

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

Dernière mise à jour : 25/05/2005

## RESPONSABLE DU PROGRAMME

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

## EXPERTS AYANT PARTICIPÉ A LA RÉDACTION

M. BISSON - G. HEUZE - G. LACROIX - J.P. LEFEVRE - H. MAGAUD -  
L. MALLERET

## DOCUMENTATION

C. GILLET

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

Cette fiche a été examinée et discutée avec le Docteur Alain Baert, Benoît Hervé Bazin et le Professeur Jean-Marie Haguenoer.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 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	7
2.1 Paramètres physico-chimiques	7
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	9
2.3.1 Dégradation abiotique	9
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	9
3. DONNÉES TOXICOLOGIQUES	9
3.1 Devenir dans l'organisme	10
3.2 Toxicologie aiguë	10
3.3 Toxicologie chronique	11
3.3.1 Effets systémiques	11
3.3.2 Effets cancérigènes	11

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

3.3.3 Effets sur la reproduction et le développement	13
3.4 Valeurs toxicologiques de référence	13
3.4.1 Valeurs toxicologiques de référence de l'ATSDR, l'US EPA et l'OMS	13
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	15
4.2 Paramètres d'écotoxicité chronique	15
4.2.1 Organismes aquatiques	15
4.2.2 Organismes terrestres	16
5. VALEURS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES	16
5.1 Étiquetage - Milieu de travail	16
5.2 Nomenclature Installations classées (IC)	16
5.3 Valeurs utilisées en milieu de travail - France	16
5.4 Valeurs utilisées pour la population générale	16
5.4.1 Qualité des eaux de consommation	16
5.4.2 Qualité de l'air	17
5.4.3 Valeurs moyennes dans les milieux biologiques	18
5.5 Concentrations sans effet prévisible pour l'environnement (PNEC).	18
Propositions de l'INERIS	18
6. MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE QUANTIFICATION DANS L'ENVIRONNEMENT	18
6.1 Familles de substances	18
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

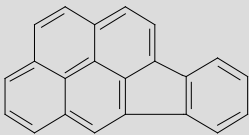
# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

6.3.2 Tableau de synthèse	32
7. BIBLIOGRAPHIE	33

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 1. GÉNÉRALITÉS

### 1.1 Identification/caractérisation

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
INDÉNO[1,2,3-c,d]PYRÈNE  $C_{22}H_{12}$  	193-39-5	205-893-2	Indenopyrene o-phenylenepyrene ortho-phenylenepyrene 2,3-phenylenepyrene 2,3-o-phenylenepyrene 2,3-orthophenylene pyrene 1,10 (1,2-phenylene) pyrene	solide  Sous forme d'aiguilles ou de plaques

(\*) dans les conditions ambiantes habituelles

### 1.2 Principes de production

L'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, présent dans les charbons bitumineux, est enrichi par distillation puis extrait par une technique séparative adaptée (dissolution, extraction liquide-liquide) avant d'être purifié par chromatographie.

### 1.3 Utilisations

Excepté pour la recherche, cette substance n'est pas utilisée.

### 1.4 Principales sources d'exposition

L'indéno[1,2,3-c,d]pyrène est présent naturellement dans les combustibles fossiles, les huiles brutes, les huiles de schiste, dans les feuilles de diverses espèces d'arbres de 26 à 234  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (HSDB, 2000), dans les feuilles de tabac de 18 à 38  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (HSDB, 2000), dans le terreau et le fumier de cheval, respectivement à des concentrations de l'ordre de 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  et 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Verschueren, 1996). Il a d'autre part été détecté dans les algues.

Sa présence naturelle dans l'environnement résulte également des feux de forêts et des éruptions volcaniques.

Les principales sources sont cependant d'origine anthropique. La combustion incomplète de bois, de charbon, de carburant utilisé dans les moteurs thermiques (machines, propulsion automobile essence ou Diesel), les fours à bois, les incinérateurs d'ordures ménagères, les

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

fumées industrielles, les aliments grillés au charbon de bois, la fumée de cigarette sont les principaux vecteurs d'exposition de l'environnement à indéno[1,2,3-c,d]pyrène.

A titre indicatif, Verschueren (1996) cite les teneurs suivantes :

- essence (suivant l'indice d'octane) : 40 µg/kg à 2,9 mg/kg,
- huile moteur (suivant durée d'utilisation) : 0,03 mg/kg à 83 mg/kg,
- goudron de charbon : 8 g/kg,
- gaz d'échappement de moteurs à essence : 11 à 87 µg/m<sup>3</sup>,
- fumées d'incinérateurs d'ordures ménagères : 1,8 pg/m<sup>3</sup> après tour de lavage et précipitateur électrostatique, < 10 µg/kg dans les résidus,
- condensats d'échappement des moteurs à essence : 268 µg/g, 32 à 86 µg/litre d'essence consommé,
- fumée de cigarette : 4 ng/cigarette.

## Concentrations ubiquitaires

Milieu	Concentration
Air	Été : < 50 pg/m <sup>3</sup> (1)
Eau	
Eaux de surface	
Eau douce	< 100 ng/L (2)
Eau de mer	< 100 pg/L (3)
Sols	10 à 15 µg/kg (4)
Sédiments	(5)

(1) Sur la base de données fournies par ATSDR (1995) et HSDB (2000) concernant des sites ruraux américains et anglais. Ces sources bibliographiques précisent d'autre part que les concentrations urbaines seraient 3 à 5 fois plus élevées.

(2) Sur la base de données européennes (Angleterre, Allemagne) fournies par HSDB (2000).

(3) Sur la base de données fournies par HSDB (2000) concernant la mer Baltique.

(4) Données ATSDR (1995) pour sols ruraux ; la concentration est plus élevée de 5 à 10 fois pour les sols agricoles et de 1 000 à plusieurs milliers de fois pour les sols urbains.

(5) Les données disponibles ne permettent pas une évaluation correcte.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

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

### 2.1 Paramètres physico-chimiques

Paramètre	Valeur	Étendue	Référence
Facteur de conversion (dans l'air à 20 °C)	Non concerné <sup>(1)</sup>		
Seuil olfactif (ppm)	Non disponible		
Masse molaire (g/mol)	276,34 <sup>(2)</sup>	276,09 - 276,34	HSDB (2000), Prager (1995), STF (1991), Verschueren (1996)
Point d'ébullition (°C) (à pression normale)	533 <sup>(3)</sup>	530 - 536	ATSDR (1995), HSDB (2000), Prager (1995), Verschueren (1996)
Pression de vapeur (Pa)	1,3.10 <sup>-8</sup> <sup>(2)</sup> à 20° C	1,3.10 <sup>-4</sup> - 1,3.10 <sup>-9</sup>	ATSDR (1995) STF (1991), Verschueren (1996)
Densité -vapeur -solide	Non concerné <sup>(1)</sup> Non disponible		
Tension superficielle (N/m)	Non concerné		
Viscosité dynamique (Pa.s)	Non concerné		
Solubilité (mg/L) dans l'eau	0,062 à 20 °C <sup>(4)</sup>		HSDB (2000)
Log Kow	6,60 <sup>(3)</sup>	6,51 à 7,66	HSDB (2000), ATSDR (1995), OMS IPCS (1998), US EPA (1996), STF (1991), Veerkamp et ten Berge (1994)
Koc (L/kg)	6 ,3.10 <sup>6</sup> <sup>(5)</sup>	1,1.10 <sup>5</sup> à 7,6.10 <sup>6</sup>	HSDB (2000), ATSDR (1995), US EPA (1996), STF (1991)
Coefficient de partage sol-eau : Kd (L/kg)	<sup>(6)</sup>		
Coefficient de partage sédiments-eau : Kd (L/kg)	<sup>(6)</sup>		
Constante de Henry (Pa.m <sup>3</sup> /mol)	2,90.10 <sup>-2</sup> <sup>(5)</sup>	2,43.10 <sup>-3</sup> à 1,62.10 <sup>-1</sup>	Ten Hulscher <i>et al.</i> (1992), HSDB (2000), ATSDR (1995), OMS IPCS (1998),

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

			US EPA (1996), STF (1991)
Coefficient de diffusion dans l'air (cm <sup>2</sup> /s)	3,1.10 <sup>-2</sup>	1,9.10 <sup>-2</sup> à 4,4.10 <sup>-2</sup>	US EPA (1996), STF (1991)
Coefficient de diffusion dans l'eau (cm <sup>2</sup> /s)	5,1.10 <sup>-6</sup>	4,5.10 <sup>-6</sup> à 5,7.10 <sup>-6</sup>	US EPA (1996), STF (1991)
Coefficient de diffusion à travers le PEHD (m <sup>2</sup> /j)	2.10 <sup>-7</sup>		Veerkamp et ten Berge (1994)
Perméabilité cutanée à une solution aqueuse (cm/h)	1,9		US EPA (1992)

## Choix des valeurs :

- (1) *Compte tenu de la tension de vapeur extrêmement faible, la phase vapeur peut être considérée comme inexistante.*
- (2) *Valeur la plus fréquemment citée.*
- (3) *Moyenne arithmétique de plusieurs valeurs.*
- (4) *Valeur confirmée par ATSDR (1995), Prager (1995) et Verschueren (1996), sans précision cependant sur la température à laquelle elle se rapporte.*
- (5) *Seule valeur mesurée retrouvée.*
- (6) *La valeur pourra être calculée à partir de l'expression suivante :  $K_d = foc \times K_{oc}$  (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 foc est issue de mesure de terrain ou par défaut une valeur issue de la littérature, par exemple celle du TGD (CE, 1996), de 0,02 pour foc\_sol, de 0,05 pour foc\_sed, de 0,1 pour foc\_mes*

## 2.2 Comportement

### 2.2.1 Dans l'eau

L'indéno[1,2,3-c,d]pyrène est peu soluble dans l'eau.

### 2.2.2 Dans les sols

Il est très peu mobile dans les sols.

### 2.2.3 Dans l'air

Sa volatilisation à partir des milieux aqueux, des sols humides ou secs est très faible.



# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 2.3 Persistance

### 2.3.1 Dégradation abiotique

Dans l'atmosphère, l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène est susceptible de subir une photolyse.

### 2.3.2 Biodégradation

D'après OMS IPCS (1998), la biodégradation de HAP ayant plus de 4 noyaux aromatiques est très faible.

## 2.4 Bio-accumulation et métabolisme

### 2.4.1 Organismes aquatiques

Il n'existe pas de BCF sur organismes aquatiques.

En utilisant le logKow (6,6) il est possible d'estimer un BCF de 45 000 (CE, 1996). En conséquence, l'indéno[1,2,3,c,d]pyrène possède un potentiel élevé d'accumulation dans les organismes aquatiques.

### 2.4.2 Organismes terrestres y compris les végétaux

Aucun résultat d'essai valide n'a pu être trouvé dans la littérature.

## 3. DONNÉES TOXICOLOGIQUES

L'ensemble des informations et des données toxicologiques provient de diverses monographies publiées par des organismes reconnus pour la qualité scientifique de leurs documents (IARC, 1973, 1983 ; ATSDR, 1995 ; OMS ICPS, 1998). Les références bibliographiques aux auteurs sont citées pour permettre un accès direct à l'information scientifique mais n'ont généralement pas fait l'objet d'un nouvel examen critique par les rédacteurs de la fiche.

En l'absence de certaines données spécifiques sur la toxicité de l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène ou à défaut de données générales sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques il peut être utile de se reporter à la fiche sur le benzo[a]pyrène, ce dernier étant l'hydrocarbure aromatique polycyclique le plus étudié.

Nous invitons également le lecteur à lire le rapport INERIS 'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) : Evaluation 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)' (Doornaert et Pichard, 2003). Ce rapport est disponible

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

sur le site Internet de l'INERIS (<http://www.ineris.fr>) et sur le portail substances chimiques (<http://chimie.ineris.fr>).

## 3.1 Devenir dans l'organisme

### Études chez l'homme

Chez l'homme les principales voies de pénétration des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont l'inhalation, la voie orale et la voie cutanée (ATSDR, 1995).

Il n'existe pas de données chez l'homme relatives à la distribution des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'organisme.

Le caractère lipophile des hydrocarbures aromatiques polycycliques leur confère une grande facilité à franchir les membranes cellulaires et leur permet d'être stockés dans les différents tissus. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont métabolisés en composés plus hydro-solubles, ce qui facilite leur élimination. Ce métabolisme est observé dans les différents tissus, il utilise de nombreux systèmes enzymatiques. Le métabolisme de l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène n'est pas connu.

La plupart des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont excrétés dans les fèces et les urines.

### Études chez l'animal

L'absorption intestinale des hydrocarbures aromatiques polycycliques est dépendante de la présence de bile (Rahman *et al.*, 1986).

Chez la souris, Rice *et al.* (1986) ont identifié au niveau de la peau le 8-hydroindéno[1,2,3-c,d]pyrène comme le métabolite le plus abondant. Les autres principaux métabolites identifiés au niveau cutané sont le 9-hydroxyindéno[1,2,3-c,d]pyrène et le trans-1,2-dihydro-1,2-dihydroxyindéno[1,2,3-c,d]pyrène.

## 3.2 Toxicologie aiguë

### Études chez l'homme

Il n'existe pas de donnée spécifique à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène disponible chez l'homme.

### Études chez l'animal

Il n'existe pas de donnée spécifique à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène disponible chez l'animal.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 3.3 Toxicologie chronique

### 3.3.1 Effets systémiques

#### Études chez l'homme

Il n'existe pas de donnée spécifique à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène disponible chez l'homme.

#### Études chez l'animal

Il n'existe pas de donnée spécifique à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène disponible chez l'animal.

#### Effets systémiques

Substance Chimique	Voies d'exposition	Taux d'absorption		Organe cible	
		Homme	Animal	Principal	Secondaire
Indéno[1,2,3-c,d]pyrène	Inhalation	Non Disponible	Non Disponible	Non Disponible	Non Disponible
	Ingestion	Non Disponible	Non Disponible	Non Disponible	Non Disponible
	Cutanée	Non Disponible	Non Disponible	Non Disponible	Non Disponible

### 3.3.2 Effets cancérigènes

- - Classification

#### L'Union Européenne

Non déterminé.

#### CIRC - IARC

**Groupe 2B** : l'agent (ou le mélange) pourrait être cancérigène pour l'homme (IARC, 1973).

#### US EPA (IRIS)

**Classe B2** : substance probablement cancérigène pour l'homme (1994).

- - Études principales

#### Études chez l'homme

Il n'existe pas de données spécifiques à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène disponibles chez l'homme.

#### Études chez l'animal

L'indéno[1,2,3-c,d]pyrène est considéré comme un cancérigène complet et un initiateur pour les tumeurs cutanées chez la souris (IARC, 1973).

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

Une étude a consisté en l'introduction d'implants intra-pulmonaires constitués de 0,05 mL d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène dans un mélange de cire d'abeille et de trioctanoïne chez le rat Osborne-Mendel femelle (Deutsch-Wenzel *et al.*, 1983). Chaque groupe de 35 animaux a reçu une dose de 0,16 mg (0,65 mg/kg), 0,83 mg (3,4 mg/kg) ou 4,15 mg (17 mg/kg) d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène. Deux groupes témoins négatifs ont été constitués l'un d'animaux non traités et l'autre d'animaux recevant un implant (sans ajout d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène). Le temps moyen de survie des animaux est légèrement diminué. Une augmentation statistiquement significative des carcinomes épidermoïdes pulmonaires et thoraciques est rapportée de façon dose dépendante (3/35, 8/35 et 21/35).

Des groupes de souris CD-1 mâles et femelles (n = 32) ont reçu des injections intra-péritonéales d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène (dose totale de 580 µg/souris) en solution dans le diméthyl sulfoxyde (DMSO) aux 1<sup>er</sup>, 8<sup>ème</sup> et 15<sup>ème</sup> jours suivant la naissance (LaVoie *et al.*, 1987). L'observation des tumeurs a été effectuée à l'âge de 52 semaines. Un seul des 11 mâles autopsiés a développé un adénome pulmonaire, aucune tumeur n'est rapportée chez les femelles.

Vingt souris femelles Swiss-albinos Ha/ICR/Mil ont été enduites d'une solution d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène dans le dioxane ou l'acétone trois fois par semaine pendant 12 mois. Les solutions à 0,05 % ou 0,1 % dans le dioxane n'induisent pas de tumeur alors qu'une exposition pratiquée dans les mêmes conditions avec une solution de benzo[a]pyrène induit pour les deux concentrations des papillomes et des carcinomes chez plus de 80 % des animaux en 7 mois. En revanche, une relation dose-effet a été établie chez les souris exposées à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène en solution dans l'acétone. Les concentrations à 0,01 et 0,05 % n'induisent pas de tumeurs ; la concentration de 0,1 % induit 6 papillomes et 3 carcinomes, les premières tumeurs étant observées dès le neuvième mois. A la concentration de 0,5 %, les tumeurs apparaissent dès 3 mois d'exposition : 7 papillomes et 5 carcinomes. Une expérience similaire montre que 10 expositions pratiquées à deux jours d'intervalle pour une dose totale de 250 mg induit des tumeurs cutanées. Chez 30 souris traitées ensuite avec de l'huile de croton dans l'acétone, 10 papillomes ont été rapportés chez 5 des animaux exposés (Hoffmann et Wynder, 1966).

Une étude réalisée chez la souris femelle Crl-CD1 montre qu'une exposition cutanée à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène induit une relation dose-effet pour l'incidence de tumeurs dans un protocole d'initiation-promotion (Rice *et al.*, 1985). L'exposition est pratiquée quotidiennement pendant 10 jours pour des doses totales de 0, 100, 300 ou 1 000 µg d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène en solution dans l'acétone suivie 10 jours après par 22 semaines de promotion par l'acétate tétradécanoyl phorbol (TPA) à 0,0025 % en solution dans l'acétone. Le témoin positif utilisé est le benzo[b]fluoranthène à la dose d'initiation totale de 25 µg. Des tumeurs sont observées chez 80 % des souris (en moyenne 4,05 tumeurs/animal) ayant reçu la dose totale de 1 000 µg d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène alors qu'une dose de 100 ou 300 µg/souris induit une incidence tumorale non statistiquement significative.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

Trois injections de 0,6 mg d'indéno[1,2,3-c,d]pyrène en solution dans l'huile d'olive ont été pratiquées à 1 mois d'intervalle chez 14 souris XVIIInc/Z des deux sexes. Dix mâles ont développé un sarcome au niveau du site d'injection en 265 jours alors qu'une seule femelle a développé un sarcome en 145 jours (Lacassagne *et al.*, 1963).

## Caractère génotoxique :

L'indéno[1,2,3-c,d]pyrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union Européenne.

### 3.3.3 Effets sur la reproduction et le développement

**Classification par l'Union Européenne :** L'indéno[1,2,3-c,d]pyrène n'a pas fait l'objet d'un examen par l'Union Européenne.

#### Études chez l'homme

Il n'existe pas de donnée spécifique à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène disponible chez l'homme.

#### Études chez l'animal

Il n'existe pas de donnée spécifique à l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène disponible chez l'animal.

## 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

A notre connaissance aucun des différents organismes (ATSDR, US EPA, OMS) n'a publié de valeurs toxicologiques de référence. En revanche, il est possible d'utiliser sous certaines conditions les valeurs toxicologiques de référence du benzo(a)pyrène en tenant compte des facteurs d'équivalence toxicologique.

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

Non déterminées.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 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
Indeno[1,2,3-c,d] pyrène	RIVM	Orale	CR <sub>oral</sub> = 5.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j	2001
		Inhalation	ERU <sub>i</sub> = 1,1.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	2002
	OEHHA	Orale	ERU <sub>o</sub> = 1,2 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	2002

### Justification scientifique des valeurs toxicologiques de référence

Le RIVM propose un CR<sub>oral</sub> de 5.10<sup>-3</sup> mg/kg/j pour une exposition par voie orale (Baars *et al.*, 2001).

Cette concentration correspond à un excès de risque cancérigène de 1:10<sup>4</sup> 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 les reins. Les auteurs ont conclu à un excès de risque cancérigène de 1:10<sup>4</sup> pour une exposition vie entière à 0,5 µg benzo[a]pyrène/kg/j. Le RIVM considère une valeur de 0,1 pour le potentiel cancérigène relatif de l'indeno[1,2,3-c,d] pyrène par rapport au B[a]P. Le CR<sub>oral</sub> pour cette substance est donc de 5.10<sup>-3</sup> mg/kg/j.

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

L'OEHHA propose un ERU<sub>i</sub> de 1,1.10<sup>-4</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> pour une exposition par inhalation et un ERU<sub>o</sub> de 1,2 (mg/kg/j)<sup>-1</sup> pour une exposition par voie orale (2002).

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

Ces valeurs dérivent des excès de risques unitaires du benzo[a]pyrène, qui sont de  $1,1.10^{-3}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup> pour la voie respiratoire et de  $12$  ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{j}$ )<sup>-1</sup> par voie orale (voir fiche du B[a]P), sachant que l'indeno[1,2,3-c,d] pyrène 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 aiguë ne sont pas fournis. Lorsque l'écotoxicité chronique n'est pas suffisamment connue, les résultats d'écotoxicité aiguë 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 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Référence
Algues	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	CE <sub>50</sub> (72 h)	5,75	Vindimian, 2000
Micro-crustacés	<i>Daphnia magna</i>	CE <sub>50</sub> (48 h)	>357 <sup>1</sup>	Vindimian, 2000
Poissons				
Organismes benthiques				

Il n'existe pas d'autres résultats d'essais valides.

#### 4.1.2 Organismes terrestres

Il n'existe pas de résultats d'essai valides sur organismes terrestres.

### 4.2 Paramètres d'écotoxicité chronique

#### 4.2.1 Organismes aquatiques

	Espèce	Critère d'effet	Valeur ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Référence
Algues	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	CE <sub>10</sub> (72 h)	1,5	Vindimian, 2000

<sup>1</sup> Aucun effet n'a été observé à la limite de solubilité de 357  $\mu\text{g}/\text{l}$  dans le milieu d'essai.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

Micro-crustacés	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	CE <sub>10</sub> ( 7 j)	0,27	Vindimian, 2000
Poissons				
Organismes benthiques				

## 4.2.2 Organismes terrestres

Il n'existe pas de résultats d'essais valides sur organismes terrestres.

## 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 européenne 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.

Non concerné

### 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 : Non concerné

### 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".

- 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.



# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

Pour le total des quatre 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 le total des quatre substances suivantes : 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

France :

- Décret n°2002-213 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.

Non concerné

- Décret n° 2003-1085 du 12 novembre 2003 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.

Non concerné

UE :

- Directive 1999/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant (CE, 1999).

Non concerné

- Directive 2000/69/CE du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant (CE, 2000).

Non concerné

- Directive 2002/3/CE du Conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant.

Non concerné

- Directive 2004/107/CE du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques dans l'air ambiant (CE, 2004).

Non concerné

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

**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	Non Disponible
Urine	Non Disponible
Cheveux	Non Disponible
Placenta	Non Disponible

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

Il n'existe pas de résultats d'essais vis à vis des poissons. Il n'est en conséquence pas possible de dériver une PNEC pour le compartiment aquatique. De façon provisoire, il est possible d'utiliser un facteur de 100 pour extrapoler une PNEC à partir du résultat sur Ceriodaphnia. D'où :

$$PNEC_{EAUPROVISOIRE} = 2,7 \text{ ng/L}$$

Il n'existe pas de résultats d'essais sur organismes benthiques ou terrestres.

Compte tenu du fait qu'il n'existe qu'une PNEC eau provisoire, il n'est pas souhaitable d'utiliser la méthode du coefficient de partage.

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

### 6.1 FAMILLES DE SUBSTANCES

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 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 chlorée, 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.

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 C<sub>18</sub>, 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,

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

- 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 iso cinétique (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.

### 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<sub>18</sub>, 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,

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

- 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 ( $4 \pm 2$  °C). Pour la recherche de HAP peu volatils, tel que l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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) ;
- 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 C<sub>18</sub>, 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,

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

- 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 présente 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 l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène. Elle décrit le prélèvement des phases gazeuse et particulaire de manière séparée puis leur analyse simultanée. Elle s'applique à l'étude de volume important d'échantillon (100 à 250 L/min) et permet d'atteindre des limites de détection de l'ordre de 0,5 ng/m<sup>3</sup> pour un volume de prélèvement de 350 m<sup>3</sup>. 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 retenu sur des filtres et la phase gazeuse piégée sur des supports solides. Le filtre et 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 effectuée 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 coélution de l'acénaphène méthylique avec le fluorène) ou les HAP hétéroatomiques (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.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

**B/ US EPA Method TO-13A (janvier 1999) - Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in ambient air using gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).**

## Domaine d'application

Cette méthode spécifie les procédures de prélèvement, d'extraction et d'analyse permettant de déterminer la concentration, dans l'air ambiant, de 19 HAP, dont l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène. Elle décrit le prélèvement des phases gazeuse et particulaire de manière séparée puis leur analyse simultanée. L'utilisation de technique de prélèvement de grand volume (0,22 m<sup>3</sup>/min) est préconisée. Classiquement, le volume et la durée de prélèvement sont respectivement de 300 m<sup>3</sup> en 24 heures.

## Principe

Un échantillon d'air est directement prélevé à l'aide d'une pompe, la phase particulaire étant retenu sur un filtre et la phase gazeuse piégée sur un support solide (cartouche en mousse de polyuréthane). Le filtre et la cartouche d'adsorbant sont extraits simultanément dans un extracteur de type Soxhlet. Après reconcentration et purification sur micro-colonne de gel de silice, l'extrait est à nouveau reconcentré puis analysé par CPG/SM. Le dosage est effectuée par étalonnage interne (utilisation de HAP deutériés comme étalons internes). 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 pouvant rendre nécessaire la purification supplémentaire de l'extrait). 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.

**C/ 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>.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## Principe

L'atmosphère à étudier est prélevée 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.

**D/ 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 l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène émis par les sources canalisées. Elle s'applique aux effluents gazeux plus ou moins chargés en poussières et en goudrons et peut être employée pour des niveaux de concentrations supérieurs à 0,1 µg/m<sup>3</sup>.

## 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.

**E/ 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 l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène est de 50 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,



# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

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).

**F/ 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 norme s'applique à l'analyse de 15 HAP, dont l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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 toute autre matière organique 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.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

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.

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.

**G/ 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 norme s'applique à l'analyse de 6 HAP, dont l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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 ou atténuant la fluorescence 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.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

H/ 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 norme s'applique à l'analyse de 6 HAP, dont l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, dans les eaux potables minérales ou du robinet et dans les eaux brutes souterraines ou de surface, à des niveaux de concentration 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 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.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

I/ 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 l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, dans les eaux de rejet municipales ou industrielles. Pour l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, le rendement de la méthode est de l'ordre de 54 %, la limite de détection est de 43 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.

J/ US EPA method 8100 (septembre 1986) - Polynuclear aromatic hydrocarbons.

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à l'analyse de 24 HAP, dont l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

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.

**K/ 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 l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

**L/ 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.**

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à la détermination des 16 HAP de la liste US EPA, dont l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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 concentrations 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.

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

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à la détermination des 16 HAP de la liste US EPA, dont l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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 1 mg/kg.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 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.

**N/ 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 l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène, 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.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

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

## 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, I	L, M, N
Extraction	A, B, C, D	E, F, G, H, I	L, M, N, O
Dosage	A, B, C, D	E, F, G, H, I, J, K	J, K, L, M, N, O



# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

## 7. BIBLIOGRAPHIE

ATSDR (1995) - Toxicological Profiles for PAH's. 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 European Commission. Luxemburg.

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

CE (1999). Directive 99/30/CE du Conseil du 22 avril 1999. Bruxelles, Belgique, Communauté européenne.

CE (2000). Directive 00/69/CE du Conseil du 16 novembre 2000. Bruxelles, Belgique, Communauté européenne.

CE (2004). Directive 04/107/CE du Conseil du 15 décembre 2004. Bruxelles, Belgique, Communauté européenne.

Deutsch-Wenzel R., Brune H., Grimmer G., Dettbarn G. and Misfeld J. (1983) - Experimental studies in rat lungs on the carcinogenicity and dose-response relationships of eight frequently occurring environmental polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Natl Cancer Inst*, 71, 3, 539-544.

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.

Hoffmann D. and Wynder E.L. (1966) - Beitrag zur carcinogenen Wirkung von Dibenzopyrenen. *Z Krebsforsch*, 68, 137.

HSDB (2000) - Indéno[1,2,3cd]pyrene. Hazardous Substances Data Bank, National Library of Medicine. <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>.

IARC (1973) - Certain polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic compounds. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Human. Lyon, France, IARC, vol 3, p 229.

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

IARC (1983) - Polynuclear aromatic compounds. Part 1: Chemical, environmental and experimental data. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Lyon, France, IARC, vol 32.

JOCE (2001). "Commission Directive 2001/59 /EC, 28<sup>th</sup> time Council directive 67/548EEC." Official Journal of the European Communities.

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.

Lacassagne A., Buu-Hoi N.P., Zajdela F., Lavit-Lamy D. and Chalvet O. (1963) - Activité cancérogène d'hydrocarbures aromatiques polycycliques à noyau fluoranthène. *Int Cancer Acta*, **19**, 490.

LaVoie E.J., Braley D.T., Rice J.E. and Rivenson A. (1987) - Tumorigenic activity for non-alternant polynuclear aromatic hydrocarbons in newborn mice. *Cancer Lett*, **34**, 15-20.

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.

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/fullist.htm>.

Prager J.C. (1995) - Indeno[1,2,3-cd]pyrene. Environmental contaminant Reference Databook. Van Nostrand Reinhold, vol 1, pp. 759-760.

Rahman A., Barrowman J.A. and Rahimtula A. (1986) - The influence of bile on the bioavailability of polynuclear aromatic hydrocarbons from the rat intestine. *Can J Physiol Pharmacol*, **64**, 9, 1214-1218.

Rice J.E., Coleman D.T., Hosted T.J., LaVoie E.J., McCaustland D.J. and Wiley J.C. (1985) - On the metabolism, mutagenicity and tumor-initiating activity of indeno[1,2,3-cd]pyrene. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons: Mechanism, Methods and Metabolism. Columbus, Batelle Press. M. Cooke and A. J. Dennis, pp. 1097-1109.

Rice J.E., Hosted T.J., DeFloria M.C., LaVoie E.J., Fischer D.L. and Wiley J.C. (1986) - Tumor-initiating activity of major *in vivo* metabolites of indeno[1,2,3-c,d]pyrene on mouse skin. *Carcinogenesis*, **7**, 10, 1761-1764.

STF (1991) - Soil Transport and Fate Database and Model Management System: Indeno[1,2,3-cd]pyrene. Environmental Systems and Technologies, Blacksburg (USA).

# INDENO[1,2,3, c, d]PYRÈNE

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.

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

US EPA (1996) - Soil Screening Guidance: technical background document. US Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response. Washington. 9355.4-17A.  
<http://www.epa.gov/epahome/search.html>.

US EPA (IRIS) (1994) - Indeno[1,2,3-cd]pyrene - Carcinogenicity Assessment. U.S. Environmental Protection Agency - Integrated Risk Information System - Carcinogenicity Assessment for lifetime exposure. <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/>.

Veerkamp W. and ten Berge W.F. (1994) - The concepts of HESP. Reference manual. Human exposure to soil pollutants. Version 2.10a. The Hague, Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V., pp. 1-66.

Verschueren K. (1996) - Indeno[1,2,3 cd]pyrene. Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. New York, Van Nostrand Reinhold Co, 3<sup>rd</sup> Ed.

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.