5 ou de 5 mg/kg de benzo[a]anthracène, de benzo[a]pyrène, de benzo[b]fluoranthène, de chrysène, de dibenz[a]anthracène ou de fluoranthène entraîne une augmentation des anticorps anti-benzo[a]anthracène et anti-benzo[b]fluoranthène pour la plus faible dose de ces agents. Par contre, aucun anticorps dirigé contre les autres composés testés n'a été détecté chez ces souris (Lee et Strickland, 1993).

## Effets systémiques

Substance Chimique	Voies d'exposition	Taux d'absorption		Organe cible	
		Homme	Animal	Principal	Secondaire
Benzo[b]-fluoranthène	Inhalation	ND*	ND*	ND*	ND*
	Ingestion	ND*	ND*	Système Immunologique	ND*
	Cutanée	ND*	ND*	ND*	ND*

ND\* = non déterminé

### 3.3.2 Effets cancérigènes

#### - Classification

##### L'Union Européenne

Cancérigène deuxième catégorie : Substance devant être assimilée à des substances cancérigènes pour l'homme (JOCE, 2000).

##### CIRC - IARC

Groupe 2B : l'agent pourrait être cancérigène pour l'homme (IARC, 1987).

##### US EPA (IRIS)

Classe B2 : substance probablement cancérigène pour l'homme (US EPA (IRIS), 1994).

#### - Études principales

##### Études chez l'homme

Aucune étude de cancérigénese spécifique au benzo[b]fluoranthène n'est disponible chez l'homme. Des études épidémiologiques ont montré une augmentation de la mortalité due au cancer du poumon chez les individus exposés aux émissions des fours à coke (Lloyd, 1971 ; Mazumdar *et al.*, 1975), aux fumées de cigarettes (Maclure et MacMahon, 1980 ; Wynder et Hoffmann, 1967) ou aux émissions de goudron (Hammond *et al.*, 1976). Tous ces mélanges contiennent du benzo[a]pyrène, du chrysène, du benz[a]anthracène, du benzo[b]fluoranthène et du dibenz[a,h]anthracène.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## Études chez l'animal

Chez l'animal, l'effet cancérigène spécifique du benzo[b]fluoranthène a été surtout étudié après une exposition par voie cutanée. Une étude dose-réponse a été réalisée chez les souris Swiss. Ces souris ont reçu une application cutanée de benzo[b]fluoranthène dont les doses sont comprises entre 0,01 et 0,5 %, 3 fois par semaine pendant la durée de leur vie (Wynder et Hoffmann, 1959). Des tumeurs malignes dont 90 % étaient des carcinomes sont apparues, 4 mois seulement après le début du traitement pour les doses les plus importantes de benzo[b]fluoranthène (0,5 %). Alors que des papillomes et des carcinomes (65 et 85 % respectivement) se sont développés 5 mois après le début de l'application pour des doses intermédiaires de benzo[b]fluoranthène. La dose la plus faible de benzo[b]fluoranthène pouvant induire le développement de tumeurs malignes est de 0,1 %, soit 1,2 mg/kg/j. Dans une autre étude chronique, le benzo[b]fluoranthène par voie cutanée induit une augmentation significative des papillomes et des carcinomes (aucune distinction n'a été faite entre les deux types de tumeurs) à partir de 3,4 µg (Habs *et al.*, 1980). Des études d'initiation et de promotion ont été également réalisées chez les animaux. L'application dermique de benzo[b]fluoranthène (10- 100 µg) chez les souris CD-1, suivie d'une application de 20 semaines de tétradécanyl phorbol acétate (TPA) a induit une augmentation dose-dépendante de l'incidence des tumeurs cutanées et plus particulièrement des papillomes à cellules squameuses (LaVoie *et al.*, 1982). Dans une étude plus récente, 20 souris femelles CD1 ont été exposées par voie cutanée à des doses initiatrices de benzo[b]fluoranthène (10 applications de 0,1 et de 4 µmol) suivie 10 jours après d'une application de TPA, 3 fois par semaine pendant 20 semaines (Weyand *et al.*, 1990). Cette étude a également montré le rôle initiateur du benzo[b]fluoranthène. En effet, le nombre de tumeurs par souris présentant des tumeurs et le pourcentage de souris portant des tumeurs sont significativement supérieurs chez les souris exposées au benzo[b]fluoranthène et au TPA par rapport aux souris contrôles ayant reçu uniquement de l'acétone (contrôle véhicule). L'augmentation des tumeurs est dose-dépendante.

### Caractère génotoxique :

Le benzo[b]fluoranthène n'est pas classé pour son caractère génotoxique par l'Union Européenne (JOCE, 2000). Par contre certaines études *in vitro* ont montré la capacité du benzo[b]fluoranthène à induire des détériorations génétiques (mutations et transformations) chez les procaryotes (Amin *et al.*, 1984 ; Hermann, 1981) et les eucaryotes ainsi que sur les cellules mammaires (Emura *et al.*, 1980 ; Greb *et al.*, 1980).

### 3.3.3 Effets sur la reproduction et le développement

Aucune donnée concernant l'effet du benzo[b]fluoranthène sur la reproduction et le développement n'est disponible aussi bien chez l'homme que chez l'animal et ceci quelle que soit la voie d'exposition.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## 3.4 Valeurs toxicologiques de référence

Une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) est un indice qui est établi à partir de la relation entre une dose externe d'exposition à une substance dangereuse et la survenue d'un effet néfaste. Les valeurs toxicologiques de référence proviennent de différents organismes dont la notoriété internationale est variable.

L'INERIS présente en première approche les VTR publiées par l'ATSDR, l'US EPA et l'OMS. En seconde approche, les VTR publiées par d'autres organismes, notamment Santé Canada, le RIVM et l'OEHHA, peuvent être retenues pour la discussion si des valeurs existent.

### 3.4.1 Valeurs toxicologiques de référence de l'ATSDR, l'US EPA et l'OMS

#### Valeurs toxicologiques de référence pour des effets avec seuil

Non déterminées.

#### Valeurs toxicologiques de référence pour des effets sans seuil

Non déterminées.

### 3.4.2 Valeurs toxicologiques de référence de Santé Canada, du RIVM et de l'OEHHA

#### Valeurs toxicologiques de référence pour des effets avec seuil

Non déterminées.

#### Valeurs toxicologiques de référence pour des effets sans seuil

Substances chimiques	Source	Voie d'exposition	Valeur de référence	Année de révision
Benzo[b]fluoranthène	RIVM	Orale	$CR_{oral} = 5.10^{-3} \text{ mg/kg/j}$	2001
	OEHHA	Inhalation	$ERU_i = 1,1.10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	2002
		Orale	$ERU_o = 1,2 (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$	2002

#### Justification scientifique des valeurs toxicologiques de référence

**Le RIVM propose un  $CR_{oral}$  de  $5.10^{-3} \text{ mg/kg/jour}$  pour une exposition par voie orale (Baars *et al.*, 2001).**

Cette concentration correspond à un excès de risque cancérigène de  $1.10^4$  pour une exposition continue durant toute la vie. Elle est issue des données d'une étude expérimentale par gavage au benzo[a]pyrène chez le rat (0, 3, 10 et 30 mg/kg/j durant 2 ans, 5j/sem) (Kroese *et al.*, 1999). Une augmentation dose-dépendante de l'incidence de tumeurs a été observée dans de nombreux organes et tissus, notamment le foie et l'estomac et également l'œsophage, la peau, la glande mammaire, le canal auditif, la cavité orale, l'intestin grêle et

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

les reins. Les auteurs ont conclu à un excès de risque cancérigène de  $1:10^4$  pour une exposition vie entière à  $0,5 \mu\text{g benzo[a]pyrène/kg/j}$ . Le RIVM considère une valeur de 0,1 pour le potentiel cancérigène relatif du benzo[b]fluoranthène par rapport au B[a]P. Le  $\text{CR}_{\text{oral}}$  pour cette substance est donc de  $5 \cdot 10^{-3} \text{ mg/kg/j}$ .

Selon le RIVM, la fiabilité de cette valeur est élevée.

**L'OEHA propose un  $\text{ERU}_i$  de  $1,1 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$  pour une exposition par inhalation et un  $\text{ERU}_o$  de  $1,2 (\text{mg/kg/j})^{-1}$  pour une exposition par voie orale (2002).**

Ces valeurs dérivent des excès de risques unitaires du benzo[a]pyrène, qui sont de  $1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$  pour la voie respiratoire et de  $12 (\text{mg/kg/j})^{-1}$  par voie orale (voir fiche du B[a]P), sachant que le benzo[b]fluoranthène a été affecté d'un facteur d'équivalence de 0,1.

## 4. DONNÉES ÉCOTOXICOLOGIQUES

L'objectif de ce document est d'estimer les effets à long terme sur la faune et la flore, les résultats nécessaires à cette évaluation sont présentés. Lorsqu'un nombre suffisant de résultats d'écotoxicité chronique est disponible, les résultats d'écotoxicité aigus ne sont pas fournis. Lorsque l'écotoxicité chronique n'est pas suffisamment connue, les résultats d'écotoxicité aigus sont présentés et peuvent servir de base pour l'extrapolation des effets à long terme.

### 4.1 Paramètres d'écotoxicité aiguë

#### 4.1.1 Organismes aquatiques

	Espèce	Critère d'effet	Valeur ( $\mu\text{g/L}$ )	Référence
Micro-crustacés	<i>Daphnia magna</i>	CL50 (48 h)	> 1,1	Vindimian <i>et al.</i> , 2000

#### Micro-crustacés

L'essai sur *Daphnia magna* a été effectué en utilisant un système statique avec un suivi analytique des concentrations dans le milieu d'essai. La  $\text{CE}_{50}$  est supérieure au seuil de solubilité de la substance dans le milieu d'essai soit  $1,1 \mu\text{g/L}$ .

#### Remarque

La toxicité des HAP envers les organismes aquatiques (pélagiques et benthiques) peut être accrue en présence de rayonnement UV et plus particulièrement les UV-A (Landrum *et al.*, 1987; Krylov *et al.*, 1997, Newsted et Giespy, 1987 ; US EPA, 1993 ; Hatch et Burton, 1999 ; Ankley *et al.*, 1994 ; Sinha et Chignell, 1983).

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

Deux types de réactions photochimiques peuvent expliquer l'apparition de ce phénomène.

✍ Mécanisme « externe »

La structure des molécules de HAPs présentes dans le milieu aqueux peut être modifiée sous l'influence de rayonnement UV et en présence d'oxygène. Ses formes modifiées, une fois accumulées dans les organismes provoquent des destructions cellulaires.

✍ Mécanisme « interne »

Sous l'influence de rayonnement UV, un transfert d'énergie a lieu entre les HAPs et la molécule d'oxygène provoquant la formation d'espèces réactives de l'oxygène. Ces formes réactives de l'oxygène sont à l'origine de la destruction des membranes biologiques. La toxicité induite par la lumière serait régie par un mécanisme « interne » avec en premier lieu une accumulation de HAPs dans les tissus puis une formation d'espèces réactives après une exposition aux UV.

Ces deux mécanismes agissent de manière simultanée.

Quelques facteurs régissant l'apparition et l'amplitude de cette toxicité sont :

- ✍ la quantité et la nature des HAPs,
- ✍ l'intensité et la durée du rayonnement UV,
- ✍ la nature des espèces présentes,
- ✍ la nature du milieu considéré.

Aucune donnée valide n'existe sur la toxicité du benzo[b]fluoranthène en présence de rayonnement UV. Toutefois, au vu de sa structure et similitude avec le benzo[k]fluoranthène l'apparition de ce phénomène semble probable en condition naturelle.

## 4.1.2 Organismes terrestres

Aucune information n'est disponible.

## 4.2 Paramètres d'écotoxicité chronique

### 4.2.1 Organismes aquatiques

	Espèce	Critère d'effet	Valeur (µg/L)	Référence
Algues	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	CE <sub>10</sub> (72 h)	> 1	Vindimian <i>et al.</i> , 2000
Micro-crustacés	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	CE <sub>10</sub> (7 j)	> 1	

#### Algues

L'essai sur *Pseudokirchneriella subcapitata* a été effectué en utilisant un système statique. Les résultats sont basés sur les concentrations mesurées en tenant compte de leur



# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

décroissance au cours du temps dans le milieu d'essai. La  $CE_{10}$  est supérieure au seuil de solubilité de la substance dans le milieu d'essai.

## Micro-crustacés

L'essai sur *Ceriodaphnia dubia* a été effectué en utilisant un système semi-statique. Les résultats sont basés sur des concentrations mesurées. La  $CE_{10}$  est supérieure au seuil de solubilité de la substance dans le milieu d'essai.

Remarque : même remarque sur la phototoxicité que la partie 4.1.

## 4.2.2 Organismes terrestres

Aucune information n'est disponible.

## 5. VALEURS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES

### 5.1 Étiquetage - Milieu de travail

**France** : Arrêté du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances chimiques complété jusqu'à la directive 2004/73/CE de la commission du 29 avril 2004 portant la 29<sup>e</sup> adaptation au progrès technique de la directive 67/548/CEE.

Classification : Carc. Cat. 2 ; R45, N ; R50-53

Phrases de risque : R 45 - 50/53

Conseil de prudence : S 53 - 45 - 60 - 61

Indication(s) de danger : T, N

### 5.2 Nomenclature Installations classées (IC)

**France** : Décret n°53-578 du 20 mai 1953 modifié relatif à la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement mise à jour par le Ministère de l'écologie et du développement durable « Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement » (2002).

La liste des rubriques mentionnées est indicative et ne se veut pas exhaustive.

Rubriques : 1171 - 1172

### 5.3 Valeurs utilisées en milieu de travail - France

Notes documentaires INRS ND 2098 (2004) "Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France" et ND 2190-191-03 "Indices biologiques d'exposition".

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

✂ **Air** : Non concerné

✂ **Indices biologiques d'exposition** : Non concerné

## 5.4 Valeurs utilisées pour la population générale

### 5.4.1 Qualité des eaux de consommation

**France** : Décret n° 2001 - 1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles.

Pour le total des six substances suivantes : 0,1 µg/L

Benzo[b]fluoranthène - Benzo[k]fluoranthène - Benzo[ghi]pérylène - Indéno[1,2,3-cd]pyrène.

**UE** : Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (CE, 1998).

Pour l'ensemble des hydrocarbures aromatiques polycycliques : 0,1 µg/L.

Benzo[b]fluoranthène - Benzo[k]fluoranthène - Benzo[ghi]pérylène - Indéno[1,2,3-cd]pyrène.

**OMS** : Directives de qualité pour l'eau de boisson (2004)

Non concerné.

### 5.4.2 Qualité de l'air

**OMS** : Directives de qualité pour l'air (2000).

L'OMS a établi un Excès de Risque Unitaire par inhalation (ERU<sub>i</sub>) pour un mélange de HAPs. Cet ERU<sub>i</sub> correspond à la probabilité de développer un cancer du poumon après une exposition vie entière à un mélange de HAPs. Les effets induits sont attribués au seul benzo[a]pyrène retenu alors comme indicateur. L'ERU<sub>i</sub> établi par l'OMS est de  $8,7 \cdot 10^{-2}$  par µg de benzo[a]pyrène par m<sup>3</sup>.

### 5.4.3 Valeurs moyennes dans les milieux biologiques

Milieux Biologiques	Valeurs de référence
Sang	ND
Urine	ND
Cheveux	ND
Placenta	ND

ND : non déterminées

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## 5.5 Concentrations sans effet prévisible pour l'environnement (PNEC). Propositions de l'INERIS

Aucune valeur exacte permettant de dériver des PNECs n'est disponible.

## 6. MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE QUANTIFICATION DANS L'ENVIRONNEMENT

### 6.1 Familles de substances

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

### 6.2 Principes généraux

#### 6.2.1 Eau

##### Prélèvement

Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons en verre brun munis de bouchons en téflon. Le volume prélevé doit être de 0,5 ou 1 L. Pour les eaux du robinet, il convient de laisser couler l'eau quelques minutes avant de remplir le flacon. Pour les eaux de surface, le flacon doit être immergé dans la masse d'eau et rempli en évitant de prélever la couche d'eau superficielle. Pour les échantillons d'eau chlorés, du thiosulfate doit être ajouté au moment du prélèvement. Les échantillons sont ensuite transportés et/ou stockés à environ + 4°C et à l'abri de la lumière. L'extraction doit être effectuée dans les 24 heures suivant le prélèvement. Si tel n'est pas le cas, il est conseillé d'ajouter le solvant d'extraction directement dans la bouteille de prélèvement et d'agiter les deux phases. Ce pré-traitement permet d'allonger la durée de stockage avant extraction à 72 heures.

##### Extraction

Les HAP contenus dans 100 à 1 000 mL d'eau sont extraits en deux étapes successives par extraction liquide/liquide avec un solvant organique apolaire à peu polaire, tels que l'hexane, le cyclohexane ou le dichlorométhane. Pour des eaux usées (eaux de station d'épuration, eaux de rejet industriel) ou fortement concentrées en HAP, il est conseillé d'effectuer l'extraction sur l'échantillon d'eau dilué avec de l'eau distillée. L'extrait est ensuite séché sur sulfate de sodium anhydre et reconcentré à l'évaporateur rotatif, puis sous flux d'azote. Si nécessaire, pour des eaux de surface ou autres échantillons d'eaux contaminées, l'extrait est purifié sur micro-colonne phase alumine/sulfate de sodium ou gel de silice. Puis, en fonction de la technique choisie pour l'analyse et le dosage des solutés, après reconcentration des extraits, les HAP sont re-dissous dans un solvant approprié.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

Remarque : Les HAP étant des composés facilement adsorbés sur les matières en suspension (MES), lors de l'analyse d'eaux usées chargées en MES, la totalité de l'échantillon (i.e. eau non filtrée) doit être analysée. Dans le cas d'eaux de surface, une différenciation entre les concentrations en HAP dissous et non dissous peut s'avérer souhaitable. Ainsi pour une charge importante en matière en suspension (à titre indicatif, MES supérieures à 200 mg/L), il est recommandé de filtrer l'eau et d'extraire séparément la fraction dissoute et la fraction particulaire.

## Dosage

L'analyse et le dosage des HAP sont effectués :

- ✎ Soit par chromatographie en phase liquide (sur phase inverse, colonne greffée  $G_8$ , phase mobile méthanol ou acétonitrile/eau en isocratique ou en gradient) couplée une détection par spectrophotométrie ultra-violet ou/et par fluorimétrie (CLHP/UV et/ou fluorimétrie), avec un dosage par étalonnage externe ;
- ✎ Soit par chromatographie en phase gazeuse (colonne capillaire, phase stationnaire faiblement polaire) couplée à un détecteur à ionisation de flamme (CPG/FID), avec un dosage par étalonnage externe ou interne ;
- ✎ Soit par chromatographie sur couche mince haute performance couplée à une détection par fluorimétrie (CCMHP/fluorimétrie).

## 6.2.2 Air

### Prélèvement

Air ambiant : Un échantillon d'air est directement prélevé à l'aide d'une pompe en propulsant l'air à un débit maximal de 225 L/min à travers un filtre à particules fines (diamètre 102 mm) puis à travers un piège à sorption constitué par de la mousse polyuréthane (PUF) ou de la résine polymère en polystyrène/divinylbenzène (XAD-2). Le volume d'air prélevé ne doit pas dépasser 350 m<sup>3</sup>.

Air des lieux de travail : L'atmosphère à étudier est aspirée au moyen d'une pompe à travers un dispositif de collecte constitué par un porte filtre et un filtre (de diamètre 25 ou 37 mm). Le prélèvement est effectué sur une durée de 4 heures ou plus à un débit généralement de 1 à 1,09 L/min.

Émission de sources fixes : Un échantillon d'air est prélevé de manière isocinétique (avec ou sans division de débit) ; la fraction particulaire est collectée sur un filtre (choisi en fonction de la température et de la nature physico-chimique des gaz échantillonnés), la fraction gazeuse est piégée dans un piège à vapeur par condensation et adsorption sur support solide constitué de résine polymère de polystyrène/divinylbenzène (XAD-2) ou tout autre support de performance équivalente.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## Extraction

Les filtres et les cartouches d'adsorbant sont extraits par un solvant organique, généralement le dichlorométhane, dans un extracteur de type soxhlet ou bien dans des cuves à ultrasons. L'extrait est ensuite concentré soit par Kuderna-Danish, soit à l'évaporateur rotatif, puis sous flux d'azote. Avant l'analyse, l'extrait est éventuellement purifié sur micro-colonne de silice ou bien par lavage à l'eau suivi d'une ré-extraction des analytes par un solvant.

## Dosage

L'analyse et le dosage des HAP sont effectués :

- ✎ Soit par chromatographie en phase liquide (sur phase inverse, colonne greffée  $C_{18}$ , phase mobile méthanol ou acétonitrile/eau en isocratique ou en gradient) couplée une détection par spectrophotométrie ultra-violet ou/et par fluorimétrie (CLHP/UV et/ou fluorimétrie), avec un dosage par étalonnage externe ;
- ✎ Soit par chromatographie en phase gazeuse (colonne capillaire, phase stationnaire faiblement polaire) couplée à un détecteur à ionisation de flamme (CPG/FID) ou à un spectromètre de masse (CPG/SM), avec un dosage par étalonnage externe ou interne (utilisation de HAP deutériés ou d'hydrocarbures paraffiniques ou polyaromatiques comme étalons internes).

## 6.2.3 Sols

### Prélèvement

Les échantillons de sols doivent être prélevés dans des bocaux hermétiques en verre, puis transportés et conservés à l'obscurité et au froid ( $4 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Pour la recherche de HAP peu volatils, tel que le benzo[b]fluoranthène, les échantillons peuvent être séchés et broyés avant extraction.

### Extraction

Selon la technique d'analyse utilisée par la suite et selon le degré de pollution de l'échantillon étudié, les HAP contenus dans un sol sont extraits :

- ✎ Par un solvant d'extraction polaire (solution à base de méthanol ou acétone puis éther de pétrole) sous l'effet d'une agitation mécanique. Après filtration ou décantation, l'extrait est analysé. Ce type d'extraction convient pour des dosages immunoenzymatiques ou pour des sols faiblement pollués analysés ensuite par chromatographie en phase liquide. Dans ce dernier cas, préalablement à l'analyse, l'extrait est purifié (lavage à l'eau, séchage et reconcentration de la phase organique avant une éventuelle purification complémentaire sur micro-colonne) ;

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

- ✍ Par un solvant d'extraction faiblement polaire (toluène) dans un extracteur de type soxhlet pendant 4 à 8 heures, pour des sols fortement pollués analysés par la suite en chromatographie en phase liquide ;
- ✍ Par extraction thermique directe opérée par chauffage de l'échantillon à 340°C pendant 3 min dans une chambre d'extraction thermique, les composés étant ensuite piégés par cryogénie en tête de colonne analytique puis analysés par chromatographie en phase gazeuse.

## Dosage

L'analyse et le dosage des HAP sont effectués :

- ✍ Soit par chromatographie en phase liquide (sur phase inverse, colonne greffée  $G_8$ , phase mobile méthanol ou acétonitrile/eau en isocratique ou en gradient) couplée une détection par spectrophotométrie ultra-violet ou/et par fluorimétrie (CLHP/UV et/ou fluorimétrie), avec un dosage par étalonnage externe ;
- ✍ Soit par chromatographie en phase gazeuse (colonne capillaire, phase stationnaire faiblement polaire) couplée à un spectromètre de masse (CPG/SM), avec un dosage par étalonnage interne ;
- ✍ Soit par dosage immunoenzymatique.

## 6.3 Principales méthodes

### 6.3.1 Présentation des méthodes

**A/ ISO/DIS 12884 (avril 2000) : Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques en phase gazeuse et particulaire dans l'air ambiant - Prélèvement sur filtres à sorption et analyse par chromatographie gazeuse / spectrométrie de masse**

#### Domaine d'application

La norme internationale spécifie les procédures de prélèvement, d'extraction et d'analyse permettant de déterminer la concentration, dans l'air ambiant, de 22 HAP, dont le benzo[b]fluoranthène. Elle décrit le prélèvement des phases gazeuse et particulaire de manière séparée puis leur analyse simultanée. Elle s'applique à l'étude de volumes importants d'échantillon et permet d'atteindre des limites de détection de l'ordre de  $0,5 \text{ ng/m}^3$  pour un volume de prélèvement de  $350 \text{ m}^3$  (100 à 250 L/min). Des tests de validation ont été conduits pour des périodes d'échantillonnage de 24 h (fidélité ? 25 %, incertitude globale ? 50 %).

#### Principe

Un échantillon d'air est directement prélevé à l'aide d'une pompe, la phase particulaire étant retenue sur des filtres et la phase gazeuse piégée sur des supports solides. Le filtre et

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

la cartouche d'adsorbant sont extraits simultanément dans un extracteur de type Soxhlet. Après reconcentration, l'extrait est analysé par CPG/SM. Le dosage est effectué par étalonnage interne (étalons internes : 5 composés deutériés). La concentration combinée de HAP dans l'air répartis en phase gazeuse et en phase particulaire est ainsi mesurée.

## Interférences

Les interférences susceptibles de perturber les performances de la méthode peuvent être liées aux réactifs, aux solvants ou à la verrerie et également à la matrice étudiée (co-extraction d'impuretés). Certains composés, tels que les HAP alkylés (notamment problème de co-élution de l'acénaphthène méthylique avec le fluorène) ou les composés hétéroatomiques dérivés des HAP (quinoléine par exemple), peuvent plus particulièrement être gênants. L'exposition des échantillons à la chaleur, à l'ozone, au dioxyde d'azote ou aux rayonnements ultraviolets, à une étape quelconque du prélèvement, du stockage et de l'analyse, peut entraîner une dégradation des HAP recherchés. La fumée de tabac dans le laboratoire ou dans des parties contiguës peut être la cause d'une contamination des échantillons.

**B/ NF X 43-294 (juin 1995) : Air des lieux de travail - Échantillonnage et analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques**

## Domaine d'application

Cette méthode permet de déterminer une valeur moyenne de concentration sur un temps donné de prélèvement. Elle est applicable à la vérification du respect des valeurs limites de moyenne d'exposition (VME). En revanche, elle ne permet pas de faire le suivi des variations instantanées d'une pollution. La limite de détection mentionnée est de 1 ng/m<sup>3</sup>.

## Principe

L'atmosphère à étudier est prélevé sur un filtre, qui est ensuite extrait au dichlorométhane dans un extracteur de type Soxhlet. L'extrait est concentré, puis éventuellement purifié et repris dans un solvant adapté à la technique d'analyse choisie, qui peut être, soit la CLHP/UV et fluorimétrie, soit la CPG/FID.

## Interférences

Non mentionnées.

**C/ XP X 43-329 (avril 1995) : Émission des sources fixes - Prélèvement et mesure d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et des goudrons à l'émission.**

## Domaine d'application

Cette méthode permet la détermination des HAP dont le benzo[b]fluoranthène émis par les sources canalisées. Elle s'applique aux effluents gazeux plus ou moins chargés en poussières

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

et en goudrons et peut être employée pour des niveaux de concentrations supérieurs à  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Principe

L'échantillon d'air est prélevé de manière isocinétique (avec ou sans division de débit) ; la fraction particulaire est collectée sur un filtre et la fraction gazeuse est piégée sur un support solide. Le filtre et la cartouche d'adsorbant sont extraits simultanément dans un extracteur de type Soxhlet ou aux ultrasons. L'extrait est concentré, puis éventuellement purifié et repris dans un solvant adapté à la technique d'analyse choisie, qui peut être soit la CLHP/fluorimétrie, soit la CPG/FID.

## Interférences

Non mentionnées.

**D/ NF T 90-115 (septembre 1988) : Essais des eaux - Dosage de 6 hydrocarbures aromatiques polycycliques - Méthode par chromatographie liquide haute pression (CLHP)**

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à la détermination de 6 HAP dans les eaux potables et les eaux de surface. La limite de détection mentionnée pour le benzo[b]fluoranthène est de 10 ng/L.

## Principe

Les HAP sont extraits de l'eau par extraction liquide/liquide au cyclohexane. Après séchage, reconcentration et éventuellement purification sur micro-colonne alumine/sulfate de sodium, l'extrait est évaporé à sec et repris dans du méthanol ou de l'acétonitrile. L'analyse est effectuée par CLHP/fluorimétrie. Pour des eaux ayant des niveaux de MES supérieurs à 200 mg/L, l'eau est filtrée et la fraction dissoute et la fraction particulaire sont extraites séparément en plusieurs extractions successives.

## Interférences

Tout composé donnant lieu ou atténuant la fluorescence et ayant des propriétés chromatographiques similaires à celles des HAP recherchés peut interférer. En particulier, la présence dans l'échantillon d'autres HAP que les 6 analysés par cette méthode peut donner lieu à des interférences. Afin d'y remédier, il convient soit de procéder à une purification sur micro-colonne, soit de travailler aux longueurs d'onde d'excitation et d'émission spécifiques des composés recherchés, soit encore de procéder par addition d'étalon (méthode des ajouts dosés).



# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

**E/ NF ISO DIS 17993 (version de février 2000) : Qualité de l'eau - Détermination des 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'eau par CLHP avec détection fluorescence**

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à l'analyse de 15 HAP, dont le benzo[b]fluoranthène, dans les eaux potables et les eaux de surface. Elle peut être étendue à l'analyse d'autres HAP si des essais au laboratoire permettent de démontrer son applicabilité à ces composés supplémentaires. Les limites de détection mentionnées sont de 0,005 µg/L et de 0,01 µg/L, respectivement pour les eaux potables et pour les eaux de surface.

## Principe

Les HAP sont extraits de l'eau par extraction liquide/liquide à l'hexane. Après séchage, reconcentration et éventuellement purification sur micro-colonne de silice, le solvant est échangé par du méthanol ou de l'acétonitrile et l'extrait est analysé par CLHP/fluorimétrie. Pour des eaux usées (STEP, eaux de rejet industriel) ou fortement concentrées en HAP, l'extraction est effectuée sur l'échantillon dilué au 1/2 avec de l'eau distillée.

## Interférences

Les interférences peuvent être liées à l'échantillonnage et à l'extraction. Les récipients d'échantillonnage et de stockage doivent être constitués de matériaux inertes tels que verre ou acier. Il est recommandé de ne pas utiliser de matières plastiques ou toutes autres matières organiques à cause de leur capacité d'adsorption générant des pertes en HAP. De même pour les échantillonneurs automatiques, il convient d'éviter l'emploi de tubes en silicone ou en caoutchouc. L'évaporation à sec des extraits peut générer des pertes sévères en HAP à 2 ou 3 noyaux.

D'autres interférences peuvent résulter de l'analyse par CLHP. Ainsi tout composé donnant lieu ou atténuant la fluorescence et ayant des propriétés chromatographiques similaires à celles des HAP recherchés peut interférer. En particulier, on signalera des interférences liées à la présence d'autres HAP : problème de séparation pour le naphthalène et le phénanthrène et pour le dibenzo[ah]anthracène et l'indéno[1, 2, 3-cd]pyrène, pics incomplètement résolus. De même, le pérylène est incomplètement résolu du benzo[b]fluoranthène, mais à une longueur d'onde adéquate le pic du pérylène peut être supprimé. Les résidus de solvants employés pour le prétraitement de l'échantillon (hexane, acétone, dichlorométhane) interfèrent sur la qualité de la séparation chromatographique (pic plus large, voire dédoublement de pics) surtout pour les HAP à 2 à 3 noyaux). La présence d'oxygène dissous dans la phase mobile ou éluant peut réduire l'intensité de fluorescence de certains HAP ; il faut donc maintenir la teneur en oxygène dissous la plus faible et la plus constante possible en dégazant l'éluant avec de l'hélium ou sous vide.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

Enfin, au cours du prélèvement, de l'extraction et de l'analyse, les échantillons doivent être protégés de l'exposition à la lumière directe du soleil, qui peut entraîner la dégradation des HAP.

**F/ ISO/DIS 7981-1 (avril 2002) : Qualité de l'eau - Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) - Partie 1 : Détermination de six HAP par chromatographie de haute performance sur couche mince avec détection fluorimétrique**

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à l'analyse de 6 HAP, dont le benzo[b]fluoranthène, dans l'eau potable sur une gamme de concentrations allant de 40 à 240 ng/L.

## Principe

Les HAP sont extraits de l'eau par extraction liquide/liquide au cyclohexane. Les extraits sont reconcentrés à sec, le résidu est repris dans un solvant approprié puis est analysé par chromatographie sur couche mince haute performance CCMHP couplée à une détection par fluorescence. Si besoin, une purification de l'extrait sur micro-colonne de silice est effectuée avant l'analyse.

## Interférences

Lors du prélèvement, du stockage et de l'analyse tout contact de l'échantillon avec des matériaux plastiques doit être évité. Tout composé donnant lieu à une fluorescence ou atténuant la fluorescence des HAP, et ayant des propriétés chromatographiques similaires à celles des HAP recherchés peut interférer. Afin de remédier à cela, il est recommandé de travailler aux longueurs d'onde d'excitation et d'émission spécifiques des composés recherchés.

**G/ ISO/DIS 7981-2 (avril 2002) : Qualité de l'eau - Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) - Partie 2 : Détermination de six HAP par chromatographie en phase liquide à haute performance avec détection fluorimétrique**

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à l'analyse de 6 HAP, dont le benzo[b]fluoranthène, dans les eaux potables minérales ou du robinet et dans les eaux brutes souterraines ou de surface, à des niveaux de concentrations supérieurs à 5 ng/L.

## Principe

Les HAP sont extraits de l'eau par extraction liquide/liquide au cyclohexane, les extraits sont ensuite reconcentrés à sec et le résidu est repris dans un solvant permettant une analyse

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

---

ultérieure par CLHP/Fluorimétrie. Dans le cas d'eaux de surface et autres échantillons d'eau contaminés, il peut être nécessaire d'opérer une purification de l'extrait sur micro-colonne de silice. Les HAP étant des composés facilement adsorbés sur les matières en suspension, la totalité de l'échantillon doit être analysée. Dans le cas d'eau de surface, il est souhaitable de faire une différenciation entre concentrations en HAP dissous et non dissous.

## Interférences

Lors du prélèvement, du stockage et de l'analyse, tout contact de l'échantillon avec des matériaux plastiques doit être évité. Tout composé donnant lieu ou atténuant la fluorescence et ayant des propriétés chromatographiques similaires à celles des HAP recherchés peut interférer. Afin d'y remédier, il est conseillé de travailler aux longueurs d'onde d'excitation et d'émission spécifiques des composés recherchés. La vérification de l'absence d'interférents peut aussi se faire en utilisant la technique des ajouts dosés.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

**H/ US EPA method 610 - Methods for organic chemical analysis of municipal and industrial wastewater : Polynuclear aromatic hydrocarbons**

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à l'analyse de 16 HAP, dont le benzo[b]fluoranthène, dans les eaux de rejet municipales ou industrielles. Pour le benzo[b]fluoranthène, le rendement de la méthode est de l'ordre de 78 %, la limite de détection est de 18 ng/L. L'analyse par CPG/FID ne permet pas d'obtenir une résolution adéquate pour la séparation de l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène et du dibenzo[a,h]anthracène.

## Principe

Les HAP sont extraits de l'eau par extraction liquide/liquide au dichlorométhane, les extraits sont ensuite séchés puis reconcentrés. L'analyse est effectuée soit par CLHP/UV et fluorimétrie, soit par CPG/FID. En fonction des échantillons étudiés, une procédure de purification des extraits sur gel de silice est également décrite.

## Interférences

Des interférences peuvent être liées aux réactifs, aux solvants ou à la verrerie. La matrice étudiée peut également être source d'interférence. De plus, même si les méthodes chromatographiques ont été optimisées pour la détection des HAP, des problèmes d'interférences ou de co-élution peuvent être rencontrés lors de l'analyse de certains échantillons.

**I/ US EPA method 8100 (septembre 1986) - Polynuclear aromatic hydrocarbons**

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à l'analyse de 24 HAP, dont le benzo[b]fluoranthène, à des concentrations de l'ordre du µg/L, dans les eaux et les sols.

## Principe

La méthode décrit la séparation et l'analyse des HAP par CPG/FID. Cette analyse requiert la mise en œuvre préalable d'une étape d'extraction appropriée (US EPA method 3510 ou 3520 pour les eaux et method 3540 ou 3550 pour les sols). Avant dosage, il est recommandé de confirmer l'identité des composés détectés par CPG/SM.

## Interférences

Des problèmes d'interférences peuvent être dus aux solvants, aux réactifs ou à la verrerie. Les réactifs et solvants doivent être de haute pureté. Il peut être nécessaire de distiller les

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

solvants pour les purifier. Il convient de montrer par l'analyse de blanc de verrerie que tout le matériel utilisé est exempt d'interférence.

Des interférences peuvent également provenir de la matrice particulière analysée. Il est alors possible de recourir à une purification complémentaire soit classique soit spécifique en fonction du problème rencontré.

## **J/ US EPA method 8310 (septembre 1986) - Polynuclear aromatic hydrocarbons**

### **Domaine d'application**

Cette méthode s'applique à l'analyse, dans les eaux et les sols, de 16 HAP, dont le benzo[b]fluoranthène, à des limites de concentrations variant de la dizaine de ng/L à la dizaine de µg/L selon la matrice (eau de boisson ou souterraine, sol). Des essais interlaboratoires sur des eaux de référence, des eaux potables, des eaux de surface et des eaux de rejet industriel ont montré que la précision et la justesse de la méthode étaient davantage dépendantes du niveau de concentration analysé sur une gamme variant de 0,1 à 500 µg/L que de la matrice testée.

### **Principe**

La méthode décrit la séparation et l'analyse des HAP par CLHP/UV et fluorimétrie. Cette analyse requiert la mise en œuvre préalable d'une étape d'extraction appropriée (US EPA method 3510 ou 3520 pour les eaux et method 3540 ou 3550 pour les sols).

### **Interférences**

Des problèmes d'interférences peuvent être dus aux solvants, aux réactifs ou à la verrerie. Les réactifs et solvants doivent être de haute pureté. Il peut être nécessaire de distiller les solvants pour les purifier. Il convient de montrer par l'analyse de blanc de verrerie que tout le matériel utilisé est exempt d'interférence.

Des interférences peuvent également provenir de la matrice particulière analysée. Il est alors possible de recourir à une purification complémentaire soit classique soit spécifique en fonction du problème rencontré. Les autres HAP présents ainsi que les artéfacts liés à la matrice peuvent interférer sur l'analyse.

## **K/ FD X 31-610 (novembre 1997) - Qualité du sol : Méthode de détermination semi-quantitative des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sols - Guide de sélection et d'utilisation des kits de dosage immunoenzymatiques**

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## Domaine d'application

Cette norme s'applique à la détermination des 16 HAP de la liste US EPA, dont le benzo[b]fluoranthène, dans des échantillons de sols. Il s'agit d'une méthode de criblage rapide sur le terrain afin de positionner les échantillons relativement à un ou plusieurs seuils préétablis (par rapport au bas de gamme qui est 1 mg/kg et en général également par rapport à des concentrations de 10 et 100 mg/kg). Cette technique constitue donc un indicateur rapide de la présence éventuelle de HAP dans un sol. Les résultats obtenus sont semi-quantitatifs et doivent être par la suite confirmés ou précisés par des analyses plus fines en laboratoire.

## Principe

La méthode décrit la collecte des échantillons, puis leur extraction par agitation dans une solution d'extraction (solution à base de méthanol) suivie d'une filtration et d'une dilution. La concentration en HAP dans les échantillons est ensuite évaluée par dosage immunoenzymatique (double réaction immunologique et enzymatique). Le dosage se fait en comparant la réponse obtenue pour l'échantillon à celle donnée par des étalons de HAP. Le résultat s'exprime en référence à un intervalle de concentrations défini en fonction des étalons.

## Interférences

Parmi les interférences signalées figurent les acides humiques, le fer, le pH, les matières en suspension. La probabilité d'avoir de faux résultats négatifs est non négligeable car l'étape d'extraction est parfois limitante du fait d'une faible efficacité. A l'inverse, de faux résultats positifs peuvent aussi être obtenus en fonction de la plus ou moins grande spécificité des kits et de leurs affinités notamment pour des HAP substitués ou des composés aromatiques chlorés. Aucune information n'est disponible sur l'affinité de ces kits vis à vis des intermédiaires de dégradation biologique des HAP.

**L/ US EPA method 4035 (décembre 1996) - Soil screening for polynuclear aromatic hydrocarbons by immunoassay**

## Domaine d'application

Cette norme s'applique à la détermination des 16 HAP de la liste US EPA, dont le benzo[b]fluoranthène, dans des échantillons de sols. Il s'agit d'une méthode de criblage rapide sur le terrain permettant de déterminer rapidement si la concentration en HAP est supérieure ou inférieure à 1mg/kg.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## Principe

La méthode décrit la collecte des échantillons, puis leur extraction et le dosage immunoenzymatique (double réaction immunologique et enzymatique) des HAP par comparaison de la réponse obtenue pour l'échantillon à celle donnée par des étalons de HAP.

## Interférences

Tout composé ayant une structure chimique proche de celle des HAP (alkyl HAP, HAP halogénés, HAP substitués) est susceptible d'interférer dans la mesure. Les alkyl HAP, les composés aromatiques chlorés ainsi que d'autres composés aromatiques interagissent aussi sur les anticorps et contribuent donc à générer des faux résultats positifs. Les kits sont optimisés pour réagir avec les HAP à 3 à 4 noyaux. La sensibilité des kits vis-à-vis des autres HAP est assez variable.

**M/ US EPA method 8275A (décembre 1996) - Semivolatile organic compounds (PAHs and PCBs) in soils/sludges and solid wastes using thermal extraction/gas chromatography/mass spectrometry (TE/GC/MS)**

## Domaine d'application

Il s'agit d'une méthode de détermination quantitative rapide des HAP, dont le benzo[b]fluoranthène, contenus dans un sol. La limite de quantification est estimée à 1 mg/kg et la limite de détection est de l'ordre de 0,01 à 0,5 mg/kg.

## Principe

La méthode consiste en une extraction thermique directe des HAP contenus dans le sol suivie d'un piégeage cryogénique et d'une analyse par CPG/SM. Le dosage est effectué par étalonnage interne (utilisation de HAP deutériés ou marqués au <sup>13</sup>C comme étalons).

## Interférences

Il convient de vérifier l'absence d'interférence dans les blancs, les échantillons, les standards et les étalons internes. L'analyse d'échantillons de haute concentration peut entraîner l'apparition de pics fantômes (contamination du système) par saturation de la colonne analytique. Dans ce cas, il est nécessaire de reconditionner la colonne analytique et d'analyser à nouveau des blancs.

**N/ NF ISO 13877 (avril 1999) - Qualité du sol : Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques - Méthode par chromatographie liquide haute performance**

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

## Domaine d'application

Cette norme décrit deux méthodes de détermination quantitative des HAP contenus dans un sol selon que l'échantillon est faiblement ou fortement pollué. La gamme de concentration couverte est de l'ordre de 1 à 100 voire 1 000 mg/kg.

## Principe

Pour les échantillons faiblement pollués, l'extraction est effectuée sur sol humide par mise en contact de celui-ci avec un solvant d'extraction polaire (ajout en deux étapes d'acétone puis d'éther de pétrole) sous agitation mécanique. Après décantation les composés polaires et l'acétone sont éliminés par lavage de l'extrait à l'eau. La phase organique est ensuite séchée sur sulfate de sodium et reconcentrée, éventuellement une purification complémentaire sur phase alumine est opérée. L'éluat est concentré et l'éther de pétrole est totalement échangé avec de l'acétonitrile. Pour les échantillons fortement pollués, l'extraction est effectuée sur sol séché, avec du toluène, dans un extracteur de type soxhlet pendant 4 à 8 heures. Dans les deux cas, l'analyse et le dosage sont réalisés par CLHP/UV ou fluorimétrie. Le dosage est réalisé par étalonnage externe.

## Interférences

Les performances de l'extraction peuvent être diminuées pour des sols contenant une quantité élevée de matières organiques. En fonction de la matrice des interférences chromatographiques peuvent également apparaître. Il convient d'optimiser les conditions de séparation au cas par cas en fonction des échantillons analysés et de ne pas se fier uniquement à la qualité de la séparation obtenue pour l'analyse d'étalons.

### 6.3.2 Tableau de synthèse

	Air	Eaux	Sols
Prélèvement et pré-traitement	A, B, C	D, E, F, G, H	K, L, M
Extraction	A, B, C	D, E, F, G, H	K, L, M
Dosage	A, B, C	D, E, F, G, H, I, J	I, J, K, L, M, N

## 7. BIBLIOGRAPHIE

**Amin S., LaVoie E.J. and Hecht S.S.** (1982) - Identification of metabolites of benzo[b]fluoranthene. *Carcinogenesis*, **3**, 2, 171-174.

**Amin S., Hussain N. and Brielman H.** (1984) - Synthesis and mutagenicity of dihydrodiol metabolites of benzo[b]fluoranthenes. *Carcinogenesis*, **6**, 1023-1025.



# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

**Ankley G.T., Collyard S.A., Monson P.D. and Kosian P.A.** (1994) - Influence of ultraviolet light on the toxicity of sediments contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Environ Toxicol Chem*, **13**, 11, 1791-1796.

**ATSDR** (1995) - Toxicological Profiles for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>.

**Baars A.J., Theelen R.M.C., Janssen P.J.C.M., Hesse J.M., van Apeldoorn M.E., Meijerink M.C.M., Verdam L. and Zeilmaker M.J.** (2001) - Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels RIVM, Rijnsinstituut voor volksgezondheid en milieu. Report 711 701 025.

**CE** (1996) - Technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) N° 1488/94 on risk assessment for existing substances. Office for Official Publications of the EC. Luxembourg.

**CE** (1998) - Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998. Communauté Européenne. Bruxelles, Belgique.

**CHEMFATE** (2002) - Environmental Fate Data Base: Fluorene.  
<http://esc.syrres.com/efdb.htm>.

**Doornaert B. and Pichard A.** (2003) - HAPs - Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérogènes : approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélanges. Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérogènes : Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Verneuil en Halatte. 64 pp

**Emura M., Richter Reichhelm H.B., Schneider P. and Mohr U.** (1980) - Sensitivity of Syrian golden hamster fetal lung cells to benzo[a]pyrene and other polycyclic hydrocarbons *in vitro*. *Toxicology*, **17**, 2, 149-155.

**Environment-Canada** (1994) - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Conservation and Protection Environment Canada, 60. ISBN 0-662-22209-1.

**EPRI** (1988) - Chemical data for predicting the fate of organic compounds in water. Electric Power Research Institute - Database. In : Anonymous California: Tetra Techn. Inc. volume 2.

**Greb W., Strobel R. and Rohrborn G.** (1980) - Transformation of BHK 21/CL 13 cells by various polycyclic aromatic hydrocarbons using the method of Styles. *Toxicol Lett*, **7**, 2, 143-148.

**Habs M., Schmahl D. and Misfeld J.** (1980) - Local carcinogenicity of some environmentally relevant polycyclic aromatic hydrocarbons after lifelong topical application to mouse skin. *Arch Geschwulstforsch*, **50**, 3, 266-274.

**Hatch A.C. and Burton Jr. G.A.** (1999) - Photo-induced toxicity of PAHs to *Hyalella azteca* and *Chironomus tentans* : effects of mixtures and behavior. *Environ Poll*, **106**, 157-167.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

**Hammond E.C., Selikoff I.J., Lawther P.L. and Seidman H.** (1976) - Inhalation of benzopyrene and cancer in man. *Ann N Y Acad Sci*, **271**, 116-124.

**Hermann M.** (1981) - Synergistic effects of individual polycyclic aromatic hydrocarbons on the mutagenicity of their mixtures. *Mutat Res*, **90**, 4, 399-409.

**Howard P.H., Boethling R.S., Jarvis W.F., Meylan W.M. and Michalenko E.M.** (1991) - Handbook of environmental degradation rates. Chelsea, Michigan, Lewis Publisher, p725, Printup HT Ed.

**HSDB** (2001) - Benzo[b]fluoranthène. Hazardous Substances Data Bank National Library of Medicine. <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>.

**HSDB** (2002) - Benzo(b)fluoranthene. Hazardous Substances Data Bank National Library of Medicine. <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>.

**IARC** (1983) - IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks of chemical to humans. IARC. <http://www.inchem.org/documents/iarc/iarc/iarc740.htm>.

**IARC** (1987) - IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks of chemical to humans. IARC. <http://www.inchem.org/documents/iarc/iarc/iarc740.htm>.

**JOCE** (2000) - Commission Directive 2000/32/EC, 26<sup>th</sup> time Council directive 67/548EEC. *Official Journal of the European Communities*.

**Jury W.A., Russo D., Streile G. and Abd H.E.** (1990) - Evaluation of volatilization by organic chemicals residing below the soil surface. *Water Res*, **26**, 1, 13-20.

**Kraaij R.H., Ciarelli S., Tolls J., Kater B. and Belfroid A.** (2001) - Bioavailability of lab-contaminated and native polycyclic aromatic hydrocarbons to the amphipod *Corophium volutator* relates to chemical desorption. *Environ Toxicol Chem*, **20**, 8, 1716-1724.

**Kroese E.D., Muller J.J.A., Mohn G.R., Dortant P.M. and Wester P.W.** (1999) - Tumorigenic effects in Wistar rats orally administered benzo[a]pyrene for two years (gavage studies). Implication for human cancer risks associated with oral exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. National Institute of Public Health and the Environment, RIVM draft report n° 658603010.

**Krylov S.N., Huang X.-D., Zeiler L.F., Dixon D.G. and Greenberg B.M.** (1997) - Mechanistic quantitative structure-activity relationship model for the photoinduced toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons : I. Physical model based on chemical kinetics in a two-compartment system. *Environ Toxicol Chem*, **16**, 11, 2283-2295.

**Landrum P.F., Giesy J.P., Oris J.T. and Allered P.M.** (1987) - Photoinduced toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons to aquatic organisms. Oil in Freshwater: Chemistry, Biology and Countermeasure Technology. New York, Pergamon Books, pp. 304-318

**Landrum P.F. and Faust W.R.** (1991) - Effect of variation in sediment composition on the uptake rate coefficient for selected PCB and PAH congeners by the amphipod *Diporeia sp.*

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

Aquatic Toxicology and Risk Assessment Vol 14 STP 1124. Philadelphia, American society for testing and materials, vol 10, pp. 263-279.

**LaVoie E.J., Amin S., Hecht S.S., Furuya K. and Hoffmann D.** (1982) - Tumour initiating activity of dihydrodiols of benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, and benzo[k]fluoranthene. *Carcinogenesis*, **3**, 1, 49-52.

**Lee B.M. and Strickland P.T.** (1993) - Antibodies to carcinogen-DNA adducts in mice chronically exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Immunol Lett*, **36**, 2, 117-123.

**Lloyd J.W.** (1971) - Long-term mortality study of steelworkers. V. Respiratory cancer in coke plant workers. *J Occup Med*, **13**, 2, 53-68.

**Maclure K.M. and MacMahon B.** (1980) - An epidemiologic perspective of environmental carcinogenesis. *Epidemiol Rev*, **2**, 19-48.

**Mazumdar S., Redmond C.K. and Sollecito W.** (1975) - An epidemiological study of exposure to coal tar pitch volatiles among coke oven workers. *J Air Pollut Control Assoc*, **25**, 382-389.

**Newsted J. and Giesy J.J.** (1987) - Predictive models for photoinduced acute toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons to *Daphnia magna*, *Strauss Cladocera*, *Crustacea*. *Toxicol Chem*, **6**, 445-461.

**OEHHA** (2002) - ERU<sub>i</sub> and ERU<sub>o</sub>. Benzo[b]fluoranthène. Office of Environmental Health Hazard Assessment. <http://www.oehha.ca.gov/>.

**OMS IPCS** (1998) - Environmental Health Criteria 202 - Selected non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. World Health Organisation, International Programme on chemical Safety. <http://www.inchem.org>.

**OMS** (2000) - Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization. Copenhagen, 2<sup>nd</sup> Ed.

**OMS** (2004) - Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization. Geneva. 3<sup>rd</sup> Ed.

**Ryan J.A., Bell R.M., Davidson J.M., O'Connor G.A.** (1988) - Plant uptake of non-ionic chemicals from soils. *Chemosphere*, **17**, 12, 2299-2323.

**Sims R.C., Doucette W.J., McLean J.E., Grenney W.J. and Ryan Dupont R.** (1988) - Treatment Potential for 56 EPA Listed Hazardous Chemicals in Soil. U.S. Environmental Protection Agency. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK. EPA/600/6-88-001.

**Sinha B. and Chignell C.** (1983) - Binding of anthracene to cellular macromolecules in presence of light. *Photochem Photobiol*, **37**, 33-37.

**Ten Hulscher T.E.M., Van Der Velde L.E. and Bruggeman W.A.** (1992) - Temperature Dependence of Henry's Law Constants for Selected Chlorobenzenes, Polychlorinated - Biphenyls and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Environ Toxicol Chem*, **11**, 1595-1603.

# BENZO[b]FLUORANTHÈNE

**Tracey G.A. and Hansen D.J.** (1996) - Use of biota-sediment accumulation factors to assess similarity of nonionic chemical exposure to benthically-coupled organisms of differing trophic mode. *Arch Environ Contam Toxicol*, 30, 467-475.

**US EPA** (1992) - Dermal exposure assessment: principles and applications. U.S. Environmental Protection Agency. Interim report. EPA/600/8-91/011B.  
<http://www.epa.gov/epahome/search.html>.

**US EPA** (1993) - Sediment quality criteria for the protection of benthic organisms: fluoranthene. US Environmental Protection Agency. Washington, DC. 822/r-93/012

**US EPA (IRIS)** (1994) - Benzo[b]fluoranthène. U.S. Environmental Protection Agency - Integrated Risk Information System - Carcinogenicity Assessment for lifetime exposure.  
<http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/>.

**US EPA** (1996) - Soil Screening Guidance: technical background document. U.S. Environmental Protection Agency. Washington. <http://www.epa.gov/epahome/search.html>.

**Van Hoof P.L., Kukkonen J.V.K. and Landrum P.F.** (2001) - Impact of sediment manipulation on the bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons from field-contaminated and laboratory-dosed sediments by an oligochaete. *Environ Toxicol Chem*, 20, 8, 1752-1761.

**Verschueren** (2001) - Benzo[b]fluoranthène. Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. New-York, John Wiley and Sons, Inc. 4<sup>th</sup> Ed., vol 1, pp. 278-280

**Vindimian E., Bisson M., Dujardin R., Flammarion P., Garric J., Babut M., Lamy M.-H., Porcher J.-M. and Thybaud E.** (2000) - Complément au SEQ-Eau : méthode de détermination des seuils de qualité pour les substances génotoxiques. Rapport final. INERIS, Agence de l'eau Rhin-Meuse, Verneuil-en-Halatte.

**Weyand E.H., Patel S. and LaVoie E.J.** (1990) - Relative tumor initiating activity of benzo[a]fluoranthène, benzo[b]fluoranthène, naphtho[1,2-b]fluoranthène and naphtho(2,1-a)fluoranthène on mouse skin. *Cancer Lett*, 52(3), 229-234.

**Weyand E.H., Cai Z.W., Wu Y., Rice J.E., He Z.M. and LaVoie E.J.** (1993) - Detection of the major DNA adducts of benzo[b]fluoranthène in mouse skin: role of phenolic dihydrodiols. *Chem Res Toxicol*, 6, 4, 568-577.

**Wynder E.L. and Hoffmann D.** (1959) - A study of tobacco carcinogenesis: VII. The role of higher polycyclic hydrocarbons. *Cancer*, 12, 1079-1086.

**Wynder E.L. and JHoffmann D.** (1967) - Tobacco and tobacco smoke. Academic Press. New York.