



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Evaluation du risque sanitaire de la marée noire consécutive au naufrage de l'ERIKA

DOSSIER ERIKA

Rapport 6
VERSION MODIFIEE

Céline BOUDET, Frédérique CHEMIN, Frédéric BOIS

AVRIL 2000

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi au vu des informations fournies à l'INERIS et compte tenu des connaissances techniques et scientifiques connues à ce jour.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

L'INERIS ne peut être tenu pour responsable des décisions prises en application de ses propositions ou des conséquences engendrées par le non-respect ou l'interprétation erronée de ses recommandations.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent document intégralement ou de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

ERRATUM

Cette version corrige par rapport à la précédente version une erreur de calcul dans le chapitre 7 concernant le niveau de risque individuel (p 35 et 36). Le scénario de risque employé était de type « pire cas », très conservatif et aboutissait, du fait du calcul erroné, à un niveau de risque négligeable. Après rectification du calcul cette approche n'était plus suffisante et une démarche probabiliste a été utilisée.

Celle-ci étend, dans un souci d'homogénéité, la démarche d'évaluation probabiliste du risque utilisée au chapitre 6 pour le calcul des doses absorbées (par simulations du type Monte-Carlo) au calcul du risque cancérogène lié à la dose interne absorbée par voie cutanée.

Cette approche plus pertinente conduit à un niveau de risque négligeable. Les conclusions de notre premier rapport, quant au niveau de risque, sont donc inchangées.

TABLE DES MATIERES

1. RÉSUMÉ	4
2. ACRONYMES	6
3. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE ENCOURU PAR LES TRAVAILLEURS PROFESSIONNELS EXPOSÉS AUX HAP VIA LE KARCHER : RISQUES SYSTÉMIQUE ET CANCÉROGÈNE PAR INHALATION	7
Identification du danger et relations doses-reponses	7
Evaluation de l'exposition aux HAP par inhalation	9
Caractérisation du risque	11
Conclusion.....	16
4. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE ENCOURU PAR LES TRAVAILLEURS EXPOSÉS AUX COV VIA LE RAMASSAGE DE PRODUIT ET LE NETTOYAGE D'OISEAUX : RISQUES SYSTEMIQUE ET CANCEROGENE PAR INHALATION	17
Identification du danger et relations doses-réponses	17
Evaluation de l'exposition aux COV par inhalation.....	18
Caractérisation du risque	19
Conclusion.....	21
5. RISQUE SANITAIRE LIÉ A L'INHALATION DU NAPHTALÈNE PAR L'ENSEMBLE DES TRAVAILLEURS, LES NETTOYEURS DE VÊTEMENTS ET D'OUTILS, LES NETTOYEURS DE ROCHERS ET D'OISEAUX ET LES RAMASSEURS DU PRODUIT	22
Identification du danger et relations dose-reponse	22
Evaluation de l'exposition au naphtalene par inhalation	23
Caractérisation du risque systémique.....	23
Conclusion.....	24
6. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE AU CONTACT CUTANÉ ..	25
Scénarios d'exposition.....	25
Calcul de la quantité de composés toxiques en équivalent BaP, contenue dans le produit	26
Méthode de calcul de la dose reçue	29
Dose reçue en fonction des différents scénarios d'exposition	30

Conclusion.....	32
7. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIÉ À LA DOSE INTERNE DE HAP APRÈS CONTACT CUTANÉ.....	34
7.1 Scénarios d'exposition.....	34
7.2 Détermination de la dose interne pour le risque cancerogene	34
7.3 Caractérisation du risque de cancer.....	35
7.4 Caractérisation du risque pour la reproduction lie a la dose interne de BaP	36
8. REFERENCE.....	38
9. LISTE DES ANNEXES.....	39

1. RESUME

Une évaluation du risque sanitaire chronique lié à l'inhalation d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et de Composés Organiques Volatils (COV) suite à la marée noire relative au naufrage du ERIKA a été conduite. Cette évaluation reste semi-quantitative car elle ne comporte pas d'analyse des incertitudes, mais elle est basée sur des hypothèses raisonnablement maximisantes. Les populations considérées sont les travailleurs professionnels sur les sites, et plus particulièrement les postes suivant : décontamination au Karcher (travailleurs, opérateurs et nettoyeurs de rochers), ramassage du produit et nettoyage des oiseaux. Les émissions sont fournies par des prélèvements sur site et des analyses de HAP et COV (parties 4 et 5 du dossier ERIKA). Différents scénarios d'exposition sont proposés, selon les produits étudiés et les populations concernées.

Les risques systémique et cancérigène liés à l'inhalation des HAP via l'utilisation du Karcher par les populations de travailleurs étudiés, compte tenu des scénarios d'exposition raisonnablement maximisants, peuvent être – en l'état actuel des connaissances et dans le cadre spécifique de la marée noire consécutive au naufrage du ERIKA - considérés comme négligeables. Toutefois, le scénario de nettoyeurs de rochers au Karcher, virtuel sur le site de mesure, au moment des mesures, montre des ERI moins négligeables que les autres scénarios pris en compte : nous recommandons que l'éventuelle utilisation du Karcher pour le nettoyage des rochers soit bien délimitée dans le temps, avec les mesures de protection individuelle nécessaires.

Les risques systémique et cancérigène liés à l'inhalation des COV via le ramassage du produit et le nettoyage des oiseaux par les populations de travailleurs étudiés, compte tenu des scénarios d'exposition établis, peuvent être – en l'état actuel des connaissances et dans le cadre spécifique de la marée noire consécutive au naufrage du ERIKA - considérés comme négligeables.

Le risque lié au naphthalène, considéré comme un bon traceur du risque systémique par inhalation des HAP, selon les scénarios d'exposition maximisants pris en compte et les populations étudiées, en l'état actuel des connaissances et dans le cadre spécifique de la marée noire consécutive au naufrage du ERIKA, est également négligeable.

Ces résultats ne préjugent pas d'éventuels effets systémiques aigus lié à l'exposition aux HAP ou aux COV. La démarche d'évaluation du risque sanitaire développée ici n'est pas adaptée à ce type d'analyse : elle n'est applicable que dans le cadre d'une situation d'exposition chronique à des toxiques systémiques.

Une évaluation du risque sanitaire chronique lié à l'exposition aux HAP par contact cutané a également été réalisée sur la base des analyses faites sur deux prélèvements de rejet sur la plage et la falaise de La Baule et sur la base des résultats d'analyse du rapport TOTAL. La dose reçue par la peau peut être estimée en moyenne à 90 µg/jour pour les personnes ayant travaillé avec des gants, et à 2500 µg/jour pour des personnes ayant travaillé sans gants au nettoyage des oiseaux. L'absence de relation dose-réponse dans les publications consultées ne permet cependant pas de quantifier les conséquences de l'exposition en terme de cancer cutané ou de développement d'autres tumeurs. Cette étude souligne, cependant, une exposition non négligeable et ne permet pas d'affirmer que le risque correspondant est négligeable.

En conséquence, il est nécessaire de renouveler les recommandations faites pour les personnes exposées et d'insister sur le port indispensable de gants et le lavage immédiat de toute partie du visage (ou des mains) sur laquelle il y aurait des traces de produit.

Une attention particulière doit être portée au respect de ces recommandations pour les personnes réalisant le nettoyage des oiseaux, pour lesquelles les recommandations étaient de ne pas porter de gants (Projet ERIKA, partie 2).

Le risque cancérigène lié à la dose interne induite par le contact cutané avec les HAP contenus dans le produit est négligeable compte tenu des scénarios décrits.

Le risque sanitaire, pour la reproduction, lié à la dose interne de BaP induite par le contact cutané, peut être considéré comme non négligeable. En conséquence, nous recommandons que les femmes enceintes ne participent pas à la manipulation des rejets.

2. ACRONYMES

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

DMENO : Dose Minimale pour laquelle un Effet Nocif est Observé (en anglais : Lowest Observed Adverse Effect Level - LOAEL)

DSENO : Dose sans Effet Nocif Observé (en anglais : No Observed Adversed Effect Level - NOAEL) ; dose la plus basse n'ayant pas entraîné d'effet observable chez l'espèce la plus sensible

DJE : dose journalière d'exposition (en mg/kg/j ou µg/kg/j)

EPA : Environmental Protection Agency – Agence nationale de protection de l'environnement, Etats-Unis

ERC : Excès de risque collectif : appelé aussi “ impact ”, il représente une estimation du nombre de cancers en excès, liés à l'exposition étudiés, qui devraient survenir au cours de la vie d'un groupe d'individus

ERI : Excès de risque individuel : probabilité que la cible a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée

ERU : Excès de risque unitaire – Exemple : $RU_{inh} \text{ benzène} = 6.10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$: ce chiffre signifie qu'une exposition de un million de personnes pendant une vie entière (70 ans) 24 h sur 24 à la concentration de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène est susceptible d'induire un excès de décès par leucémies de 6 cas

IPCS : International Programme on Chemical Safety

IR : Indice de Risque, utilisé pour caractériser le risque lié aux toxiques systémiques. Il correspond à la dose (ou concentration) journalière divisée par la dose (ou concentration) de référence

IRIS : Integrated Risk Information System, base de données toxicologiques de l'EPA (<http://www.epa.gov/ngispgm3/iris>)

ITER : International Toxicity Estimates for Risk (featuring EPA, Health Canada, ATSDR), base de données toxicologiques TERA (Toxicology Excellence for Risk Assessment : <http://www.tera.org/ITER>)

MATE : Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire

OMS : Organisation Mondiale de la Santé (en anglais : World Health Organization - WHO)

RfC : Concentration de référence, exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, telle que définie par l'EPA : NOAEL ou LOAEL divisé par les facteurs de sécurité

RfD : Dose de référence, exprimée en mg/kg.j, telle que définie par l'EPA : NOAEL ou LOAEL divisé par les facteurs de sécurité

RIVM : Institut national de la santé publique et de la protection de l'environnement, Pays Bas

3. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE EN COURU PAR LES TRAVAILLEURS PROFESSIONNELS EXPOSES AUX HAP VIA LE KARCHER : RISQUES SYSTEMIQUE ET CANCEROGENE PAR INHALATION

Cette évaluation du risque chronique s'appuie tout d'abord sur les données de la partie 5 du projet ERIKA, c'est à dire les mesures de HAP relatives à l'utilisation du Karcher par les travailleurs professionnels sur les plages. Les données relatives à la toxicité des HAP (partie 3 du projet ERIKA) sont ensuite utilisées. Il est fait référence, tout au long de ce rapport, aux parties sus - mentionnées : elles ne sont pas développées de nouveau dans le présent document.

Cette évaluation va se dérouler selon la démarche classique d'évaluation du risque sanitaire :

- Identification du danger et relations doses - réponses
- Evaluation de l'exposition par inhalation
- Caractérisation du risque

IDENTIFICATION DU DANGER ET RELATIONS DOSES-REPONSES

Le danger spécifiquement étudié dans cette partie est lié à la toxicité des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) mesurés par l'INERIS le 17/02/2000 sur le site situé entre Le Croisic et La Baule [ERIKA partie 5]. Ces mesures ont été faites sur le poste de "décontamination" où peut être utilisé d'une part, un Karcher sans Ketrul 211 (Essai 1) et d'autre part, un Karcher avec Ketrul (Essai 2). Les tableaux récapitulatifs de ces 2 mesures de HAP se trouvent en annexe A : ils fournissent les concentrations d'émission en ng/m³ (pour le protocole de mesure et d'analyses, se reporter à la partie 5). Ces données sont les seules disponibles à ce jour pour ce poste spécifique. Il faut insister sur le fait que le naphthalène et le phénanthrène sont des composés hautement volatils qui se retrouvent dans les blancs de laboratoire : les concentrations disponibles en annexe A sont donc maximisantes (partie 5 de l'ERIKA). Dans la suite de l'évaluation, les risques liés à l'inhalation des concentrations en HAP des 2 essais seront caractérisés en parallèle.

L'étude de la toxicité des substances identifiées doit se baser sur le principe de transparence. Différentes bases de données toxicologiques existent [IRIS, 1990, 1998 ; ATSDR, 1998 ; ITER, 1998]. Les bases les plus complètes sont américaines. Elles permettent d'identifier des valeurs de référence utilisables pour quantifier le risque auquel est soumise la population générale dans l'environnement (au sens global du terme). Ces bases ne sont pas les seules sources d'informations. L'OMS produit des valeurs guides en fonction d'un temps particulier d'exposition [revised WHO quality guidelines for Europe, avril 1997]. En France, le Conseil d'Hygiène Publique (CSHPF) [1996] donne des valeurs de référence pour les polluants visés par la directive 96/62/CE du Conseil du 27 septembre 1996. Des valeurs réglementaires peuvent être utilisées (UE, MATE) [JO, 1998] ; toutefois, elles ne sont pas une fin en soi. Elles sont un minimum à respecter. Elles sont définies généralement à travers des négociations, à partir de données physico-chimiques, mais très rarement en fonction de données toxicologiques visant la santé publique. Enfin, une revue de la littérature est parfois nécessaire. L'absence de connaissances toxicologiques sur une substance particulière, à un moment donné, peut être un critère de choix des polluants dits "traceurs" (au même titre que la connaissance et la quantité des émissions et que l'importance de la toxicité lorsqu'elle est connue).

La toxicité par inhalation des HAP est moyennement bien décrite. D'une part, on constate des effets systémiques de certaines substances, pour lesquelles des valeurs toxicologiques de référence (VTR) sont établies (sources : ATSDR et EPA, cf. Annexe B). Contrairement aux cancérigènes, ce type de substances a un seuil d'effet : c'est un phénomène déterministe, par opposition à un phénomène probabiliste. L'EPA exprime ce mécanisme par une dose (RfD) ou une concentration (RfC) de référence (respectivement pour l'ingestion ou l'inhalation). Ces doses de référence sont déterminées à partir des Doses Sans Effet Nocif Observé (DSENO ou NOAEL en anglais) ou des Doses Minimales induisant un Effet Nocif Observé (DMENO ou LOAEL en anglais), divisées par des facteurs de sécurité (ex : un facteur 10 pour passer de l'animal à l'homme etc.).

Seul le naphthalène est caractérisé par une concentration de référence, exprimée en mg/m³. Les autres substances pour lesquelles une VTR existe sont caractérisées par une dose de référence, exprimée en mg/kg/j : la voie de contamination par ingestion semble prépondérante. L'annexe B donne l'ensemble des valeurs de référence et les effets associés, selon les voies et durées d'exposition, pour l'ensemble des HAP selon l'ATSDR et l'IRIS-EPA.

D'autre part, une grande partie des HAP est considérée comme cancérigène (Annexe C). La toxicité du Benzo(a)Pyrène (BaP) est bien décrite : c'est un cancérigène classé B2 par l'EPA et 2A par l'IARC (probablement cancérigène). L'EPA considère, pour tout composé cancérigène, que la relation entre l'exposition et l'apparition de l'effet est sans seuil : c'est un phénomène probabiliste. Elle exprime ce mécanisme par un excès de risque unitaire (ERU). Un Risque Unitaire (RU) via l'inhalation a été défini par l'OMS en 1996 ($RU_i = 8.7.10^{-5} \text{ (ng/m}^3\text{)}^{-1}$ vie entière).

Les HAP, par définition, sont un mélange de substances appartenant à une même famille chimique. Des relations dose - réponse peuvent alors être définies par l'usage de Facteurs d'Equivalence Toxique (FET). Le concept de FET [Nisbet et al., 1992] est fondé sur les hypothèses que l'organe cible et l'activité toxique sont identiques pour chaque molécule apparentée et qu'il n'y a pas d'interactions entre elles : il est donc possible d'additionner le risque cancérigène lié à une co - exposition. Les facteurs d'équivalence toxique permettent donc de quantifier le pouvoir cancérigène des membres d'un même groupe chimique, en fonction d'une substance de référence (le BaP pour les HAP), quand les études toxicologiques n'ont pas fourni de données spécifiques à chacun d'eux. La concentration totale de HAP, obtenue à partir des FET et des concentrations respectives en chaque composant, sera exprimée en équivalent Benzo(a)Pyrène : c'est elle qui sera comparée au RU disponible pour le BaP. Selon l'InVS, " la confiance que l'on peut accorder aux FET n'est pas totale ; ils ont néanmoins le mérite d'éviter l'exclusion de composés cancérigènes des calculs de risque alors que leur présence dans l'environnement humain étudié est attestée par les analyses de laboratoire " [Guide pour l'analyse du volet sanitaire de l'étude d'impact, 2000].

EVALUATION DE L'EXPOSITION AUX HAP PAR INHALATION

Cette partie consiste, d'une part à caractériser les populations exposées et d'autre part, de calculer les concentrations d'exposition ; cela passe par la rédaction de scénarios d'exposition. Nous travaillons ici exclusivement sur les travailleurs professionnels et le risque inhalation lié au Karcher (avec ou sans Ketrul : essais 1 et 2, cf Annexe A). Pour chaque essai (avec ou sans Ketrul), 3 scénarios d'exposition peuvent être définis :

- Scénario 1 : il concerne l'ensemble des travailleurs sur site, susceptibles de passer au Karcher 5 minutes, deux fois par jour, pour le nettoyage des vêtements. Ils sont donc exposés 10 minutes maximum par jour aux concentrations mesurées. On considère que le temps total d'exposition est de 2 mois (7j/7, depuis la marée noire).
- Scénario 2 : il concerne les opérateurs, c'est à dire ceux qui manipulent le Karcher. Le temps maximum de manipulation dans la journée est d'une heure. Comme précédemment, on considère que le temps total d'exposition est de 2 mois (7j/7, depuis la marée noire).
- Scénario 3 : il s'agit d'un scénario " virtuel " sur le site de mesure considéré. En effet, il porte sur les nettoyeurs des rochers qui, sur le site et au moment où les mesures ont été faites, n'utilisent pas de Karcher pour ce travail mais une lance à impact. Cette dernière produit des grosses gouttelettes, susceptibles d'être ingérées mais pas inhalées. Toutefois, sur d'autres sites, l'utilisation du Karcher (avec ou sans Ketrul) n'est pas à exclure ; de plus, sur le site de mesure, cette option a été considérée pour le futur. La population concernée ici est donc celle des nettoyeurs, exposés 8 heures par jour, pendant au maximum 10 jours. Nous avons considéré un scénario conventionnel de 8 heures de travail par jour, sachant qu'il est majorant dans le contexte précis car le temps de travail n'excède pas 4 ou 6 heures par jour (en fonction des marées).

De manière générale, nous ne considérons ici qu'une population adulte (travailleurs professionnels, en poste 7j/7), d'un poids de 70 kg et respirant 20 m³ d'air par jour (convention EPA). Les enfants (ou autres populations sensibles) ne sont donc pas pris en compte dans cette évaluation. Enfin, on considère que les mesures Essai 1 et Essai 2 peuvent concerner chaque scénario d'exposition.

L'étape suivante est la détermination de la quantité de polluant administrée, exprimée en dose journalière d'exposition (mg/kg/j), pouvant se définir de la façon suivante :

$$DJE_{ij} = C_i * Q_j * T * F / P * T_m$$

Avec :

DJE_{ij} : dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie d'exposition j (en mg/kg/j)

C_i : concentration d'exposition relative au milieu i

Q_j : quantité du milieu administrée par la voie j par jour

T : durée d'exposition (années)

F : fréquence d'exposition (jours/an)

P : poids corporel de la cible (kg)

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Pour la voie respiratoire, la dose d'exposition est généralement remplacée par la concentration inhalée. Lorsque l'on considère des expositions chroniques, on s'intéresse à la concentration moyenne inhalée par jour, retranscrite par la formule suivante :

$$CI = [\sum(C_i * t_i)] * (T * F) / T_m$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée (mg/m³ ou µg/m³)

C_i : concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t_i

t_i : fraction de temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée

On retiendra l'hypothèse d'une homogénéité des concentrations dans le temps d'exposition t_i.

Le tableau 1 regroupe l'ensemble des paramètres décrits ci-dessus, pour chaque essai (Essai 1 : sans Ketrul, Essai 2 : avec Ketrul) et chaque scénario (1, 2 et 3).

TABLEAU 1

	Essai 1			Essai 2		
Scénario	1	2	3	1	2	3
Ci (ng/m ³)	Tableau 1, Annexe 1			Tableau 2, Annexe 1		
ti (SU)	0.007	0.04	0.33	0.007	0.04	0.33
F (j/an)	60	60	10	60	60	10
T (ans)	0.17	0.17	0.03	0.17	0.17	0.03
Tm (jours)	60	60	10	60	60	10

CARACTERISATION DU RISQUE

3.1.1 Risque systémique

La caractérisation du risque pour les toxiques systémiques (effets avec seuil) s'exprime par un indice de risque (IR). Lorsque le risque est lié à une exposition via l'inhalation, l'IR est déterminé par la formule suivante :

$$IR = CI / CJT$$

Avec CI : concentration inhalée

CJT : concentration journalière tolérable (au sens concentration de référence)

Lorsque l'IR est inférieur à 1, le risque est considéré comme négligeable.

Les DJE et les CI ont été déterminées pour chaque substance. Toutefois, les valeurs de référence toxicologique ne sont pas disponibles pour chacune d'entre elles.

Le tableau 2 suivant donne les CI (ng/m³) pour les substances dont les valeurs de référence liées aux effets systémiques sont connues (ce qui permettra le calcul de l'IR). Les concentrations d'exposition sont données pour chaque essai, pris indépendamment l'un de l'autre, et chaque scénario.

TABLEAU 2

CI (ng/m ³)	Essai 1			Essai 2		
	1	2	3	1	2	3
Scénario						
Naphtalène	0.74	4.22	6.15	0.81	4.62	6.73
Acénaphène	1.03	5.91	8.61	0.94	5.37	7.82
Fluorène	0.06	0.33	0.48	0.11	0.63	0.92
Anthracène	0.02	0.10	0.15	0.11	0.63	0.92
Fluoranthène	0.08	0.44	0.64	0.32	1.82	2.65
Pyrène	0.005	0.03	0.04	0.23	1.34	1.95

Le tableau 3 suivant, résume les concentrations de référence disponibles (et les effets associés). A l'exception du naphtalène, pour lequel une concentration de référence existe, seules les doses des référence (mg/kg/j) sont disponibles pour les autres substances. Pour comparaison, elles sont converties en mg/m³ en utilisant le poids corporel (70 kg) et l'air inhalé (20m³/j). Toutefois, l'effet associé reste bien un effet lié à l'ingestion et pas à l'inhalation.

TABLEAU 3

Valeurs de référence (mg/m ³)	ATSDR	EPA	Effets (EPA)
Naphtalène	0.009	0.003	Nasal
Acénaphène*	2.1	0.21	Hépatotoxique
Fluorène*	1.4	0.14	Hématotoxique
Anthracène*	35	1.05	
Fluoranthène*	1.4	0.14	Néphropathie
Pyrène*	ND	0.105	Néphropathie

*doses de référence converties en mg/m³

Les IR pour la voie d'exposition par inhalation sont donc tous très faibles (<1), quel que soit l'essai ou le scénario considéré. **L'IR maximum est obtenu pour le naphtalène, avec les résultats de l'essai 2 et le scénario 3 : il est compris entre 0.0007 (ATSDR) et 0.002 (EPA). Le naphtalène constitue un bon traceur du risque systémique par inhalation des HAP étudiés dans ce cas précis, puisqu'il fait partie des composés majoritaires mesurés dans les analyses et que c'est le seul composant pour lequel une concentration de référence, et donc un effet spécifique par inhalation (atteintes du système nasal), est déterminé.** Attention toutefois : les concentrations en naphtalène de l'annexe A sont maximisantes (c'est un produit très volatil, voir partie 5 du dossier ERIKA).

Les effets systémiques des autres composants sont différents, sauf pour le fluoranthène et le pyrène : à part pour ces deux derniers, on ne peut donc pas additionner les indices de risque ; il faut les considérer séparément. D'une façon ou d'une autre, les IR sont très inférieurs à 1.

En l'état actuel des connaissances, le risque systémique lié à l'inhalation des substances étudiées (mesurées sur site et pour lesquelles des valeurs de référence sont disponibles) via l'utilisation du Kärcher, par les travailleurs professionnels du site et sur les scénarios considérés, est négligeable.

3.1.2 Risque cancérigène

La caractérisation du risque lié à une exposition à des cancérigènes (effets sans seuil) s'exprime par un excès de risque individuel (ERI). Un ERI, c'est la probabilité que la cible a de développer l'effet associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Lorsque le risque est lié à une exposition via l'inhalation, l'ERI s'exprime de la façon suivante :

$$\text{ERI} = \text{CI} * \text{ERUinh}$$

Avec CI : concentration inhalée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ERUinh : excès de risque unitaire par inhalation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹

Le calcul de CI reste le même pour les cancérigènes (tableau 1), à l'exception de Tm, qui, par convention est assimilée à la durée de vie entière ($T_m = T * 365 = 70 \text{ ans} * 365 \text{ jours}$).

Dans le cadre des HAP, la première étape est de calculer la concentration totale Ci, exprimée en équivalent BaP, en utilisant les FET. Le tableau 4 suivant donne les résultats de ces calculs.

TABLEAU 4

Substance	TEF [Nisbet, 1992*]	Equivalent BaP – Essai 1	Equivalent BaP – Essai 2
Naphtalène	0.001	0.62	0.68
Acénaphthène	0.001	0.87	0.79
Fluorène	0.001	0.05	0.09
Phénanthrène	0.001	0.49	0.64
Anthracène	0.01	0.15	0.93
Fluoranthène	0.001	0.07	0.27
Pyrène	0.001	0.004	0.20
BaA	0.1	0.69	4.51
Chrysène	0.01	0.10	0.31
BbF	0.1	0.20	0.48
BkF	0.1	0.11	0.33
BaP	1	9.4	9.5
DahA	5	10	13.5
BghiP	0.01	0.02	0.053
IN123cdP	0.1	0.41	0.53
Somme		23.2	32.8

*repris par l'EPA, 1993

Le Ci, exprimé en équivalent BaP (ng/m^3) est donc de 23.2 pour l'Essai 1 et de 32.8 pour l'essai 2. Le tableau 5 suivant donne les concentrations d'expositions (CI) exprimées à partir des Ci calculés ci-dessus.

TABLEAU 5

Scénario	Essai 1			Essai 2		
	1	2	3	1	2	3
CI (ng/m^3)	0.03	0.15	0.21	0.04	0.22	0.30

Le tableau 6 suivant donne les Excès de Risque Individuels (ERI) pour chacun des cas.

Le RU vie entière de l'OMS est de $8.7 \cdot 10^{-5} (\text{ng}/\text{m}^3)^{-1}$.

TABLEAU 6

	Essai 1			Essai 2		
Scénario	1	2	3	1	2	3
ERI	$2,6.10^{-6}$	$1,3.10^{-5}$	$1,8.10^{-5}$	$3,5.10^{-6}$	$1,9.10^{-5}$	$2,6.10^{-5}$

L'ERI du scénario 3 est moins négligeable que les autres : il s'agit d'un scénario virtuel dans le contexte précis des mesures, avec un temps de travail maximisant et des mesures maximisantes. Toutefois, nous recommandons que l'éventuelle utilisation du Karcher pour le nettoyage des rochers soit bien délimitée dans le temps, avec les mesures de protection individuelle nécessaires (voir ERIKA partie 5).

Enfin, un excès de risque collectif (ERC ou impact) peut être calculé en tenant compte de la population exposée. D'après la partie 5 du dossier ERIKA (et confirmé par le PC crise), il y a entre 800 et 1200 travailleurs sur l'ensemble des plages. Ces plages se divisent en environ 15 sites qui comportent 70 à 100 personnes. Les mesures d'HAP disponibles proviennent d'un seul site. Les 100 personnes considérées sur ce site précis se répartissent entre différentes tâches dont le ramassage, le nettoyage de rochers, le nettoyage de vêtements, la conduite d'engins et l'encadrement. On peut considérer environ 20 personnes par activité :

- Scénario 1 : on fait l'hypothèse que tous les travailleurs du site (100 personnes) sont exposés au nettoyage des vêtements à un moment donné de la journée.
- Scénario 2 : on fait l'hypothèse que les opérateurs sont au nombre de 20.
- Scénario 3 : on fait l'hypothèse que les nettoyeurs de rochers sont également au nombre de 20. Rappel : ce scénario est " virtuel " au moment des mesures sur site mais pourrait exister.

L'impact lié à l'exposition par inhalation aux HAP sur le site étudié est calculé dans le tableau 7 suivant, ; pour chaque scénario.

TABLEAU 7

	Essai 1			Essai 2		
Scénario	1	2	3	1	2	3
Impact	$2,6.10^{-5}$	$2,6.10^{-4}$	$3,6.10^{-4}$	$3,5.10^{-4}$	$3,8.10^{-4}$	$5,2.10^{-4}$

Si l'on extrapole les résultats du scénario 1 à l'ensemble des travailleurs (1200 au maximum), le nombre de cancers en excès, lié à l'exposition par inhalation aux HAP étudiés lors du nettoyage de vêtements, qui devrait survenir au cours de la vie de ce groupe d'individus varie donc de 0.0003 à 0.04. Pour l'ensemble des opérateurs maniant le Karcher (scénario 2, 20 sur 15 sites = 300 au maximum), il varie de 0.004 à 0.006. Enfin, pour l'ensemble des nettoyeurs de rochers supposés travailler tous au Karcher (scénario 3, 300 au maximum), il s'étend de 0.005 à 0.008.

CONCLUSION

Les risques systémique et cancérogène liés à l'inhalation des HAP via l'utilisation du Karcher par les populations de travailleurs étudiés ici, compte tenu des scénarios d'exposition établis, peuvent être – en l'état actuel des connaissances et dans le cadre spécifique de la marée noire consécutive au naufrage du ERIKA - considérés comme négligeables. Toutefois, le scénario de nettoyeurs de rochers au Karcher, virtuel sur le site de mesure, au moment des mesures, montre des ERI moins négligeables que les autres scénarios pris en compte : nous recommandons que l'éventuelle utilisation du Karcher pour le nettoyage des rochers soit bien délimitée dans le temps, avec les mesures de protection individuelle nécessaires.

4. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE ENCOURU PAR LES TRAVAILLEURS EXPOSES AUX COV VIA LE RAMASSAGE DE PRODUIT ET LE NETTOYAGE D'OISEAUX : RISQUES SYSTEMIQUE ET CANCEROGENE PAR INHALATION

Cette évaluation du risque se base sur les données de la partie 4 du projet ERIKA, c'est à dire la caractérisation des émissions des COV et HAP par des résidus pétroliers prélevés sur la zone de dépollution. Elle se déroule de la même façon que l'évaluation précédente.

IDENTIFICATION DU DANGER ET RELATIONS DOSES-REPNSES

Le danger spécifiquement étudié dans cette partie est lié à la toxicité de certains Composés Organiques Volatils (COV) prélevés par l'INERIS le 15/02/2000, sur les plages de la région de La Baule dans la commune du Pouliguen. Seules les données de COV en essai statique seront utilisées ici (tableau 1 de la partie 4). Les échantillons concernés sont les suivants :

- Echantillon 1 : prélevé sur la plage par les pompiers, arrivé sur place le jour même
- Echantillon 2 : prélevé sur les rochers de la plage, impossible à dater

Il est important de souligner que l'essai statique donne des concentrations caractéristiques du pire cas.

Le tableau 8 suivant résume les données de toxicité des COV mesurés, collectées dans la base de données IRIS de l'EPA, concernant le danger via l'inhalation quand les valeurs existent (RfC ou RUI) ou, à défaut, le danger via l'ingestion (RfD ou RUo).

TABLEAU 8

	Effets systémiques	RfC (ou RfD)	Effets cancérogènes	RU
Benzène	ND	ND	Classe A leucémies	$RU_i = 2,2 \cdot 10^{-6} - 7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
Toluène	Atteintes du système nerveux central	$RfC = 4 \cdot 10^{-1} \text{ mg}/\text{m}^3$	Classe D	
Ethylbenzène	Atteintes du développement	$RfC = 1 \text{ mg}/\text{m}^3$	Classe D	
Xylènes Ingestion	Atteintes du système nerveux central	$RfD = 2 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$	Classe D	
Styrène	Atteintes du système nerveux central	$RfC = 1 \text{ mg}/\text{m}^3$	ND	
1,3,5 TMB	ND			
1,2,4 TMB	ND			
1,2,3 TMB	ND			

Seul le benzène est cancérogène (classe A, leucémies) : les autres sont des toxiques systémiques, qui, à part l'éthylbenzène, agissent sur le système nerveux central (SNC). Pour les xylènes, seule une dose de référence est disponible : elle peut être convertie en mg/m^3 ($RfD = 7 \text{ mg}/\text{m}^3$). Il n'y a pas de données disponibles pour les triméthylbenzènes, dans IRIS et ATSDR : ils sont donc écartés de la suite de l'analyse.

EVALUATION DE L'EXPOSITION AUX COV PAR INHALATION

Pour chaque échantillon, on peut définir deux scénarios d'exposition :

- Scénario 1 : il concerne les ramasseurs du produit (300 au total, 20 sur chaque site : voir chapitre précédent) qui sont potentiellement exposés à ces COV 8 h/j, sur une durée d'exposition de 2 mois (maximisant).
- Scénario 2 : il concerne les nettoyeurs d'oiseaux, qui sont potentiellement exposés à ces COV 8 h/j, sur une durée d'exposition de 2 mois (maximisant). Le nombre de personnes " permanentes " concernées est de 63 (voir la partie 2 du rapport ERIKA). Il est très délicat, en l'état actuel des données, d'estimer le nombre de bénévoles.

La démarche est la même ici que pour le risque " Karcher ". On considère que les échantillons 1 et 2 peuvent concerner chaque scénario d'exposition : ils sont étudiés en parallèle.

Le tableau 9 suivant donne l'ensemble des paramètres à prendre en considération pour calculer la concentration d'exposition dans chaque scénario. Pour les détails des équations, se reporter à la page 9 du présent rapport.

TABLEAU 9

	Echantillon 1	Echantillon 2
Scénario	1 et 2	1 et 2
Ci ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
Benzène	124	96
Toluène	489	576
Ethylbenzène	934	978
Xylènes	1687	1995
Styrène	298	304
ti (SU)	0.33	0.33
F (j/an)	60	60
T (ans)	0.17	0.17
Tm (jours)	60	60

CARACTERISATION DU RISQUE

4.1.1 Risque systémique

Le risque systémique est étudié pour le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes et le styrène. Les Concentrations d'exposition (CI) sont données dans le tableau 10 suivant, ainsi que les indices de risque correspondants (CI/RfC).

TABLEAU 10

	Echantillon 1	Echantillon 2
Scénario	1 et 2	1 et 2
CI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
Toluène	27.4	32.3
Ethylbenzène	52.4	54.9
Xylènes	94.6	111.9
Styrène	16.7	17.1
IR		
Toluène	0.07	0.8
Ethylbenzène	0.05	0.05
Xylènes	0.01	0.02
Styrène	0.02	0.02

On constate donc que les indices de risques sont négligeables pour le toluène, les xylènes et le styrène. Ces trois substances provoquent les mêmes effets systémiques : des atteintes du système nerveux central. **Il est donc possible d'additionner les IR (attention : cet effet est obtenu pour les xylènes par ingestion : on le considère ici comme un risque inhalation). L'IR varie donc de 0.1 (échantillon 1) à 0.8 (échantillon 2) : il est négligeable.**

L'indice de risque relatif à l'éthylbenzène est également inférieur à 1 : le risque systémique via l'inhalation de ce COV est aussi négligeable.

4.1.2 Risque cancérigène

Le risque cancérigène concerne l'exposition au benzène de nos deux populations. Le tableau 11 suivant résume l'ensemble de la caractérisation du risque cancérigène lié à l'inhalation du benzène par les ramasseurs de produit et les nettoyeurs d'oiseaux.

TABLEAU 11

	Echantillon 1		Echantillon 2	
Scénario	1 et 2		1 et 2	
Ci ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	124		96	
CI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6.5		5.1	
ERI	0.00001 – 0.00005		0.00001 – 0.00004	
	Ramasseurs	Nettoyeurs	Ramasseurs	Nettoyeurs
ERC*	0.003-0.02	0.0006-0.003	0.003-0.01	0.0006-0.003

*l'impact est calculé sur les 300 ramasseurs d'une part et sur les 63 nettoyeurs d'oiseaux permanents

Le nombre de cancers en excès, lié à l'exposition par inhalation au benzène étudié lors du ramassage du produit ou du nettoyage d'oiseaux, qui devrait survenir au cours de la vie de ces groupes d'individus varie donc de 0.0006 à 0.02. Ce risque est négligeable, d'autant plus que (1) les personnes sont protégées et (2) les concentrations prises en compte ici sont très maximisantes.

CONCLUSION

Les risques systémique et cancérigène liés à l'inhalation des COV via le ramassage du produit et le nettoyage des oiseaux par les populations de travailleurs étudiés ici, compte tenu des scénarios d'exposition établis, peuvent être – en l'état actuel des connaissances et dans le cadre spécifique de la marée noire consécutive au naufrage du ERIKA - considérés comme négligeables dans l'ensemble.

5. RISQUE SANITAIRE LIE A L'INHALATION DU NAPHTALENE PAR L'ENSEMBLE DES TRAVAILLEURS, LES NETTOYEURS DE VETEMENTS ET D'OUTILS, LES NETTOYEURS DE ROCHERS ET D'OISEAUX ET LES RAMASSEURS DU PRODUIT

Cette évaluation du risque se base sur les données des parties 4 et 5 du projet ERIKA, c'est à dire la caractérisation des émissions des HAP par des résidus pétroliers prélevés sur la zone de dépollution et par l'utilisation du Karcher. Elle se déroule de la même façon que les évaluations précédentes. Elle utilise également des données du rapport TOTAL.

IDENTIFICATION DU DANGER ET RELATIONS DOSE-REPONSE

Le danger étudié ici est la toxicité systémique liée au naphthalène. Les données d'émission utilisées sont d'une part, celles contenues dans les tableaux 1 et 2 de l'annexe A (mesures sur poste de décontamination, partie 5 du dossier : mesures particulièrement maximisantes pour le naphthalène et le phénanthrène, très volatils) et d'autre part, celle contenue dans le tableau 4 de la partie 4 du dossier ERIKA ($4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette dernière est une mesure en essai dynamique : elle est beaucoup plus réaliste que les mesures en essai statique. Elle est révélatrice de ce qui peut s'échapper du produit ramassé sur les plages ou lors du nettoyage des oiseaux, ou bien encore, de ce qui peut être émis par les vêtements souillés des travailleurs sur le poste Karcher. Néanmoins, l'échantillon analysé est un échantillon ancien, prélevé sur la falaise par les pompiers travaillant sur place. Or, TOTAL a déterminé les teneurs en HAP d'un échantillon " frais " (DA589) dont la concentration en naphthalène était de $23,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($534 \mu\text{g}/\text{g}$), donc 5.5 fois plus importante que celle trouvée en essai dynamique sur un échantillon ancien.

Le naphthalène est le seul HAP pour lequel le risque inhalation est bien décrit (atteintes du système nasal). L'EPA donne une concentration de référence de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le chapitre 3 de ce rapport montrait que le naphthalène pouvait être utilisé comme traceur du risque systémique par inhalation des HAP, malgré le fait que les concentrations utilisées soient maximisantes.

EVALUATION DE L'EXPOSITION AU NAPHTALENE PAR INHALATION

On peut définir 5 scénarios d'exposition :

- Scénario 1 : il concerne l'ensemble des travailleurs, exposés 10 min maximum par jour au Karcher et qui peuvent donc, en supplément, être exposés pendant ce même laps de temps aux émissions provenant du nettoyage des vêtements souillés (durée totale d'exposition : 2 mois).
- Scénario 2 : il concerne les opérateurs Karcher, exposés 1 heure par jour maximum au naphthalène via le Karcher, et qui peuvent, en supplément, être exposés pendant ce même laps de temps aux émissions provenant des vêtements souillés (2 mois d'exposition au total).
- Scénario 3 : il concerne les nettoyeurs de rochers au Karcher (population virtuelle sur le site de mesure), exposés 8 heures par jour pendant 10 jours consécutifs à ce poste, sur lequel viennent se rajouter les émissions provenant des vêtements souillés.
- Scénario 4 : il concerne les ramasseurs du produit, directement exposés 8 heures par jour pendant 2 mois aux émissions de naphthalène du produit lui-même.
- Scénario 5 : il concerne les nettoyeurs d'oiseaux, directement exposés 8 heures par jour pendant 2 mois aux émissions de naphthalène du produit lui-même.

Les concentrations fournies par les mesures sur le poste de décontamination et la mesure en essai dynamique (ou concentration TOTAL) s'appliquent donc aux scénarios 1 à 3 (on va sommer les deux concentrations considérées). La concentration dynamique seule (ou TOTAL seul) s'applique aux scénarios 4 et 5.

CARACTERISATION DU RISQUE SYSTEMIQUE

Le tableau 12 suivant regroupe l'ensemble des données permettant de calculer les concentrations d'exposition, en fonction des différents scénarios. Le principe est le même que pour les évaluations précédentes. Les concentrations en naphthalène provenant du poste Karcher (Essai 1 : $621,3 \text{ ng/m}^3$ et Essai 2 : $679,7 \text{ ng/m}^3$) sont très proches : on ne se basera que sur la deuxième, par simplification (les résultats sont les mêmes si la première concentration est considérée). La concentration trouvée en essai dynamique, sur un échantillon ancien, est de $4.2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ($2795 \text{ ng} / 0.671 \text{ m}^3$) ; celle mesurée sur un échantillon frais est de $23.4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (TOTAL).

TABLEAU 12

Scénario	1	2	3	4 et 5
Ci ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,9 ¹ / 24.1 ²			4,2 ¹ / 23.4 ²
ti	0.007	0.04	0.33	0.33
T (ans)	0.17	0.17	0.03	0.17
F (j/an)	60	60	10	60
Tm (jours)	60	60	10	60
CI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.006 / 0.03	0.03 / 0.16	0.05 / 0.24	0.24 / 1.3
IR	0.002 / 0.01	0.01 / 0.05	0.02 / 0.08	0.08 / 0.4

¹ concentrations Ci données sur la base des essais dynamiques (partie 4 du rapport) : échantillon ancien

² concentrations Ci données sur la base des analyses TOTAL : échantillon frais

Les indices de risque, quel que soit le scénario et l'échantillon considéré, sont donc inférieurs à 1 : le risque systémique lié à l'inhalation de naphthalène, bon traceur du risque systémique par inhalation, est négligeable.

CONCLUSION

Le risque systémique lié à l'inhalation de naphthalène par les populations considérées, selon les scénarios d'exposition pris en compte et malgré des concentrations maximisantes, en l'état actuel des connaissances et dans le cadre spécifique de la marée noire consécutive au naufrage du ERIKA, est donc négligeable.

6. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE AU CONTACT CUTANE

Cette évaluation des risques s'appuie sur les données de la partie 1 du projet ERIKA (analyse de deux échantillons prélevés sur le site de La Baule (échantillon 2 INERIS prélevé sur la plage, échantillon 3 INERIS prélevé sur la falaise), sur les analyses de l'échantillon 1749, appelé ici TOTAL 1) et sur l'identification des dangers relative au contact cutané faite en partie 3.

Etant donné l'absence de publications relatives à la relation dose-réponse liée à l'exposition cutanée aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), l'objectif de cette étude ne pourra pas être de quantifier le risque associé mais s'arrêtera à la quantification de la dose reçue.

SCENARIOS D'EXPOSITION

Nous avons considéré deux types d'exposition au produit:

- **Scénario 1** : contact cutané lors de projections sur le visage, ou lors d'action réflexe entraînant le contact des gants souillés avec le visage, ou sur des zones découvertes accidentellement entre deux protections (espace entre les gants et le ciré par exemple). Dans ce cas, nous estimons que la surface de contact est réduite et peut varier de 1 à 20 cm².
- **Scénario 2** : contact cutané sur les mains lors d'expositions "accidentelles" (retrait temporaire des gants pour des manipulations particulières (pour une meilleure prise par exemple)) ou lors d'expositions liées au nettoyage des oiseaux (certaines recommandations étaient de ne pas porter de gants pour cette activité, Projet ERIKA, partie 2). Nous avons alors estimé qu'au plus 50% de la surface des mains était contaminée. Les données fournies par Exposure Factors Handbook (US-EPA, 1999) évaluent la surface des mains et de la tête. Chez l'homme, la surface des mains est en moyenne de 840 cm² (maximum de 1130 cm²). Chez la femme, elle est en moyenne de 746 cm² (maximum de 824 cm²). La surface de la tête est en moyenne de 1180 cm² chez l'homme et de 1110 cm² chez la femme (maximum de 1610 cm² chez l'homme et de 1270 cm² chez la femme).

On considère que les temps d'exposition ont pu varier de 1 à 60 jours.

CALCUL DE LA QUANTITE DE COMPOSES TOXIQUES EN EQUIVALENT BaP, CONTENUE DANS LE PRODUIT

Les résultats d'analyse fournissent les concentrations en HAP par type de composé (pour les 2 échantillons, l'un prélevé sur la plage, l'autre prélevé sur la falaise). De la même façon que pour l'évaluation des risques sanitaires par inhalation lors de l'exposition aux HAP via le Karcher, nous raisonnerons avec les facteurs d'équivalence toxique (FET) qui permettent de tenir compte des différents composants du mélange (supposés sans interaction) pour lesquels un facteur d'équivalence toxique existe. La concentration totale en HAP, obtenue à partir des FET et des concentrations respectives en chaque composant, sera exprimée en équivalent benzo-*a*-pyrène.

Différents facteurs d'équivalent toxique ont été décrit par Nisbet & Lagoy (1992), par l'US-EPA (1993) et par Baars (2000). La comparaison des concentrations obtenues en équivalent benzo-*a*-pyrène sera faite en tenant compte des différents FET fournis.

TABLEAU 13 : Facteurs d'équivalent toxique fournis par Nisbet & Lagoy (1992) et concentration en équivalent BaP dans les échantillons 2 et 3 INERIS et 1 TOTAL.

Substance	FET*	Equivalent BaP – Ech 2 (µg/g) : C _{eq2}	Equivalent BaP – Ech 3 (µg/g) : C _{eq3}	Equivalent BaP – Ech 1 (µg/g) : C _{eq1}
Naphtalène	0.001	0.021	0.096	0.53
Acénaphthène	0.001	0.029	0.027	0.13
Acénaphthylène	0.001	0.005	0.005	6.10 ⁻⁴
Benzo- <i>a</i> -pyrene	1	70	36	153
Dibenzo- <i>a,h</i> -anthracène	5	90	60	107.5
Benzo- <i>a</i> -anthracène	0.1	10.5	7.2	29.8
Benzo- <i>b</i> -fluoranthène	0.1	3.1.	2.2	3.8
Benzo- <i>k</i> -fluoranthène	0.1	Nr	Nr	1.9
Indeno- <i>1,2,3,c,d</i> -pyrene	0.1	Nr	1	1.0
Anthracène	0.01	0.22	0.2	0.9
Benzo- <i>g,h,i</i> -pérylène	0.01	0.2	0.17	0.4
Chrysène	0.01	2.31	1.59	5.1
Fluoranthène	0.001	0.012	0.011	0.05
Pyrène	0.001	0.115	0.091	0.28
Phénanthrène	0.001	0.169	0.136	0.53
Fluorène	0.001	0.038	0.033	0.14
	Somme	177	109	306

*Nisbet & Lagoy, 1992

TABLEAU 14 : Facteurs d'équivalent toxique fournis par Baars (2000) et concentration en équivalent BaP dans les échantillons 2 et 3 INERIS et 1 TOTAL.

Substance	FET*	Equivalent BaP – Ech 2 (µg/g) : C _{eq2}	Equivalent BaP – Ech 3 (µg/g) : C _{eq3}	Equivalent BaP – Ech 1 (µg/g) : C _{eq1}
Naphtalène	nc			
Acénaphthène	0.01	0.29	0.27	1.26
Acénaphthylène	0.001	0.005	0.005	6.10 ⁻⁴
Benzo- <i>a</i> -pyrene	1	70	36	153
Dibenzo- <i>a,h</i> -anthracène	1	18	12	21.5
Benzo- <i>a</i> -anthracène	0.1	10.5	7.2	29.8
Benzo- <i>b</i> -fluoranthène	0.1	3.1.	2.2	3.86
Benzo- <i>k</i> -fluoranthène	0.1	Nr	Nr	1.92
Indeno- <i>1,2,3,c,d</i> -pyrène	0.1	Nr	1	1.1
Anthracène	nc			
Benzo- <i>g,h,i</i> -pérylène	nc			
Chrysène	0.01	2.31	1.59	5.01
Fluoranthène	0.01	0.12	0.11	0.49
Pyrène	0.001	0.115	0.091	0.28
Phénanthrène	0.001	0.169	0.136	0.53
Fluorène	nc			
	Somme	105	61	219

*Baars, 2000

Nr : non renseigné

Nc : non considéré comme cancérrogène dans l'étude citée (Baars, 2000)

TABLEAU 15 : Potentiels relatifs (estimation des FET) dérivés des études de cnacérogénèse cutanée sur la souris fournis par l'US-EPA (1993) (cité par l'ATSDR 1997) et concentration en équivalent BaP dans les échantillons 2 et 3 INERIS et 1 TOTAL.

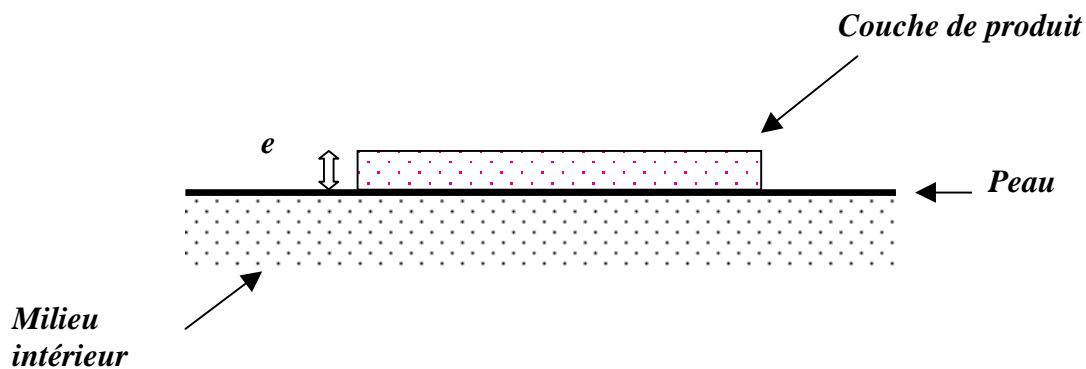
Substance	Relative Potency*	Equivalent BaP – Ech 2 (µg/g) : C _{eq2}	Equivalent BaP – Ech 3 (µg/g) : C _{eq3}	Equivalent BaP – Ech 1 (µg/g) : C _{eq1}
Naphtalène				
Acénaphthène				
Acénaphthylène				
Benzo- <i>a</i> -pyrene	1	70	36	153
Dibenzo- <i>a,h</i> -anthracène	1.11	20	13.3	23.9
Benzo- <i>a</i> -anthracène	0.145	15.2	10.4	43.2
Benzo- <i>b</i> -fluoranthène	0.167	5.2	3.7	6.45
Benzo- <i>k</i> -fluoranthène	0.020	0	0	0.38
Indeno- <i>1,2,3,c,d</i> -pyrène	0.055	0	0.55	0.60
Anthracène				
Benzo- <i>g,h,i</i> -pérylène				
Chrysène	0.0044	1.0	0.7	2.23
Fluoranthène				
Pyrène				
Phénanthrène				
Fluorène				
	Somme	111	64.7	230

*EPA, 1993

La concentration totale en équivalent benzo-*a*-pyrene varie légèrement en fonction des FET. De plus, l'échantillon TOTAL 1. analysé par l'IFP correspond à un échantillon " frais " ce qui explique des concentrations supérieures à celles observées dans les deux échantillons prélevés sur la falaise et sur la plage. Toutefois, ces concentrations seront prises en compte car correspondant à l'exposition des travailleurs à un moment donné.

Dans la suite de l'étude, nous travaillerons avec les concentrations maximales obtenues avec les FET fournis par Nisbet et Lagoy.

METHODE DE CALCUL DE LA DOSE REÇUE



Soient e l'épaisseur de la couche de produit sur la peau, S la surface d'exposition de la peau.

Le volume V de produit sur la peau est alors :

$$V = S \times e$$

V en cm^3

S en cm^2

e en cm

Soit μ la masse volumique du fioul lourd n°2

La masse de produit sur la peau est :

$$Q = V / \mu$$

Q en g

μ masse volumique en g/cm^3

Connaissant la concentration C_{eq} en équivalent Benzo-*a*-Pyrene (cf. 4.2, tableaux 12,13,14) dans l'échantillon, on détermine la quantité d'équivalent benzo-*a*-pyrene contenue dans la couche de produit et pouvant diffuser vers la peau, par :

$$Q_{eq} = Q \times C_{eq}$$

Q_{eq} en μg

Q en g

C_{eq} en $\mu\text{g}/\text{g}$

De plus, nous tiendrons compte du taux d'absorption des PAH par la peau. D'après la partie 3 du projet ERIKA, de 20% à 100% au maximum de la quantité Q_{eq} pourraient avoir pénétré dans la peau. Une large incertitude affecte donc cette valeur.

DOSE REÇUE EN FONCTION DES DIFFERENTS SCENARIOS D'EXPOSITION

Etant donné les incertitudes qui affectent les estimations de la dose il est apparu important d'utiliser des simulations stochastiques (méthode « Monte Carlo »). De telles simulations ont été réalisées afin d'évaluer la distribution de la dose reçue en équivalent Benzo-*a*-pyrène, en fonction de distributions a priori des paramètres reflétant l'incertitude qui y est attachée.

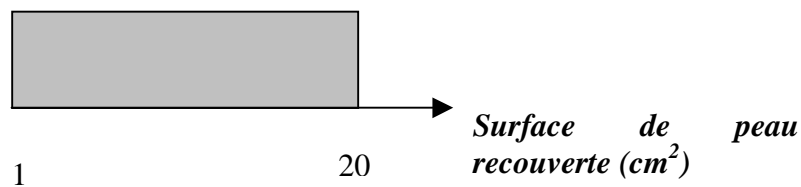
Les paramètres suivants ont été échantillonnés :

- Surface de peau recouverte
- Epaisseur de la couche de rejet sur la peau
- Taux d'absorption
- Concentration en équivalent Benzo-*a*-pyrène dans le rejet

Leurs distributions ont été spécifiée comme suit :

- Surface de peau recouverte (distribution uniforme)

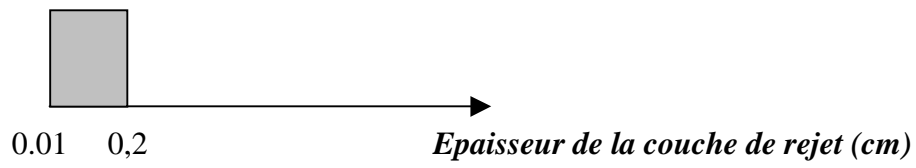
SCENARIO 1



SCENARIO 2



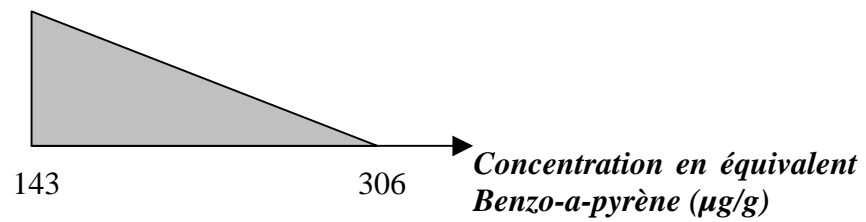
- Epaisseur de la couche de rejet sur la peau (distribution uniforme)



- Taux d'absorption (distribution uniforme).



- Concentration en équivalent Benzo-*a*-pyrène dans le rejet (distribution triangulaire)



Etant donné le manque d'informations spécifiques sur la distribution des différents paramètres dans le cas étudié, nous avons considéré des distributions uniformes (excepté pour la concentration en équivalents benzo-a-pyrène dont on sait qu'elle a décru au cours du temps).

Pour cette dernière, la distribution a été choisie triangulaire car la concentration fournie par l'échantillon 1749 (TOTAL 1) représente un rejet frais. Les expositions à ce rejet n'ont eu lieu que sur une fraction de la période considérée. Pour une période plus longue, la population a été exposée à des rejets vieilliss (étant restés plus longtemps en mer et/ou vieillissant une fois échoués).

La densité du fioul sera prise égale à 1 (donnée TOTAL FINA) et a été appliquée au cas du produit en l'absence d'autres données.

Le résultats de ces simulations indique que la dose journalière de HAP exprimés en équivalents BaP peut être estimée en moyenne à 90 $\mu\text{g}/\text{j}$ (95^{ème} percentile : 300 $\mu\text{g}/\text{j}$) pour le scénario 1. Pour le scénario 2 la moyenne est de 2500 $\mu\text{g}/\text{j}$ (95^{ème} percentile : 8000 $\mu\text{g}/\text{j}$). Ces doses calculées sont hypothétiques. En l'absence d'informations spécifiques, il n'a pas été tenu compte de la vitesse de renouvellement de la couche de rejet au cours de la journées, ou d'une limitation possible de la vitesse de passage des HAP dans la peau.

CONCLUSION

La dose reçue par la peau (selon les hypothèses faites) peut être estimée en moyenne à 90 $\mu\text{g}/\text{j}$ pour le scénario 1, et à 2500 $\mu\text{g}/\text{j}$ pour le scénario 2.

La dose reçue est donc de l'ordre de celles recensées dans les études expérimentales sur souris (Projet ERIKA, partie 3). Cependant, la comparaison directe des résultats n'est pas possible du fait que le véhicule (acétone, toluène) d'administration utilisé sur les souris conduit à une pénétration cutanée complète des HAP, ce qui n'est probablement pas le cas pour les expositions considérées dans cette étude. Des différences de perméabilité entre la peau humaine et animale, et d'éventuelles différences de susceptibilité rendent également difficile la comparaison entre espèces.

Ces résultats ne sont pas rapportés au poids corporel car nous avons considéré que la dose efficace est la quantité totale en équivalent benzo-a-pyrene ayant pénétré dans la peau au cours des expositions décrites. La dispersion des produits dans l'organisme est indépendante de l'induction d'effets dans la peau. Cette dispersion pourrait conduire à des effets cancérogènes sur d'autres organes. Dans ce cas, la dose efficace serait exprimable en mg/kg. Cependant, ces effets systémiques n'ont pas été pris en compte dans cette évaluation des risques mais le seront dans la section suivante.

Pour la souris, une évaluation (non publiée) de la relation dose-réponse entre quantité appliquée sur la peau et probabilité de survenue de tumeurs bénignes ou malignes a été conduite par le RIVM (communication personnelle du Dr. Baars) il y a une dizaine d'années. Cependant les conditions d'exposition et le type d'analyse faites ne nous sont pas connues et nous avons jugé qu'un calcul de risque sur cette base ne serait pas fiable. La présente étude et les recherches bibliographiques faites montrent qu'une évaluation rapide des risques cutanés liée à une exposition aux HAP ne peut dans l'immédiat aller au delà de la quantification de la dose reçue. La comparaison de ces doses avec celles reçues par les animaux lors d'essais de laboratoire ne nous permet pas d'affirmer que le risque associé est négligeable.

En conséquence, il est nécessaire de renouveler les recommandations de précaution auprès des personnes exposées et d'insister sur le port indispensable de gants et le lavage immédiat de toute partie du visage (ou des mains) sur laquelle il y aurait des traces de produit.

Une attention particulière doit être portée au respect de ces recommandations pour les personnes réalisant le nettoyage des oiseaux, pour lesquelles certaines recommandations étaient de ne pas porter de gants (Projet ERIKA, partie 2).

En parallèle, une évaluation des risques plus détaillée serait souhaitable, pour mieux estimer l'ordre de grandeur du risque lié aux expositions cutanées. Il serait utile à cette fin d'établir des relations dose-réponse sur la base des données toxicologiques publiées.

7. EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE A LA DOSE INTERNE DE HAP APRES CONTACT CUTANE

Cette évaluation des risques s'appuie sur les données de la partie 1 du projet ERIKA (analyse de deux échantillons prélevés sur le site de La Baule (échantillon INERIS 2 prélevé sur la plage et échantillon INERIS 3 prélevé sur la falaise), sur les analyses de l'échantillon 1749, appelé ici TOTAL 1) et sur la partie 3.

L'objectif de cette partie est d'évaluer les effets de la dose interne après contact cutané.

Une première évaluation est destinée à caractériser le risque cancérigène des HAP exprimé en équivalent benzo-*a*-pyrène. Une deuxième évaluation est consacrée au risque pour la reproduction du benzo-*a*-pyrène.

L'approche proposée présente également les résultats pour la dose interne sous la forme de distributions statistiques (version modifiée), de la même façon que cela a été fait pour la détermination de la dose reçue par la peau.

7.1 SCENARIOS D'EXPOSITION

Les scénarios d'exposition considérés sont ceux présentés dans la partie 6 relative au contact cutané :

- **Scénario 1** : contact cutané lors de projections sur le visage, ou lors d'actions réflexes entraînant le contact des gants souillés avec le visage, ou sur des zones découvertes accidentellement entre deux protections (espace entre les gants et le ciré par exemple). Dans ce cas, nous estimons que la surface de contact est réduite et peut varier de 1 à 20 cm².
- **Scénario 2** : contact cutané sur les mains lors d'expositions " accidentelles " (retrait temporaire des gants pour des manipulations particulières, pour une meilleure prise par exemple) ou lors d'expositions liées au nettoyage des oiseaux. Nous avons alors estimé qu'au plus 50% de la surface des mains étaient contaminés.

Nous avons déterminé la dose interne pouvant être induite par une exposition cutanée aux HAP, quantifiés en termes d'équivalents benzo-*a*-pyrène, selon ces deux scénarios.

7.2 DETERMINATION DE LA DOSE INTERNE POUR LE RISQUE CANCEROGENE

La dose journalière d'exposition, définie par jour de 24 heures, se calcule comme suit :

$$DJE_{ij} = C_i * Q_j * T * F / P * T_m$$

Avec :

DJE_{ij} : dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu *i* par la voie d'exposition *j* (en mg/kg/j)

C_i : concentration d'exposition relative au milieu *i*

Q_j : quantité du milieu administrée par la voie *j* par jour

T : durée d'exposition (années)

F : fréquence d'exposition (jours/an)

P : poids corporel de la cible (kg)

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Pour les effets sans seuil des polluants, T_m est assimilé à la durée de vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)

Le poids, par convention, est pris égal à 70 kg. Nous considérons une exposition sur la durée d'un poste de travail (soit 8h/24h) selon les scénarios 1 et 2, une année dans la vie ($T=1$ an, $F = \frac{1}{3}$ jour/an).

Les différents paramètres (surface exposée, épaisseur de la couche, concentration en équivalents benzo-*a*-pyrène suivent les mêmes distributions que dans le paragraphe 6.4, à l'exception du taux d'absorption qui suivra pour ce calcul de la dose interne (et d'après le rapport 3) une distribution uniforme de 0 à 20% d'absorption.

Les simulations ont été faites pour les deux scénarios précédemment décrits.

Les résultats de ces simulations indiquent que la dose journalière d'exposition aux HAP exprimée en équivalents BaP peut être estimée de la façon présentée dans le tableau 16.

TABLEAU 16 : Dose journalière d'exposition aux HAP en équivalents benzo-*a*-pyrène.

	DJE (mg/kg/j)	1 jour d'exposition (8 heures)
Scénario 1	Moyenne	$4,0 \cdot 10^{-9}$
	95^{ème} percentile	$1,4 \cdot 10^{-8}$
Scénario 2	Moyenne	$1,1 \cdot 10^{-7}$
	95^{ème} percentile	$3,7 \cdot 10^{-7}$

7.3 CARACTERISATION DU RISQUE DE CANCER

La caractérisation du risque lié à une exposition à des cancérogènes (dans le cas d'effets sans seuil) s'exprime par un excès de risque individuel (ERI). Un ERI représente la probabilité que la cible a de développer l'effet associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Lorsque le risque est lié à une exposition via l'ingestion, il s'exprime de la façon suivante :

$$\text{ERI} = \text{DJE} * \text{ERU}_{\text{oral}}$$

L'US-EPA fournit un excès de risque unitaire ou facteur de pente (oral slope factor) de $7,3 \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$ (soit de $7,3 \cdot 10^{-3} \text{ (}\mu\text{g/kg/j)}^{-1}$).

La dose correspondante à un risque de 10^{-5} est de $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ (mg/kg/j)}$.

Les résultats des simulations indiquent que l'excès de risque individuel lié à la dose interne de HAP exprimée en équivalent *benzo-a-pyrène* peut être estimé de la façon présentée dans le tableau 17.

TABLEAU 17 : Excès de risque individuel lié à la dose interne de HAP exprimée en équivalents *benzo-a-pyrène*.

	ERI	1 jour d'exposition (8 heures)
Scénario 1	Moyenne	$2,9 \cdot 10^{-8}$
	95 ^{ème} percentile	$1,0 \cdot 10^{-7}$
Scénario 2	Moyenne	$8,0 \cdot 10^{-7}$
	95 ^{ème} percentile	$2,7 \cdot 10^{-6}$

Les excès de risque individuel estimés (valeurs moyennes ou percentile 95) sont inférieurs à 10^{-5} pour une exposition d'un jour (8h/jour) quel que soit le scénario considéré.

L'excès de risque individuel étant proportionnel au nombre de jours d'exposition, une autre expression du résultat serait d'exprimer l'exposition (en nombre de jours) correspondant à un risque donné par exemple de 10^{-5} .

Si l'on considère la valeur moyenne d'exposition selon le scénario 1, il faudrait **345 jours d'exposition (ou 100 jours pour le percentile 95)**, 8h/j, pour atteindre le niveau de risque de 10^{-5} , ce qui est supérieur à la durée de l'exposition aux projections et éclaboussures pendant les travaux liés au naufrage de l'ERIKA.

Ainsi les risques associés aux projections sur le visage, aux actions réflexes entraînant le contact des gants souillés et du visage, ou aux zones découvertes entre deux protections (scénario 1) sont **faibles** (inférieurs à 10^{-5}) étant donné les niveaux d'exposition lié au **scénario 1 sous les hypothèses considérées.**

De la même façon, pour le scénario 2, il faudrait une exposition d'environ **12 jours**, sur la durée d'un poste de travail 8h/j (ou 3,7 jours pour le percentile 95, 8h/j) pour atteindre un niveau de risque de 10^{-5} sous les hypothèses considérées. Rappelons que le scénario 2 concerne le contact cutané sur les mains lors d'expositions accidentelles (retrait temporaire des gants pour des manipulations particulières) ou lors d'expositions liées au nettoyage des oiseaux.

Le niveau de risque atteint est légèrement supérieur au niveau considéré comme acceptable. Néanmoins, il faut prendre en considération le fait que les bornes supérieures des intervalles de variation des paramètres sont majorantes. Par exemple, l'épaisseur de couche maximale est de 0,2 cm, le taux d'absorption maximum de 20%. Ce taux d'absorption de 20% a été déterminé chez les animaux avec utilisation d'un solvant facilitant la pénétration cutanée, ce qui n'est pas le cas ici. On peut donc considérer que pour le temps d'exposition effectif, le risque est négligeable.

7.4 CARACTERISATION DU RISQUE POUR LA REPRODUCTION LIE A LA DOSE INTERNE DE BaP

Cette évaluation se base sur les résultats de trois études expérimentales chez l'animal qui ont permis de déterminer, pour le BaP un LOAEL de 10mg/kg/j pour la toxicité sur la descendance (partie 3, rapport ERIKA). En appliquant un facteur de sécurité empirique de 1000 (passage d'un LOAEL à un NOAEL, variabilité inter – espèce, et intra - espèce), une dose de référence de **10 µg/kg/j** peut être établie pour des effets sur la reproduction humaine. Un facteur 10 supplémentaire peut être appliqué à cette valeur pour les effets tératogènes (recommandations OMS) ; la dose de référence passe alors à **1 µg/kg/j**.

La dose interne maximale de BaP est déterminée sur la base d'un taux d'absorption de 20% à partir d'un dépôt cutané (partie 3, rapport ERIKA), selon un scénario majorant (50% de la surface des mains recouvertes, chez la femme (surface : 412 cm²), et pour une épaisseur de couche déposée de 0,2 cm), en tenant compte des analyses de l'échantillon 1749 (TOTAL 1) qui est un échantillon « frais » et présente des concentrations supérieures à celles observées dans les analyses INERIS 2 et INERIS 3.

La quantité de BaP contenue dans l'échantillon TOTAL 1 est de 153 µg/g. La dose reçue est alors de :

$$Q = 153 \times 0,2 \times 412 \times 0,2$$

$$Q = 2,5 \text{ mg/j}$$

La dose journalière d'exposition est alors :

$$DJE = \frac{2,5 \times 1 \times 60}{70 \times 60}$$

$$DJE = 0,03 \text{ mg/kg/j}$$

L'indice de risque varie de **3 à 30, selon la dose de référence utilisée (facteurs de sécurité de 1000 ou 10000)**. Cet indice est non négligeable : nous considérons que les femmes enceintes sont une population sensible via l'exposition au BaP suite au contact cutané et selon le scénario établi. **Nous recommandons donc que les femmes enceintes ne participent pas à la manipulation de ces rejets.**

8. REFERENCE

ATSDR. Toxicological profiles on CD Rom. Atlanta, Georgia, USA : US department of health and human services. Public Health services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1998

Baars A. J. (2000) Preliminary risk assessment for humans cleaning the oil spillage on the coast of Brittany (France) caused by the wreckage of the maltese oil tanker “ ERIKA ” in december 1999

Baars AJ and Janssen PJCM (1999) Update of the human MPR for total petroleum hydrocarbons. National institute of public health and the environnement, centre for substances and risk assessment. RIVM/CSR report n°6319AA00, march 1999

CIRC (IARC) – Centre International de Recherche sur le Cancer : <http://www.iarc.fr>

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Valeurs de référence du CSHPF pour les polluants visés par la directive 96/62/CE du conseil du 27 septembre 1996 (avis sur les directives filles).

Décret 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites (annexe 1). Journal Officiel de la république Française du 13 mai 1998.

IPCS (1998) Environmental Health Criteria 202 : selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

IRIS - US EPA substances file. <http://www.epa.gov/iris/subst> Integrated Information System, US EPA, Washington.

ITER – International Toxicity Estimates for Risks. <http://www.tera.org/ITER> TERA (Toxicology Excellence for Risk Assessment), 1998.

Nisbet ICT, Lagoy PK. Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Regulatory Toxicology and Pharmacology, 16, p.290-300, 1992.

OMS Air Quality Guidelines in Europe. World Health Organization, Geneva, 1987. Revised WHO Air Quality Guidelines for Europe, April 1997.

US-EPA Exposure factors handbook. CD-ROM, EPA/600/C –99/001. Feb. 1999.

ANNEXE A

Tableau I : mesures sur le poste de « décontamination »

Dosage des HAPs – Essai 1 : sans KETRUL 211

Durée d'échantillonnage : 100 minutes

volume échantillonné : 2.456 m³

date du prélèvement le 16/2/00

Ref échantillon	Filtre 00CF1107	Résine 00CF1106	Rinçage 00CF1108	Σ	[C] en ng/m ³
Ref chromato	ERIKA005	ERIKA016	ERIKA011		
Naphtalène	< 30	1526	< 30	1526	621,3
Acénaphène	< 10	1883	253	2136	869,7
Fluorène	< 5	119	< 5	119	48,5
Phénanthrène	10	461	715	1186	482,9
Anthracène	< 3	7	30	37	15,1
Fluoranthène	8	56	96	160	65,1
Pyrène	< 10	< 10	< 10	< 10	< 4,1
B(a)A	< 5	< 5	17	17	6,9
Chrysène	< 5	11	14	25	10,2
B(b)F	< 5	< 5	< 5	< 5	< 2,0
B(k)F	0,6	< 0,5	2	2,6	1,1
B(a)P	1	9	13	23	9,4
D(a,h)A	< 5	< 5	< 5	< 5	< 2,0
B(g,h,i)P	< 5	< 5	< 5	< 5	< 2,0
IN (1,2,3,c,d)P	< 10	< 10	<10	< 10	< 4,1

ANNEXE B

Effets systémiques, valeurs de référence

Substance	Source d'information	Voie d'exposition	Facteurs d'incertitude	Valeur de référence	Effets ou organe cible	Année d'évaluation
Naphtalene	RIVM	Oral		TDI = 50 µg/kg/j		1991/1993
	IRIS US-EPA	Oral subaigu	3000	RfD = 2.10 ⁻² mg/kg/j	Perte de poids	1998
		Inhalation	3000	RfC = 3.10 ⁻³ mg/m ³	Nasal	1998
	ATSDR	Inhalation chronique	1000	MRL = 0,002 ppm Ou 9.10 ⁻³ mg/m ³	Poumon	1995
Oral aigu Oral subaigu		1000 300	MRL = 0,05 mg/kg/j MRL = 0,02 mg/kg/j			
Acénaphthene	IRIS, US-EPA	Oral	3000	RfD = 6.10 ⁻² mg/kg/j	hépatotoxique	1989
	ATSDR	Oral subaigu	300	MRL = 0,6mg/kg/j		1995
Acénaphthylene						
Benzo-a-pyrene						
Dibenzo-a,h-anthracene						
Benzo-a-anthracene						
Benzo-b-fluoranthene						
Benzo-k-fluoranthene						
Indeno-1,2,3-c,d-pyrene						
Anthracene	RIVM	Oral		TDI = 50 µg/kg/j	Aucun effet (NOEL)	1991/1993
	IRIS US-EPA ATSDR	Oral	3000	RfD = 3.10 ⁻¹ mg/kg/j		1990
		Oral subaigu	100	MRL = 10mg/kg/j		1995
Benzo-g,h,i-perylene						
Chrysene						
Fluoranthene	IRIS US-EPA	Oral	3000	RfD = 4.10 ⁻² mg/kg/j	Néphropathie, augmentation du poids du foie, hématotoxique	1993
	ATSDR	Oral subaigu	300	MRL = 0,4 mg/kg.j		1995
Pyrene	IRIS US-EPA	Oral	3000	RfD = 3.10 ⁻² mg/kg/j	rein	1993
Phenanthrene						
Fluorène	IRIS US-EPA	Oral	3000	RfD = 4.10 ⁻² mg/kg/j	hématotoxique	1990
	ATSDR	Oral subaigu	300	MRL = 0,4 mg/kg/j		1995
Anthanthrene						
Benzo-j-fluoranthene						
Benzo-a-fluorene						
Benzo-c-phenanthrene						

Classification des substances de l'US-EPA :

A : substance cancérigène pour l'homme

B1 : substance probablement cancérigène pour l'homme. Données limitées disponibles chez l'homme

B2 : substance probablement cancérigène pour l'homme. Pas de preuves chez l'homme ; seulement chez l'animal

C : cancérigène possible pour l'homme

D : substance non classable quant à sa cancérigénicité humaine

E : substance pour laquelle il existe des preuves de non cancérigénicité humaine

****Classification des substances de l'IARC**

1 : substance cancérigène pour l'homme, données humaines suffisantes

2A : cancérigène probable pour l'homme. Connaissances limitées chez l'homme et connaissances suffisantes chez l'animal

2B : cancérigène possible pour l'homme. Connaissances limitées chez l'homme ou connaissances suffisantes chez l'animal

3 : inclassable

4 : probablement non cancérigène chez l'homme

****Classification Union Européenne**

Première catégorie : substance que l'on sait être cancérigène pour l'homme

Deuxième catégorie : substance devant être assimilée à une substance cancérigène pour l'homme

Troisième catégorie : substances préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante

****Phrase de risque**

R45 : peut causer le cancer

R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires

R60 : peut altérer la fertilité

R61 : risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant