



GROUPE D'ETUDES ET D'OBSERVATION
SUR LES DRAGAGES ET L'ENVIRONNEMENT



Evaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin

**Guide méthodologique
Volet C - Etudes de cas**

Février 2018





Membres du comité de pilotage

La rédaction de ce guide a été pilotée par des représentants de la Direction des Services de Transports (DGITM/DST), de la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DGALN/DEB), du CEREMA, d'IFREMER, de l'INERIS, des Grands Ports Maritimes, de la Direction Générale de la Santé, de la DDASS 17, de la DDTM 50 et de la DDTM 13, et de l'Université de Rouen.

Remerciements au Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins pour sa relecture de ce document.

Cette deuxième version de cet annexe corrige des erreurs décelées dans la première version d'août 2014 et se substitue donc à celle-ci

Guide rédigé par



DTecEMF@cerema.fr

Guide mis en forme par



Table des matières

Préambule.....	12
Chapitre 1 Port X.....	14
1.1 Evaluation des risques chimiques.....	14
1.1.1 Caractérisation des sources.....	14
1.1.1.1 Contexte portuaire	14
1.1.1.2 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères de concentration.....	14
1.1.2 Identification des dangers	17
1.1.3 Evaluation du rapport dose-réponse	21
1.1.4 Evaluation de l'exposition des populations	22
1.1.4.1 Réalisation d'un schéma conceptuel.....	22
1.1.4.2 Évaluation des doses d'exposition.....	24
1.1.4.3 Caractérisation des risques	33
1.1.4.4 Analyse des incertitudes.....	35
1.2 Evaluation des risques liés à la contamination microbiologique des sédiments	35
1.2.1 Caractérisation des sources.....	35
1.2.1.1 Contexte portuaire	35
1.2.1.2 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères	36
1.3 Evaluation des risques liés à la contamination phytoplanktonique des sédiments	36
1.4 Conclusion.....	37
Chapitre 2 Port Y.....	38
2.1 Evaluation des risques chimiques.....	38
2.1.1 Caractérisation des sources.....	38
2.1.1.1 Contexte général	38
2.1.1.2 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères de concentrations.....	39
2.1.2 Identification des dangers	41
2.1.3 Evaluation du rapport dose-réponse	42
2.1.4 Evaluation de l'exposition des populations	42
2.1.4.1 Réalisation d'un schéma conceptuel.....	42
2.1.4.2 Evaluation des doses d'exposition.....	44
2.1.4.3 Caractérisation des risques	50
2.1.4.4 Analyse des incertitudes.....	51
2.2 Conclusion.....	51
Chapitre 3 Port Z.....	52
3.1 Evaluation des risques chimiques.....	52
3.1.1 Caractérisation des sources.....	52
3.1.1.1 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères de concentrations.....	52
3.1.2 Identification des dangers	53
3.1.3 Evaluation du rapport dose-réponse	53
3.1.4 Evaluation de l'exposition des populations	53



3.1.4.1	Réalisation d'un schéma conceptuel.....	53
3.1.4.2	Evaluation des doses d'exposition.....	54
3.1.4.3	Caractérisation des risques	58
3.2	Conclusion.....	59
Chapitre 4	Calculs inverses	60
Conclusion générale	62

Liste des tableaux

Tableau 1 - Comparaison des concentrations maximales des substances d'intérêt sanitaire dans les sédiments aux valeurs repères de concentrations (critères décisionnels).....	15
Tableau 2 - Synthèse des effets liés à des expositions subchroniques à chroniques aux substances d'intérêt sanitaire identifiées dans les sédiments de dragage du port X (données Ineris).....	17
Tableau 3 - VTR correspondant à des expositions chroniques par voie orale pour les substances d'intérêt sanitaire des listes 1 à 4 identifiées dans les sédiments du port X (sources : Ineris, ITER).....	21
Tableau 4 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au pyrène.....	30
Tableau 5 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au phénanthrène.....	32
Tableau 6 - Calcul des quotients de danger relatifs au pyrène.....	34
Tableau 7 - Calcul des quotients de danger relatifs au phénanthrène.....	34
Tableau 8 - Calcul des Excès de Risque Individuels relatifs aux HAP.....	35
Tableau 9 - Comparaison des résultats des analyses réalisées dans les sédiments du port X avec les critères décisionnels relatifs à la qualité microbiologique	36
Tableau 10 - Comparaison des concentrations maximales des substances d'intérêt sanitaire dans les sédiments aux critères décisionnels	39
Tableau 11 - Synthèse des effets liés à des expositions subchroniques à chroniques aux substances d'intérêt sanitaire identifiées dans les sédiments de dragage du port Y (Source : Ineris).....	41
Tableau 12 - VTR correspondant à des expositions chroniques par voie orale pour les substances d'intérêt sanitaire des listes 1 à 4 identifiées dans les sédiments du port Y (Source : INERIS, ITER).....	42
Tableau 13 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au phénanthrène.....	46
Tableau 14 - Calcul des quotients de danger relatifs au phénanthrène.....	50
Tableau 15 - Comparaison des concentrations maximales des substances d'intérêt sanitaire dans les sédiments aux critères décisionnels	52
Tableau 16 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au phénanthrène.....	56
Tableau 17 - Calcul des quotients de danger relatifs au phénanthrène.....	58
Tableau 18 - Calcul des excès de risque individuels relatifs au phénanthrène.....	59

Acronymes et abréviations

AESN	Agence de l'Eau Seine-Normandie
AFSSA	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation)
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (anciennement
ASP	Amnesic Shellfish Poison
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BCF	Facteur de bioconcentration
BMF	Facteur de Biomagnification
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CETMEF	Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales (devenu CEREMA depuis janvier 2014)
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
CMR	Cancérogène Mutagène Reprotoxique
COT	Carbone Organique Total
CRoral	Carcinogenic risk
CSHPPF	Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DJA	Dose Journalière Admissible
DJE	Dose Journalière d'Exposition
DJT	Dose Journalière Tolérable
DHA	Dose Hebdomadaire Admissible
DMENO	Dose Minimale pour un Effet Nocif Observé
DMI	Dose Minimale Infectieuse
DMJ	Dose Moyenne Journalière
DSENO	Dose Sans Effet Nocif Observé
DSP	Diarrhetic Shellfish Poison
ENSP	École Nationale de Santé Publique (désormais EHESP)
ER	Excès de Risque
ERS	Evaluation des Risques Sanitaires
ERI	Excès de Risque Individuel



ERU	Excès de Risque Unitaire
GEODE	Groupement d'Étude et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement
GTCF	Germes Témoins de Contamination Fécale
HAP	Hydrocarbures Poly-Aromatiques
HCB	Hexachlorobenzène
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
INVS	Institut National de Veille Sanitaire
MES	Matières en Suspension
MRL	Minimal Risk Level
NQE	Norme de Qualité Environnemental (relatif à la DCE)
NRC	National Research Council
OEHHA	Office of Environmental Health Hazards Assessment
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ORS	Observatoire Régional de Santé
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (Ospar pour « Oslo-Paris »)
PBT	Persistant Bioaccumulable Toxique
PCB	Polychlorobiphényles. DL : Dioxin-like. NoDL : No Dioxine Like.
PCR	Polymerase Chain Reaction
PNEC	Predictive No Effect Concentration
POP	Polluant Organique Persistant (relatif à la convention de Stockholm)
PSP	Paralytic Shellfish Poisoning
QD	Quotient de Danger
REMI	Réseau de surveillance Microbiologique
REPHY	Réseau de surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines
REPOM	Réseau de surveillance de la qualité des eaux et des sédiments des ports maritimes
RfD	Reference Dose
RINBIO	Réseau Intégrateurs Biologiques
RIVM	National Institute for Public Health and the Environment (Pays Bas)

ROCCH	Réseau d'Observation de la Contamination chimique (anciennement RNO)
SDP	Substance Dangereuse Prioritaire (relatif à la DCE)
SP	Substance Prioritaire (relatif à la DCE)
STEP	Station d'Épuration
TBT	Tributylétain
TDI	Tolerable Daily Intake
TEF	Facteur d'Equivalence Toxique
TGD	Technical Guidance Document
UFC	Unité Formant des Colonies
US-EPA	United States Environmental Protection Agency
VHA	Virus de l'Hépatite A
VHE	Virus de l'Hépatite E
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

Glossaire

Biodisponibilité	La biodisponibilité est l'aptitude d'une substance chimique à atteindre sa cible organique. Ce concept très général intègre tous les phénomènes mis en jeu depuis la pénétration de l'agent dangereux dans un organisme vivant jusqu'à son métabolisme, son élimination ou son stockage.
Bioaccumulation	La bioaccumulation désigne la capacité de certains organismes à absorber et concentrer dans tout ou une partie de leur organisme certaines substances chimiques.
Bioamplification	La bioamplification, ou biomagnification (anglicisme), est l'augmentation de concentration d'un polluant au sein d'organismes du bas vers le haut de la chaîne trophique (ou alimentaire). Ce phénomène survient pour les produits qui ne sont dégradés ni dans l'environnement ni (ou très peu) dans le corps des organismes dans lesquels il se trouve.
Bioconcentration	La bioconcentration désigne le phénomène qui, pour une substance donnée, va engendrer des concentrations dans les êtres vivants supérieures aux concentrations présentes dans le milieu.
Danger	Événement de santé indésirable tel qu'une maladie, un traumatisme, un handicap, un décès. Par extension, le danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique, lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique.
Effets stochastiques (ou sans seuils)	Les effets toxiques sans seuil de dose, qui désignent des effets de xénobiotiques toxiques pouvant agir quelle que soit la dose, sont des effets pouvant être provoqués quand par exemple une seule molécule suffit à provoquer un effet adverse dans une cellule, potentiellement néfaste pour l'organisme, par exemple : une mutation de l'ADN. Cette catégorie regroupe les produits CMR : cancérogènes, mutagènes (ou génotoxiques), reprotoxiques.
Chaîne alimentaire	La chaîne alimentaire caractérise une suite de relations alimentaires existant entre les êtres vivants : chaque être vivant mange celui qui le précède.
Effets déterministes (ou à effet de seuil)	Qualifie les effets toxiques dont la gravité est proportionnelle à la dose. Par convention, les effets déterministes ne surviennent que si un seuil de dose est atteint et dépasse les capacités de détoxification, de réparation ou de compensation de l'organisme.
Dose minimale pour un effet nocif observé (DMENO)	Dose ou la concentration la plus faible ayant provoqué un effet nocif observé - par rapport à un groupe témoin - au cours d'une expérimentation animale ou d'une étude épidémiologique.
Dose	Quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Pour l'exposition humaine ou animale aux substances chimiques, elle s'exprime généralement en milligramme par kilo de poids corporel et par jour. A défaut de précision, la dose est externe ou administrée.

Dose journalière admissible (DJA)	La dose journalière admissible est la valeur toxicologique de référence utilisée pour les effets toxiques à seuil quand l'exposition a lieu par voie orale ou cutanée. Elle s'exprime généralement en mg/kg.j (milligramme de substance chimique par kilo de poids corporel et par jour). La DJA définit la quantité maximale théorique d'agent toxique qui peut être administrée à un individu, issu d'un groupe sensible ou non, sans provoquer d'effet nuisible à sa santé.
Dose moyenne journalière (DMJ)	la DMJ est l'estimation de la dose quotidienne reçue par voie orale ou cutanée, en tenant compte de la fréquence et de la durée d'une exposition subchronique ou chronique. Elle s'exprime dans la même unité que la DJA*.
Dose sans effet nocif observé (DSENO)	Dose ou la concentration la plus élevée n'ayant pas provoqué un effet nocif observé - par rapport à un groupe témoin - au cours d'une expérimentation animale ou d'une étude épidémiologique
Effets aigus	Troubles liés à une exposition courte mais à forte dose. Généralement, ils sont immédiats ou surviennent à court terme (quelques heures à quelques jours).
Effets chroniques	Troubles en rapport avec une exposition faible et prolongée. Ils surviennent en général avec un temps de latence qui peut atteindre plusieurs mois, voire des décennies.
Excès de risque (ER)	Risque supplémentaire dû à une exposition spécifique par rapport au risque dans une population de référence (en général non exposée).
Excès de risque individuel (ERI)	Probabilité de survenue d'un danger, au cours de la vie entière d'un individu, liée à une exposition à un agent cancérigène (sans unité).
Excès de risque unitaire (ERU)	Estimation de l'ERI pour une exposition vie entière égale à 1 unité de dose d'agent dangereux. Cet indice est la valeur toxicologique de référence (VTR) pour les effets toxiques sans seuil. Il représente en général la pente de la borne supérieure de l'intervalle de confiance de la courbe dose-réponse et s'exprime, pour une exposition orale ou cutanée, en (mg/kg.j) ⁻¹ .
Exposition	Désigne, dans le domaine sanitaire, le contact entre une situation ou un agent dangereux et un organisme vivant. On distingue plusieurs vecteurs d'exposition ou voies d'exposition : inhalation, contact cutané, ingestion, etc.
Quotient danger (QD) de	Rapport entre l'estimation d'une exposition (exprimée par une dose ou une concentration pour une période de temps spécifiée) et la VTR de l'agent dangereux pour la voie et la durée d'exposition correspondantes. Le QD (sans unité) n'est pas une probabilité et concerne uniquement les effets à seuil.
Risque	Probabilité de survenue d'un danger.
Scénario d'exposition	Définit toutes les caractéristiques physiologiques et comportementales de l'être humain qui sont utilisées pour modéliser l'exposition, notamment : l'âge, le poids, le sexe, le volume respiratoire, la surface cutanée, le budget espace-temps, l'activité réalisée sur le site, la consommation



	alimentaire, l'ingestion de sol, etc.
Substance dangereuse	Molécule capable de provoquer un effet toxique chez l'homme.
Valeur toxicologique de référence (VTR)	Appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologique qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet).

Préambule

Ce guide, produit par le groupe **GEODE**, et élaboré par le **CEREMA** en concertation avec un comité de suivi constitué de gestionnaires portuaires, de représentants de l'administration centrale et des services déconcentrés du MEDDE, du Ministère de la Santé, ainsi que de scientifiques d'Ifremer, de l'Ineris, et de l'Université de Rouen, se veut être une référence pratique et opérationnelle pour **l'évaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et d'immersion de déblais de dragage en estuaire et en mer.**

Il constitue un outil méthodologique pour l'aide à la décision et ne représente pas un élément de doctrine réglementaire.

Comme l'illustrent les différents chapitres de cet ouvrage, la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires repose sur une démarche systématique qui ne doit pas pour autant occulter la nécessité de mener une réflexion approfondie et adaptée au cas par cas, sur les enjeux du projet.

Ce guide constitue ainsi un recueil d'un ensemble de questions à se poser et une « boîte à outils » pour accompagner les parties prenantes d'une opération de dragage et d'immersion dans l'évaluation des risques du projet sur la santé.

Il s'adresse à l'ensemble des acteurs impliqués dans la réflexion sur les impacts des opérations de dragage et d'immersion : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, services instructeurs, services techniques des institutions, bureaux d'étude, usagers...

Ce guide est constitué de trois volets et d'annexes techniques :

- **Un volet de présentation des principes et démarche de l'évaluation des risques sanitaires (volet A) :** ce volet présente la philosophie de l'évaluation des risques sanitaires, ses fondements réglementaires et son articulation avec l'étude d'impact, une synthèse vulgarisée des méthodes d'évaluation appliquée aux dangers chimiques, bactériologiques et phytoplanctoniques, ainsi que des pistes de traitement et de valorisation des résultats d'une telle démarche dans l'optique d'une gestion adéquate des risques.
- **Un volet technique d'outils et méthodes (volet B) :** ce volet regroupe l'ensemble du travail méthodologique mené par le CEREMA et le groupe GEODE dans le cadre de l'élaboration de ce guide. Il présente les méthodologies détaillées qui ont été définies pour chaque type de risque sanitaire à considérer, ainsi que les méthodes de calculs associées.
- **Un volet d'étude de cas (volet C) :** ce volet permet de contextualiser les méthodes théoriques décrites dans les deux premiers volets du guide aux travers de trois cas concrets d'études.

- **Trois annexes techniques :**

- La méthode du Technical Guidance Document (TGD) : l'annexe présente les éléments de calculs de cette méthode applicable à la détermination des concentrations de substances d'intérêt sanitaire dans les différents compartiments du milieu marin (sédiment, eau et biote).
- Les critères de décision pour l'évaluation de la sensibilité sanitaire de projets de dragage et d'immersion : l'annexe présente le travail mené dans le cadre de l'élaboration du guide pour déterminer des concentrations repreneurs dans les sédiments permettant d'évaluer en première approche, la sensibilité du projet par rapport aux enjeux sanitaires et par extension, de juger de l'opportunité de mener ou non une évaluation des risques sanitaires approfondie.
- L'expertise menée par le Docteur A. Mauffret, consultante en sciences de l'environnement, concernant l'évaluation des risques sanitaires liés à la contamination microbiologique des sédiments.

Les études de cas présentées dans ce volet C ont été réalisées par le CEREMA.

Chapitre 1 Port X

1.1 Evaluation des risques chimiques

1.1.1 Caractérisation des sources

1.1.1.1 Contexte portuaire

L'état initial réalisé dans le cadre de l'étude d'impact fait état d'une forte activité industrielle liée au contexte commercial du port. Le port est équipé d'un appontement pétrolier ainsi que d'appontements divers : produits chimiques, gaz... La région du port X est industrielle. Quatre grandes filières dominent :

- textile et habillement ;
- métaux, mécanique, électrique, automobile ;
- chimie ;
- agroalimentaire.

N.B. Ce chapitre est à développer avec des données locales plus précises.

1.1.1.2 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères de concentration

Les sédiments de dragage du port X ont été analysés en laboratoire. Selon la démarche présentée dans le volet technique de ce guide (volet B) et afin d'évaluer la nécessité de réaliser une ERS, les concentrations maximales¹ obtenues pour chaque substance d'intérêt sanitaire analysée ont ensuite été comparées à des valeurs repères de concentration, critères décisionnels de la présente démarche.

Pour rappel les valeurs repères correspondent à des concentrations dans les sédiments en deçà desquelles il n'est pas nécessaire de réaliser une ERS. Elles sont établies selon des hypothèses majorantes qualifiées de protectrices.

¹ Les valeurs maximales de concentration ont été retenues dans la logique d'une démarche protectrice (ou approche pesimiste).

Tableau 1 - Comparaison des concentrations maximales des substances d'intérêt sanitaire dans les sédiments aux valeurs repères de concentrations (critères décisionnels)

(: Dépassement des valeurs repères)

Substances analysées dans les sédiments à draguer			
Substances	Liste	Valeurs repères de concentration	Concentrations maximales mesurées dans les sédiments du port X
Cadmium	1	22 mg/kg p.s.	60 mg/kg p.s.
Plomb	1	968,5 mg/kg p.s.	930 mg/kg p.s.
Σ 6 PCB indicateurs	1	25 µg/kg p.s.	1591 µg/kg p.s.
PCB-DL + dioxines	1	1,8 µgTEQ/kg p.s.	Pas de données pour les dioxines
PCB-DL	1	0,84 µgTEQ/kg p.s.	0,10192 µgTEQ/kg p.s.
Benzo(a)pyrène	1	1,84 mg/kg p.s.	13 mg/kg p.s.
Σ 11 HAP génotoxiques	-	1,84 mg TEQ/kg p.s.	20,43 mg TEQ/kg p.s.
Pyrène	3	12,85 mg/kg p.s.	21 mg/kg p.s.
Phénanthrène	3	21,8 µg/kg p.s.	10 000 µg/kg p.s.
Nickel	3	15 mg/kg p.s.	40 mg/kg p.s.
TBT	3	0,26 µg/kg p.s.	2,45 µg/kg p.s.
Substances analysées dans le cadre du REPOM			
HCB	1	2,9 µg/kg p.s.	< 10 µg/kg p.s. (limite de détection analytique)
Lindane	3	25,6 µg/kg p.s.	< 10 µg/kg p.s. (limite de détection analytique)
Dieldrine	4	1,426 mg/kg p.s.	< 10 µg/kg p.s. (limite de détection analytique)

Les concentrations maximales de huit substances d'intérêt sanitaire mesurées dans les sédiments du port X sont supérieures aux critères décisionnels :

- Cadmium,
- Σ 6 PCB indicateurs,
- HAP : Benzo(a)pyrène, Σ 11 HAP génotoxiques, Pyrène, Phénanthrène,
- Nickel,
- TBT.

Une ERS devra donc être réalisée sur l'ensemble de ces huit substances.

En ce qui concerne l'HCB, les mesures réalisées dans le port ne sont pas exploitables compte tenu du fait que la limite de détection est supérieure au critère décisionnel établi. Il en est de même actuellement pour les mesures réalisées dans le cadre du REPOM.

1.1.2 Identification des dangers

Le tableau suivant décrit les effets chroniques associés aux substances précédemment identifiées pour une exposition par ingestion de produits de la mer.

Tableau 2 - Synthèse des effets liés à des expositions subchroniques à chroniques aux substances d'intérêt sanitaire identifiées dans les sédiments de dragage du port X (données Ineris).

	Substances	N° CAS	Type d'utilisation	Type d'effet	Organe(s) cible(s)
Liste 1	Cadmium	7440-43-9	<p>Utilisations : industries chimique, électrique, et électronique, raffinage de métaux non ferreux, accumulateurs nickel-cadmium, traitement des surfaces métalliques, métallurgie de l'acier, engrais phosphatés, coloration et stabilisation de produits finis (PVC)</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices, combustion du charbon et des produits pétroliers, incinération d'ordures...</p>	Effets systémiques	Reins, os
				Effets cancérigènes	Catégorie 2
				Effets sur la reproduction et le développement	Catégorie 2 par l'union européenne : « substance devant être assimilée à des substances altérant la fertilité dans l'espèce humaine ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine »
	Benzo(a)pyrène	50-32-8	<p>Utilisations : non produit volontairement par l'homme.</p> <p>Sources d'exposition : HAP « pyrolytique » : issu en majorité de la combustion incomplète de matière organique et de produits pétroliers).</p>	Effets systémiques	Estomac, foie, reins, moelle osseuse
				Effets cancérigènes	Catégorie 2
				Effets sur la reproduction et le développement	Catégorie 2 par l'union européenne : « substance devant être assimilée à des substances altérant la fertilité dans l'espèce humaine ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine »
Σ 6PCB indicateurs (28, 52, 101, 138, 153, 180)	1136-36-3	<p>Utilisations : installations électriques (isolants diélectriques, transformateurs, condensateurs) (ni mise en service, ni mise sur le marché depuis 1987).</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices,</p>	Effets systémiques	Tissu adipeux, foie, cerveau	
			Effets cancérigènes	Union Européenne : non classé CIRC : groupe 2a « probablement cancérigènes pour l'homme »	
Liste 2	Anthracène	120-12-7	<p>Utilisations : intermédiaire chimique, biocide, électrographie, constituant du pétrole.</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices, HAP pétrogénique d'origine pétrolière. Naturellement présents dans des combustibles fossiles et générés par leur combustion incomplète ou celles de matières organiques.</p>	Effets systémiques	Pas d'organe cible

	Substances	N° CAS	Type d'utilisation	Type d'effet	Organe(s) cible(s)
	Fluoranthène	206-44-0	<p>Utilisations : revêtements de protection des réseaux de distribution d'eau potable en acier, colorants fluorescents, chimie et pharmacie (synthèse d'agents antiviraux).</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices. HAP pétrogénique : d'origine pétrolière. Naturellement présents dans des combustibles fossiles et générés par leur combustion incomplète ou celles de matières organiques.</p>	Effets systémiques	Foie, reins
	Naphtalène	91-20-3	<p>Utilisations : intermédiaire de synthèse des phtalates et résines, teintures, répulsifs.</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices. HAP pétrogénique : d'origine pétrolière. Naturellement présents dans des combustibles fossiles et générés par leur combustion incomplète ou celles de matières organiques (HAP pyrogénique).</p>	Effets systémiques	Système sanguin, yeux, système gastro-intestinal, système nerveux central
				Effets cancérigènes	Catégorie 3
	Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	<p>Utilisations : non produit volontairement par l'homme.</p> <p>Sources d'exposition : HAP pétrogénique : d'origine pétrolière. Naturellement présents dans des combustibles fossiles et générés par leur combustion incomplète ou celles de matières organiques (HAP pyrogénique).</p>	Effets systémiques	Système immunologique
				Effets cancérigènes	Catégorie 2
	Benzo(ghi)pérylène	191-24-2	<p>Utilisations : non produit volontairement par l'homme.</p> <p>Sources d'exposition : HAP pétrogénique : d'origine pétrolière. Naturellement présents dans des combustibles fossiles et générés par leur combustion incomplète ou celles de matières organiques (HAP pyrogénique).</p>	Effets systémiques	Système immunologique
	Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	<p>Utilisations : non produit volontairement par l'homme.</p> <p>Sources d'exposition : HAP pétrogénique : d'origine pétrolière. Naturellement présents dans des combustibles fossiles et générés par leur combustion incomplète ou celles de matières organiques.</p>	Effets cancérigènes	Catégorie 2

	Substances	N° CAS	Type d'utilisation	Type d'effet	Organe(s) cible(s)
Liste 3	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5	<p>Utilisations : non produit volontairement par l'homme.</p> <p>Sources d'exposition : HAP pétrogénique : d'origine pétrolière. Naturellement présents dans des combustibles fossiles et générés par leur combustion incomplète ou celles de matières organiques.</p>	Effets cancérigènes	Union Européenne : non déterminé CIRC : groupe 2b « pourrait être cancérigène pour l'homme »
	Chrysène	218-01-9	<p>Utilisations : non produit volontairement par l'homme.</p> <p>Sources d'exposition : présent à des concentrations plus élevées que la plupart des autres HAP dans les combustibles fossiles tels que l'huile brute et la lignite. Émissions particulaires des incinérateurs d'ordures ménagères, des appareils ménagers à gaz naturel et des dispositifs de chauffage domestique (bois principalement).</p>	Effets systémiques	Tissu adipeux, tissu mammaire, cerveau, foie
				Effets cancérigènes	Catégorie 2
	Pyrène	129-00-0	<p>Utilisations : fabrication de teintures, dans la synthèse de substances utilisées en optique pour leur brillance, et comme additif dans les huiles d'isolation électrique.</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices, combustion incomplète de charbon et de produits pétroliers, goudron des revêtements routiers, production d'aluminium, de fer et d'acier, fonderies, combustion de déchets, fumée de tabac.</p>	Effets systémiques	Reins
	Phénanthrène	08/01/85	<p>Utilisations : production de colorants, d'explosifs, de produits pharmaceutiques.</p> <p>Sources d'exposition : mauvaise combustion des hydrocarbures, du bois ou du charbon, fumée de tabac, échappements de moteur Diesel ou à essence, viandes grillées au charbon de bois, huiles moteurs usagées.</p>	-	-
	Nickel	7440-02-0	<p>Utilisations : aciers inoxydables et alliages, catalyseur chimique, fabrication de pigments pour métaux et céramiques, batteries, circuits électriques, fonderies de plomb, nickelage électronique.</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices, extraction et production de nickel, poussières naturelles et volcanisme, combustion de pétrole (dont fuel), charbon, et bois, incinération de déchets et épandage de boues de stations d'épuration, eaux usées domestiques.</p>	Effets systémiques	Reins, foie, cœur, poumons
				Effets cancérigènes	Catégories 1 à 3 selon les formes
				Effets sur la reproduction et le développement	Catégorie 2 (tétracarbonylnickel)

	Substances	N° CAS	Type d'utilisation	Type d'effet	Organe(s) cible(s)
	Tributylétain (TBT)	56-35-9	<p>Utilisations : agent biocide dans les peintures antisalissures (interdit en France depuis 1987), catalyseur dans la fabrication de certains produits chimiques et dans le traitement des textiles, du bois, et du papier.</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices, émissions de matériaux traités (PVC notamment), filières de retraitement de ces matériaux.</p>	Effets systémiques	Système immunitaire, foie, reins, rate, muscles, système nerveux central, poumons

1.1.3 Evaluation du rapport dose-réponse

Le tableau suivant présente les VTR associées aux substances précédemment identifiées pour une exposition chronique par voie orale.

Tableau 3 - VTR correspondant à des expositions chroniques par voie orale pour les substances d'intérêt sanitaire des listes 1 à 4 identifiées dans les sédiments du port X (sources : Ineris, ITER).

	Substances chimiques	Type d'effet	Source	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année d'évaluation
Liste 1	Benzo(a)pyrène	sans seuil	RIVM	-	ERUo = 0,2 (mg/kg/j) ⁻¹	2001
	Cadmium	À seuil ²	US EPA	10	RfD = 1,10 ⁻³ mg/kg.j ³	1994
Liste 2	PCB indicateurs (CB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	À seuil	ATSDR	300	MRL = 0,02 µg /kg/j	2000
		sans seuil	US EPA	-	ERUo = 2,0 (mg/kg/j) ⁻¹	1997
	Anthracène	À seuil	US EPA	3000	RfD = 0,3 mg/kg.j	1993
		Sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,01	
	Fluoranthène	À seuil	US EPA	3000	RfD = 4,10 ⁻² mg/kg.j	1993
		Sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,001	
	Naphtalène	À seuil	US EPA	3000	RfD = 2,10 ⁻² (mg/kg.j) ⁴	1998
		sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,001	
	Benzo(b)fluoranthène	sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,1	
	Benzo(ghi)pérylène	À seuil	RIVM		TDI = 30 µg/kg/j	2001
		sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,01	
Benzo(k)fluoranthène	sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,1		
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2003)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,1		
Chrysène	sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,01		
Liste 3	Pyrène	À seuil	US EPA	3000	RfD = 3 10 ⁻² mg/kg.j	1993
		sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,001	
	Phénanthrène	À seuil	RIVM	-	TDI = 4.10 ⁻² mg/kg/j	2001
		sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)		ERUo = ERUo benzo(a)pyrène * 0,001	
Nickel	À seuil	US EPA	300	RfD = 2.10 ⁻² mg/kg.j ⁵	1996	
Tributylétain (TBT)	À seuil	US EPA	100	RfD = 3.10 ⁻⁴ mg/kg.j	1997	

² Seules des VTR par inhalation sont disponibles pour les effets sans seuil.

³ L'Ineris indique également une valeur de l'EFSA (2009) de 3,6.10⁻⁴ mg/kg.j p

⁴ L'ATSDR propose depuis 2003 une valeur de 7.10⁻⁴ mg/kg.j

⁵ Une valeur de 1,1.10⁻² mg/kg.j est proposée par l'OEHHA en 2012.

1.1.4 Evaluation de l'exposition des populations

1.1.4.1 Réalisation d'un schéma conceptuel

Pour évaluer le risque sanitaire lié à la contamination chimique des sédiments de dragage immergés, le scénario suivant a été considéré :

« Consommation de poissons, de crustacés, ou de mollusques se nourrissant exclusivement dans l'aire d'influence des sites de dragage et/ou d'immersion des sédiments »

Le site d'immersion a fait l'objet d'une modélisation des courants qui met en évidence de bonnes capacités de dispersion des sédiments, excepté sur sa zone Est, qui présente une tendance générale à l'engraissement.

Les panaches turbides générés par les opérations de clapage sont orientés selon les courants : sud-ouest à basse mer, et Est-Nord-Est à pleine mer, quel que soit le coefficient de marée.

Les concentrations en MES mesurées sont :

- de 200 mg/l, pendant le clapage ;
- à 100 mg/l sur la zone de vidage, quelques temps après le clapage ;
- hors contexte de clapage, de 10 à 20 mg/l, au large en période de vive-eau ;
- < 20 mg/l sur la côte, en période de clapage.

Les espèces commerciales locales sont dominées par les poissons benthodémersaux : sole, limande-sole, plie, limande, turbot, barbue, morue.

Des espèces démersales sont également pêchées : merlan, hareng, maquereau.

Seule la mytiliculture est pratiquée dans la région. Il n'y a pas de gisement naturel connu. La zone conchylicole la plus proche est située à 10 km du site d'immersion. Cependant, la modélisation de la dispersion des sédiments clapés indique que les panaches turbides n'atteignent pas cette zone.

Ainsi, l'ERS portera sur le risque de contamination des espèces commerciales des poissons identifiées.

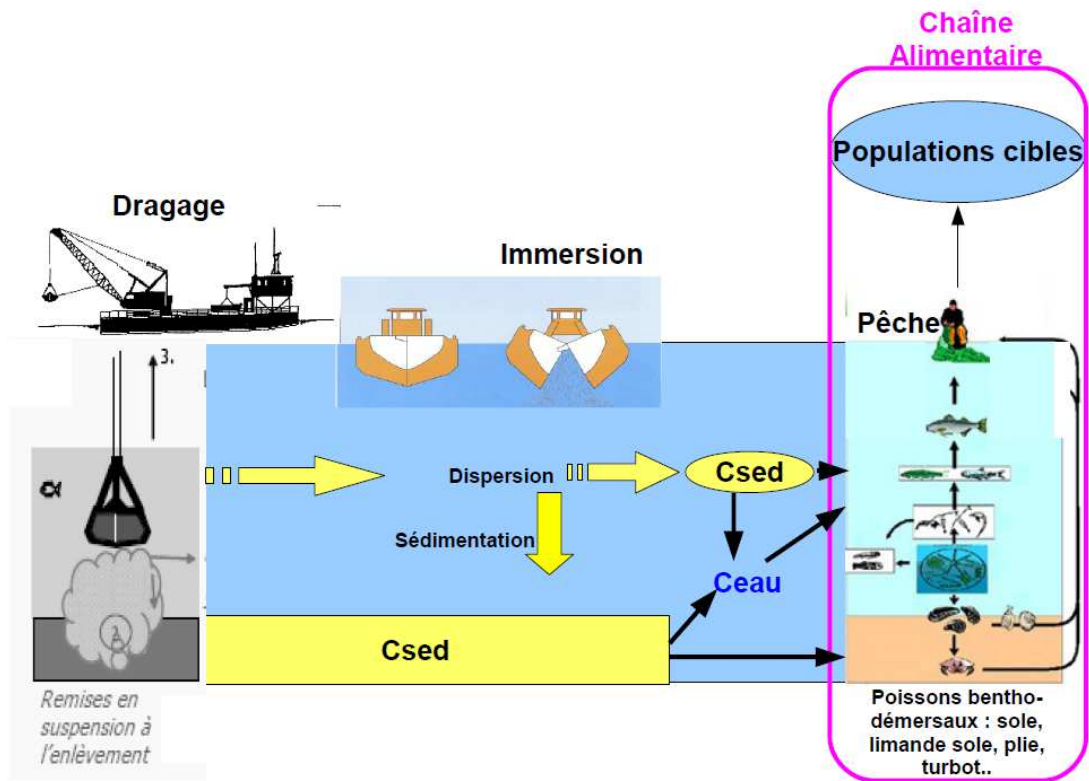


Figure 1 : Schéma conceptuel général - scénario ingestion de poissons vivant dans l'aire d'influence de la zone de dragage et/ou d'immersion des sédiments du port X



1.1.4.2 Évaluation des doses d'exposition

Cadmium

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

De façon à estimer la concentration dans l'eau interstitielle, $C_{\text{eau-i}}$, à partir de la concentration mesurée dans le sédiment, C_{sed} , la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-i}} = (C_{\text{sed}} \times 10^*) / K_{\text{pMES}}$$

avec :

- C_{sed} : concentration dans les sédiments en mg/kg p.s.
- K_{pMES} : coefficient de partage entre solide-eau dans les MES en L/kg = 130 000 L/Kg pour le Cadmium

* La Commission européenne (2005) recommande d'ajouter un facteur de 10 pour les substances dont le K_p est supérieur à 200 L/kg de façon à prendre en compte la voie d'exposition par ingestion directe du sédiment et pas seulement via l'eau interstitielle.

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = (60 \times 10) / 130000 = 0,0046 \text{ mg/L}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau interstitielle calculée précédemment se rapporte à une concentration à l'équilibre entre le sédiment, le biote et l'eau.

De façon à évaluer la concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin, la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-local}} = C_{\text{eau-i}} / [(1 + K_{\text{pMES}} * [\text{MES}] * 10^{-6}) * \text{DILUTION}] + [\text{bruit de fond}]$$

avec :

- [MES] = charge particulaire dans l'eau ;
- [bruit de fond] = bruit de fond de la substance au niveau local.

Le TGD définit, pour le scénario local une concentration en MES de **15 mg/L**.

Dans le cas présent, les concentrations mesurées en MES varient de **10 à 100 mg/L**. De façon à prendre une hypothèse majorante, une concentration en MES de **100 mg/L** sera considérée. Cette concentration correspond aux valeurs mesurées sur la zone d'immersion suite à un clapage.

Un **facteur de dilution de 100 peut être appliqué** en l'absence de données locales. Ce facteur est défini par le TGD dans le cadre d'un scénario local marin.

$$C_{\text{eau-local}} = [0,0046 / (1 + 130\,000 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 1,10^{-6}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ mg/l}$$

Evaluation des concentrations dans le biote

De façon à évaluer la concentration dans le poisson, la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{poisson}} = C_{\text{eau-local}} * BCF_{\text{poisson}} * BMF$$

avec :

- C_{poisson} : concentration dans le poisson en mg/kg p.h.
- $C_{\text{eau-local}}$: concentration dans l'eau de mer en mg/l
- BCF_{poisson} : facteur de bioconcentration eau-poisson = 29,4 (UE, 2005)

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 4,2 \cdot 10^{-6} * 29,4 = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg p.h.}$$



La teneur maximale fixée pour les poissons est de 0,05 mg/kg de p.h.. Il n'y a donc pas de risque sanitaire significatif lié à une contamination des poissons par le cadmium contenu dans les sédiments immergés.

PCB indicateurs

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

De façon à estimer la concentration dans l'eau interstitielle, $C_{\text{eau-i}}$, à partir de la concentration mesurée dans le sédiment, C_{sed} , la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-i}} = C_{\text{sed}} / ((K_{\text{mes-eau}} / RHO_{\text{mes}}) * 1000 * 10^*)$$

avec :

- C_{sed} : concentration dans les sédiments en mg/kg p.h.
- $K_{\text{mes-eau}}$: coefficient de partage MES-eau
- RHO_{mes} : masse volumique des MES en $\text{kg/m}^3 = 1\ 150 \text{ kg/m}^3$

** Conformément aux prescriptions du TGD, pour les substances dont le log KOW est supérieur à 5, un facteur de 10 est ajouté à l'équation de façon à prendre en compte la forte adsorption des substances concernées sur les particules sédimentaires.*

Le coefficient de partage MES-eau ($K_{\text{mes-eau}}$) est spécifique d'une substance donnée. S'il n'est pas connu, il peut être retrouvé à partir de l'équation suivante :

$$K_{\text{mes-eau}} = F_{\text{eau}} + F_{\text{solide}} * (K_{\text{pMES}} / 1000) * RHO_{\text{solide}}$$



avec :

- $K_{p_{MES}}$ = le coefficient de partage eau-solide dans les MES est en l/kg.
- Valeurs par défaut données par le TGD :
 - $F_{eau-mes}$ = Fraction volumique d'eau dans les MES = 0,9
 - $F_{solide-mes}$ = fraction volumique de solide dans les MES = 0,1
 - RHO_{solide} = densité de la phase solide = 2 500 kg/m³.

Le coefficient de partage eau-solide dans les MES ($K_{p_{MES}}$) peut être estimé à partir du coefficient de partage carbone organique-eau, K_{oc} (en l/kg), selon la formule suivante :

$$K_{p_{MES}} = F_{oc_{MES}} * K_{oc}$$

avec :

- $F_{oc_{MES}}$ = fraction de carbone organique dans les MES = 0,1
- K_{oc} = 405 508 (Ineris, 2005)

$$K_{p_{MES}} = 0,1 * 405508 = 40\ 550,8$$

$$K_{MES-eau} = 0,9 + 0,1 * (40550,8 / 1000) * 2500 = 10\ 138,6$$

$$C_{sed} = 1591 \mu\text{g/kg p.s.} = 1,591 \text{ mg/kg p.s.}$$

Pour passer d'une concentration en poids sec à une concentration en poids humide, l'Ineris préconise d'appliquer un quotient de 4,6

$$C_{sed} = 1,591 / 4,6 = 0,346 \text{ mg/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{eau-l} = 0,346 / ((10138,6 / 1150) * 1000 * 10) = 0,0000039 \text{ mg/l} = 3,9 \text{ ng/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin est calculée selon la même démarche que celle présentée pour le cadmium (cf. ci-avant).

$$C_{eau-local} = [0,0000039 / (1 + 40550,8 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 3.10^{-6}$$

$$\Rightarrow C_{eau-local} = 3,007 .10^{-6} \text{ mg/l}$$

Evaluation des concentrations dans le biote

La concentration dans le poisson est calculée selon la même démarche que celle présentée pour le cadmium (cf. ci-avant).

$$\Rightarrow C_{poisson} = 3,007.10^{-6} * 120226 * 10 = 3,615 \text{ mg/kg p.h.}$$

obtenu pour :

- $BCF_{poisson}$: facteur de bioconcentration eau-poisson = 120 226 (calculée à partir du Log K_{ow})
- BMF : facteur de biomagnification = 10



La teneur maximale fixée pour les poissons est de 0,75 mg /kg de p.h.. Il y a donc un risque sanitaire potentiel lié à une contamination des poissons par les PCB indicateurs contenus dans les sédiments immergés.

A ce stade de l'étude, une évaluation de deuxième niveau, intégrant des données locales plus précises est recommandée (BCF choisi en fonction des espèces pêchées localement, bruit de fond régional).

HAP

Benzo(a)pyrène

Evaluation des concentrations dans le biote

La concentration dans l'eau interstitielle, est définie selon la même approche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$K_{p_{MES}} = 500\ 000\ \text{l/kg}$ (d'après l'Ineris (2010), valeur calculée à partir du K_{oc}).

$K_{mes-eau} = 0,9+0,1 * (500000 / 1000) * 2500 = 125\ 000,9$

$C_{sed\ p.h.} = C_{sed\ p.s.}/4,6 = 2,82\ \text{mg/kg p.h.}$

$\Rightarrow C_{eau-i} = 2,82 / ((125\ 000,9 / 1150) * 1000 * 10) = 2,6 \cdot 10^{-6}\ \text{mg/l} = 2,6\ \text{ng/l}$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin est calculée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$C_{eau-local} = [2,6 * 10^{-6} / (1 + 50000 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 1 \cdot 10^{-7}$

$\Rightarrow C_{eau-local} = 1 \cdot 10^{-7}\ \text{mg/l}$

Evaluation des concentrations dans le biote

La concentration dans le poisson est évaluée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$\Rightarrow C_{poisson} = 1 \cdot 10^{-7} * 2700 * 2 = 5,43 \cdot 10^{-4}\ \text{mg/kg p.h.} = 0,543\ \mu\text{g/kg de p.h.}$

obtenu pour :

- BCFpoisson : facteur de bioconcentration eau-poisson = 2700 (UE, 2005)
- BMF : facteur de biomagnification = 2 (valeur TGD)



La teneur maximale fixée pour les poissons est de 2 µg/kg de p.h.. Il n'y a donc pas de risque sanitaire significatif lié à une contamination des poissons par le benzo(a)pyrène contenu dans les sédiments immergés.

HAP génotoxiques
Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

La concentration dans l'eau interstitielle, est définie selon la même approche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$K_{pmes} = 500\ 000\ \text{l/kg}$ (d'après l'Ineris (2010), valeur calculée à partir du K_{oc}).

$$K_{mes-eau} = 0,9 + 0,1 * (500000 / 1000) * 2500 = 125\ 000,9$$

$$C_{sed\ p.h.} = C_{sed\ p.s.} / 4,6 = 20,43 / 4,6 = 4,44\ \text{mg TEQ/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{eau-i} = 4,44 / ((10138,6 / 1150) * 1000 * 10) = 4,09 \cdot 10^{-6}\ \text{mg TEQ/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin est calculée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$$C_{eau-local} = [4,09 * 10^{-6} / (1 + 50000 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 1 \cdot 10^{-7}$$

$$\Rightarrow C_{eau-local} = 1 \cdot 10^{-7}\ \text{mg TEQ/l}$$

Évaluation des concentrations dans le biote

La concentration dans le poisson est évaluée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$$\Rightarrow C_{poisson} = 1 \cdot 10^{-7} * 2700 * 2 = 5,43 \cdot 10^{-4}\ \text{mg TEQ/kg p.h.} \\ = 0,543\ \mu\text{g TEQ/kg de p.h.}$$

obtenu pour :

- BCFpoisson : facteur de bioconcentration eau-poisson = 2700 (UE, 2005)

BMF : facteur de biomagnification = 2 (valeur TGD)



La teneur maximale fixée pour les poissons est de 2 µg TEQ /kg de p.h.. Il n'y a donc pas de risque sanitaire significatif lié à une contamination des poissons par les HAPs génotoxiques contenus dans les sédiments immergés.

Pyrène
Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

La concentration dans l'eau interstitielle, est définie selon la même approche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$K_{pMES} = 0,1 * 67992 = 6\ 799,2$ (d'après l'Ineris (2010), valeur calculée à partir du K_{oc}).

$$K_{mes-eau} = 0,9 + 0,1 * (6799,2 / 1000) * 2500 = 1\ 700,7$$



$$C_{\text{sed p.h.}} = C_{\text{sed p.s.}} / 4,6 = 21 / 4,6 = 4,57 \text{ mg/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = 4,57 / ((1700 / 1150) * 1000 * 10) = 3,09.10^{-4} \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin est calculée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$$C_{\text{eau-local}} = [3,091 * 10^{-4} / (1 + 6799,2 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 1.10^{-6}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 2.84.10^{-6} \text{ mg/l}$$

Evaluation des concentrations dans le biote

La concentration dans le poisson est évaluée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 2,84.10^{-6} * 4810 * 2 = 2,73.10^{-2} \text{ mg/kg de p.h.}$$

obtenu pour :

- BCF_{poisson} : facteur de bioconcentration eau-poisson = 4 810 (UE, 2005)
- BMF : facteur de biomagnification = 2 (valeur TGD)

Le pyrène ne faisant pas l'objet d'une réglementation en ce qui concerne sa teneur dans les produits de la mer, il est donc nécessaire de poursuivre l'ERS par l'évaluation des doses d'exposition humaines et la comparaison de ces doses avec les valeurs toxicologiques de référence.

Calcul de la Dose Journalière d'Exposition

La dose journalière d'exposition peut être calculée selon la formule suivante :

$$DJE = [(C_{\text{poisson}} * \text{consommation}) / \text{poids}]$$

avec :

- DJE = Dose journalière d'exposition en mg/j/kg
- $C_{\text{poisson/crustacés/mollusques}}$ = Concentration estimée dans les produits de la mer en mg/kg p.h.
- Consommation = ration alimentaire pour le produit de la mer considéré en kg/j
- Poids = poids moyen des individus de la population considérée en kg



Tableau 4 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au pyrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
Poids corporel	16 kg	70 kg		70 kg
Durée d'exposition (an)	6 ans	30 ans		-
Consommation moyenne de poisson	18,3 g/jour Inca 2 (2009)	90 g/jour Calipso, 2006	30 g/j (Inca 2, 2009)	115 g / jour
Consommation moyenne de mollusques et crustacés	1,4 g/jour Inca 2 (2009)	38 g/jour Calipso, 2006	4,5 g/j (INCA 2, 2009)	
DJE (mg/kg/j)	$3,13 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$4,43 \cdot 10^{-5}$

La caractérisation des risques issue des Doses Journalières d'Exposition ici calculées pour le pyrène est présentée en section 3.1.4.3 du présent chapitre.

Phénanthrène (HAP)

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

La concentration dans l'eau interstitielle, est définie selon la même approche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant), à l'exception prêt que pour cette substance, le facteur 10 n'est pas pris en compte (K_{OW} inférieur à 5).

$K_{pMES} = 0,1 * 4,18 = 0,418$ (valeur calculée à partir du $K_{oc\ pris}$ égal à 4,18 selon Ineris, 2010).

$$K_{mes-eau} = 0,9 + 0,1 * (0,418 / 1000) * 2500 = 1,004$$

$$C_{sed\ p.h.} = C_{sed\ p.s.} / 4,6 = 10 / 4,6 = 2,17\ mg/kg\ p.h.$$

$$\Rightarrow C_{eau-i} = 2,17 / ((1,004 / 1150) * 1000) = 2,49\ mg\ /l$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin est calculée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$$C_{eau-local} = [2,49 / (1 + 0,418 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 1 \cdot 10^{-5}$$

$$\Rightarrow C_{eau-local} = 2,5 \cdot 10^{-2}\ mg/l$$

**Evaluation des concentrations dans le biote**

La concentration dans le poisson est évaluée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 2,5 \cdot 10^{-2} * 2229 * 2 = 111 \text{ mg/kg de p.h.}$$

obtenu pour :

- BCFpoisson : facteur de bioconcentration eau-poisson = 2 229 (Ineris, 2009)
- BMF : facteur de biomagnification = 2 (valeur TGD)

Le phénanthrène ne faisant pas l'objet d'une réglementation en ce qui concerne sa teneur dans les produits de la mer, il est donc nécessaire de poursuivre l'ERS par l'évaluation des doses d'exposition humaines et la comparaison de ces doses avec les valeurs toxicologiques de référence.

Calcul de la Dose Journalière d'Exposition

La dose journalière d'exposition est calculée selon la même démarche que celle présentée pour le pyrène (cf. ci-avant).

Tableau 5 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au phénanthrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
Poids corporel	16 kg	70 kg		70 kg
Consommation moyenne de poisson	18,3 g/jour Inca 2 (2009)	90 g/jour Calipso, 2006	30 g/j (Inca 2, 2009)	115 g/jour
Consommation moyenne de mollusques et crustacés	1,4 g/jour Inca 2 (2009)	38 g/jour Calipso, 2006	4,5 g/j (INCA 2, 2009)	
DJE (mg/kg/j)	$1,27 \cdot 10^{-1}$	$1,43 \cdot 10^{-1}$	$4,76 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-1}$

La caractérisation des risques issue des Doses Journalières d'Exposition ici calculées pour le Phénanthrène est présentée en section 3.1.4.3 du présent chapitre.

NICKEL



Le nickel ne se bioaccumule pas dans les poissons, mais seulement dans les mollusques. Dans le cas présent, aucun site conchylicole, ni aucun gisement naturel coquiller n'est impacté par le clapage des sédiments.

Ainsi, il n'y a pas d'exposition humaine possible, et l'ERS n'est donc pas nécessaire.

TBT

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

La concentration dans l'eau interstitielle, est définie selon la même approche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant) à l'exception prêt que pour cette substance, le facteur 10 n'est pas pris en compte (K_{OW} inférieur à 5).

$$K_{\text{mes-eau}} = 0,9 + 0,1 * (108 / 1000) * 2500 = 27,9 \text{ (obtenu pour } K_{\text{pMES}} = 108 \text{ (UE, 2005))}$$

$$C_{\text{sed p.h.}} = C_{\text{sed p.s.}} / 4,6 = 2,45 \cdot 10^{-3} / 4,6 = 5,33 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = 5,33 \cdot 10^{-4} / ((27,9 / 1150) * 1000) = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ mg / l}$$

**Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet**

La concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin est calculée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant). Le bruit de fond de la substance au niveau local est pris égal à 0, en l'absence de données.

$$C_{\text{eau-local}} = [2,2 \cdot 10^{-5} / (1 + 108 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 0$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 2,17 \cdot 10^{-7} \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans le biote

La concentration dans le poisson est évaluée selon la même démarche que celle présentée pour les PCB indicateurs (cf. ci-avant).

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 2,17 * 10^{-7} * 6\ 000 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ mg/kg p.h}$$

obtenu pour :

- BCFpoisson : facteur de bioconcentration eau-poisson = 6 000 (UE, 2005)
- BMF : facteur de biomagnification = 1 (pas de facteur de biomagnification)

Le TBT ne fait pas l'objet d'une réglementation en ce qui concerne sa teneur dans les produits de la mer. Cependant, des standards de qualité dans les produits de la mer ont été proposés par la Commission Européenne (CE, 2005).

Pour le TBT, la concentration suivante ne doit pas être dépassée dans les tissus des poissons, mollusques, ou crustacés : 15,2 µg/kg p.h., soit 0,0152 mg/kg p.h..



Dans le cas présent, la concentration observée, que ce soit chez les poissons ou les mollusques, est inférieure aux recommandations préconisées par la Commission Européenne.

Il n'y a donc pas de risque sanitaire lié à la présence de ce contaminant dans les sédiments.

1.1.4.3 Caractérisation des risques

Seules les substances non réglementées dans les produits de la mer sont concernées par cette partie : pyrène, phénanthrène, et TBT.

Estimation du risque pour les effets à seuil – Quotient de danger

Pyrène

Les quotients de danger relatifs au pyrène sont fournis dans le tableau suivant. Ils ont été obtenus avec un VTR = RfD : Reference dose = $3 \cdot 10^{-2}$ mg/kg/j (USEPA, 1993).

Tableau 6 - Calcul des quotients de danger relatifs au pyrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
DJE (mg/kg/j)	$3,13 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$4,43 \cdot 10^{-5}$
QD	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$3,89 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$

Légende  Quotient de danger inférieur à 1



Pour chacune des classes d'âge considérées, les Quotients de Danger (QD) sont inférieurs à 1.



Ainsi, la probabilité de survenue d'un effet toxique liée à la concentration de pyrène observée dans les sédiments est faible.

Phénanthrène

Les quotients de danger relatifs au phénanthrène sont fournis dans le tableau suivant. Ils ont été obtenus avec un VTR = TDI : Tolerable daily intake = $4 \cdot 10^{-2}$ mg/kg/j (RIVM, 2001).

Tableau 7 - Calcul des quotients de danger relatifs au phénanthrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
DJE (mg/kg/j)	$1,27 \cdot 10^{-1}$	$1,43 \cdot 10^{-1}$	$4,76 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-1}$
QD	3,18	3,57	1,19	4,56

Légende  Quotient de danger inférieur à 1  Quotient de danger supérieur à 1



Les Quotients de Danger calculés pour le phénanthrène sont supérieurs à 1. Ainsi, un impact sanitaire ne peut être exclu.

À ce stade, une évaluation de deuxième niveau, intégrant des données de consommation locales est recommandée.

Estimation du risque pour les effets sans seuil


Pyrène, phénanthrène et HAP génotoxiques

Les Excès de Risque Individuel (ERI) définis pour les effets sans seuil sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 8 - Calcul des Excès de Risque Individuels relatifs aux HAP

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
Durée d'exposition (an)	6 ans	30 ans		-
DJE Pyrène (mg/kg/j)	$3,13 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$4,43 \cdot 10^{-5}$
DJE Phénanthrène (mg/kg/j)	$1,27 \cdot 10^{-1}$	$1,43 \cdot 10^{-1}$	$4,76 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-1}$
ERI pyrène + phénanthrène	$2,18 \cdot 10^{-6}$	$1,22 \cdot 10^{-5}$	$4,08 \cdot 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-5}$
ERI HAP totaux	$2,54 \cdot 10^{-6}$	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$4,76 \cdot 10^{-6}$	$1,83 \cdot 10^{-5}$

Légende ERI inférieur à 10^{-5} ERI supérieur à 10^{-5}



Que ce soit pour le pyrène + phénanthrène ou pour l'ensemble des HAP (HAP génotoxiques, pyrène, phénanthrène), l'ERI obtenu dépasse légèrement la valeur seuil pour les forts et très forts consommateurs. De ce fait, un impact sanitaire ne peut être exclu.

A ce stade, une évaluation de deuxième niveau, intégrant des données de consommation locales est recommandée.

Si un risque est encore mis en évidence, des mesures spécifiques de gestion devront être mises en place (surveillance de la contamination des poissons, modification du projet etc.).

1.1.4.4 Analyse des incertitudes

Seul un risque sanitaire lié à une exposition chronique par voie orale à un mélange de HAP a été mis en évidence. L'analyse des incertitudes portera donc uniquement sur ce risque.

De façon à relativiser les incertitudes relatives aux résultats analytiques et aux plans d'échantillonnage, il est possible de considérer des concentrations moyennes à la place des concentrations maximales.

Concernant les HAP, l'incertitude principale concerne la non prise en compte de leur métabolisation par les organismes.

1.2 Evaluation des risques liés à la contamination microbiologique des sédiments

1.2.1 Caractérisation des sources

1.2.1.1 Contexte portuaire

- Le port X ne reçoit pas de rejets de stations d'épuration.
- Les sources potentielles de contamination microbiologique des sédiments sont les apports urbains, ainsi que les rejets des navires.
- La qualité des eaux conchylicoles du secteur varie de B (consommables après purification) à D (pêche et élevage interdits).

1.2.1.2 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères

Tableau 9 - Comparaison des résultats des analyses réalisées dans les sédiments du port X avec les critères décisionnels relatifs à la qualité microbiologique

Paramètres	Critères décisionnels	Port X Valeurs maximales
Granulométrie	Fraction < 5 µm majoritaire ?	Seule la fraction < à 63 µm a été déterminée. Elle apparaît toutefois majoritaire
Teneur en MO (ou COT)	> 3% ?	Oui dans certains secteurs du port
<i>E.coli</i>	> 10 000 <i>E. coli</i> / 100 g de sédiment sec ?	non
Entérocoques	> 4 000 entérocoques / 100 g de sédiment sec ?	non
Germes pathogènes ?	Présence ?	Non analysés














Le non dépassement des seuils définis pour les germes témoins de contamination fécale (*E.coli* et entérocoques) permet d'exclure un risque sanitaire potentiel lié à la contamination microbiologique des sédiments.

1.3 Evaluation des risques liés à la contamination phytoplanctonique des sédiments



Selon les résultats du réseau de surveillance REPHY, le port X n'est pas situé dans une zone à risque concernant les efflorescences phytoplanctoniques

1.4 Conclusion

Type de contamination	Substances analysées	Résultats des analyses et calculs	Démarches complémentaires
Contamination chimique	Cadmium	 Pas de risque sanitaire	-
	PCB	 Risque sanitaire potentiel pour les forts consommateurs de poissons (effets à seuil et sans seuil)	Evaluation de deuxième niveau (données locales concernant les espèces pêchées, le bruit de fond régional, la fréquence de consommation etc.)
	Benzo(a)pyrène	 Pas de risque sanitaire	-
	HAP	 Risque sanitaire potentiel pour les forts consommateurs de poissons (effets à seuil et sans seuil)	Evaluation de deuxième niveau (données locales concernant les espèces pêchées, le bruit de fond régional, la fréquence de consommation etc.)
	Pyrène	 Risque sanitaire potentiel pour les forts consommateurs de poissons (effets sans seuil)	Evaluation de deuxième niveau (données locales concernant les espèces pêchées, le bruit de fond régional, la fréquence de consommation etc.)
	Phénanthrène	 Risque sanitaire potentiel pour les forts consommateurs de poissons (effets à seuil et sans seuil)	Evaluation de deuxième niveau (données locales concernant les espèces pêchées, le bruit de fond régional, la fréquence de consommation etc.)
	Nickel	 Pas de risque sanitaire	-
	TBT	 Pas de risque sanitaire	-
Contamination microbiologique	<i>E.coli</i>	 Pas de risque sanitaire	-
	Entérocoques	 Pas de risque sanitaire	-
Contamination phytoplantonique	Phytoplancton et Phycotoxines	 Pas de risque sanitaire	-

Si un risque est mis en évidence suite aux évaluations de deuxième niveau, des mesures de gestion spécifiques devront être mises en place (surveillance de la contamination des poissons ou modification du projet).

Chapitre 2 Port Y

2.1 Evaluation des risques chimiques

2.1.1 Caractérisation des sources

2.1.1.1 Contexte général

Les travaux de dragage seront réalisés en automne-hiver (2 mois à 2 mois ½). Les sédiments seront ensuite immergés.

La distance minimale du site d'immersion à la côte est de 4 km.

Caractéristiques physiques du sédiment

Les sédiments du port Y sont majoritairement constitués de vase (63 à 83%, selon les secteurs). D'après les niveaux GEODE, ils sont faiblement contaminés. Seuls onze contaminants atteignent ou dépassent le niveau N1 :

- TBT ;
- dix molécules HAP : (acénaphène, fluorène, phénanthrène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène).

Contamination chimique et biologique des sédiments

Les sédiments du port Y ont fait l'objet d'analyses microbiologiques :

- les coliformes thermotolérants n'ont pas été détectés ;
- les entérocoques intestinaux ont été détectés (10 à 70 cfu/g), ce qui met en évidence une contamination fécale ancienne ;
- les bactéries sulfite-réductrices ont également été dosées (70 à 25 cfu/g).

Activités sensibles

Le port Y est situé à proximité d'une zone conchylicole.

La zone conchylicole la plus proche est située à 10 km de la zone d'immersion.

La qualité des eaux conchylicoles est moyenne (230 à 1000 E.coli/100g).

Les espèces cultivées sont l'huître creuse et la palourde.

La pêche à pied récréative est également pratiquée dans la zone d'étude (coquillages fousseurs et non fousseurs)

La distance minimale du site d'immersion à une zone de baignade est de 4 km.

La qualité des eaux de baignade situées à proximité du port Y varie de bonne à moyenne.

Des phycotoxines ont été détectées via le réseau REPHY de l'Ifremer. Il s'agit de Pseudo-Nitzschia, Alexandrium et Dinophysis.

Le site d'immersion est fréquenté par les pêcheurs pratiquant la petite pêche et la pêche côtière.

La dispersion du nuage turbide, suite aux clapages, a été modélisée et évaluée à 900 mètres.

2.1.1.2 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères de concentrations

Les valeurs repères correspondent à des concentrations dans les sédiments en deçà desquelles il n'y a pas de risques sanitaires inacceptables pour la substance considérée.

De façon à vérifier la nécessité de réaliser une ERS pour les contaminants susceptibles d'être retrouvés dans les sédiments et présentant un danger pour la santé humaine, les résultats des analyses chimiques réalisées dans les sédiments du port Y en 2008 ont été mis en relation avec les valeurs repères établies pour les substances d'intérêt sanitaire :

Tableau 10 - Comparaison des concentrations maximales des substances d'intérêt sanitaire dans les sédiments aux critères décisionnels

( : Dépassement des valeurs repères)

Substances analysées dans les sédiments à draguer			
Substances	Liste	Valeurs repères de concentration	Concentrations maximales mesurées dans les sédiments du port Y
Cadmium	1	22 mg/kg p.s.	0,41 mg/kg p.s.
Plomb	1	968,5 mg/kg p.s.	50 mg/kg p.s.
Σ 6 PCB indicateurs	1	25 µg/kg p.s.	< 60 µg/kg p.s.
PCB-DL + dioxines	1	1,8 µgTEQ/kg p.s.	Pas de données pour les dioxines
PCB-DL	1	0,84 µgTEQ/kg p.s.	Pas de données
Benzo(a)pyrène	1	1,84 mg/kg p.s.	0,47 mg/kg p.s.
Σ 11 HAP géotoxiques	-	1,84 mg TEQ/kg p.s.	0,7 mg TEQ/kg p.s.
Pyrène	3	12,85 mg/kg p.s.	0,68 mg/kg p.s.
Phénanthrène	3	21,8 µg/kg p.s.	440 µg/kg p.s.
Nickel	3	15 mg/kg p.s.	29 mg/kg p.s.
TBT	3	0,26 µg/kg p.s.	254 µg/kg p.s.
Substances analysées dans le cadre du REPOM			
HCB	1	2,9 µg/kg p.s.	<10 µg/kg p.s.
Lindane	3	25,6 µg/kg p.s.	<10 µg/kg p.s.
Dieldrine	4	1,426 mg/kg p.s.	<0,010 mg/kg p.s.

Les concentrations maximales de trois substances d'intérêt sanitaire mesurées dans les sédiments du port Y sont supérieures aux valeurs repères :

- Phénanthrène
- Nickel
- TBT

Une ERS devra donc être conduite sur l'ensemble de ces trois substances

En ce qui concerne l'HCB, et les PCB les mesures réalisées ne sont pas exploitables compte tenu du fait que la limite de détection est supérieure au critère décisionnel établi.

2.1.2 Identification des dangers

Le tableau suivant décrit les effets chroniques associés aux substances précédemment identifiées pour une exposition par ingestion de produits de la mer.

Tableau 11 - Synthèse des effets liés à des expositions subchroniques à chroniques aux substances d'intérêt sanitaire identifiées dans les sédiments de dragage du port Y (Source : Ineris).

	Substances	N° CAS	Type d'utilisation	Type d'effet	Organe(s) cible(s)
Liste 3	Phénanthrène	08/01/85	<p>Utilisations : production de colorants, d'explosifs, de produits pharmaceutiques.</p> <p>Sources d'exposition : mauvaise combustion des hydrocarbures, du bois ou du charbon, fumée de tabac, échappements de moteur Diesel ou à essence, viandes grillées au charbon de bois, huiles moteurs usagées.</p>	-	-
	Nickel	7440-02-0	<p>Utilisations : aciers inoxydables et alliages, catalyseur chimique, fabrication de pigments pour métaux et céramiques, batteries, circuits électriques, fonderies de plomb, nickelage électronique.</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices, extraction et production de nickel, poussières naturelles et volcanisme, combustion de pétrole (dont fuel), charbon, et bois, incinération de déchets et épandage de boues de stations d'épuration, eaux usées domestiques.</p>	Effets systémiques	Reins, foie, cœur, poumons
				Effets cancérigènes	Catégories 1 à 3 selon les formes
	Tributylétain (TBT)	56-35-9	<p>Utilisations : agent biocide dans les peintures antisalissures (interdit en France depuis 1987), catalyseur dans la fabrication de certains produits chimiques et dans le traitement des textiles, du bois, et du papier.</p> <p>Sources d'exposition : via industries utilisatrices, émissions de matériaux traités (PVC notamment), filières de retraitement de ces matériaux.</p>	Effets sur la reproduction et le développement	Catégorie 2 (tétracarbonylnickel)
				Effets systémiques	Système immunitaire, foie, reins, rate, muscles, système nerveux central, poumons

2.1.3 Evaluation du rapport dose-réponse

Le tableau suivant présente les VTR associées aux substances précédemment identifiées pour une exposition chronique par voie orale.

Tableau 12 - VTR correspondant à des expositions chroniques par voie orale pour les substances d'intérêt sanitaire des listes 1 à 4 identifiées dans les sédiments du port Y (Source : INERIS, ITER).

Substances chimiques	Type d'effet	Source	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année d'évaluation
Phénanthrène	À seuil	RIVM	-	TDI = 4.10^{-2} mg/kg.j	2001
	Sans seuil	Approche TEF (Ineris, 2006)	-	ERU _o = ERU _{o, benzo(a)pyrène} * 0,001	-
Nickel	À seuil	US EPA	300	RfD = 2.10^{-2} mg/kg/j ⁶	1996
Tributylétain (TBT)	À seuil	US EPA	100	RfD = 3.10^{-4} mg/kg/j	1997

2.1.4 Evaluation de l'exposition des populations

2.1.4.1 Réalisation d'un schéma conceptuel

Pour évaluer le risque sanitaire lié à la contamination chimique des sédiments du port Y, le scénario suivant a été considéré :

« Consommation de poissons, de crustacés, ou de mollusques se nourrissant exclusivement dans l'aire d'influence des sites de dragage et/ou d'immersion des sédiments »

Le site d'immersion a fait l'objet d'une modélisation des courants qui met en évidence une dispersion possible du nuage turbide sur une distance maximale de 900 mètres.

La zone conchylicole la plus proche étant située à 10 km du site d'immersion, elle ne devrait pas être impactée. Cependant, des zones conchylicoles sont situées dans l'aire d'influence du site de dragage. Les espèces concernées sont l'huître creuse et la palourde.

Ainsi, l'ERS portera sur le risque de contamination des poissons et des mollusques (huître creuse et palourde).

D'après ces informations, le schéma conceptuel suivant peut être construit. A noter que l'exposition par contact cutané ne concerne que la contamination biologique des sédiments.

⁶ Une valeur de $1,1.10^{-2}$ mg/kg.j est proposée par l'OEHHA en 2012.

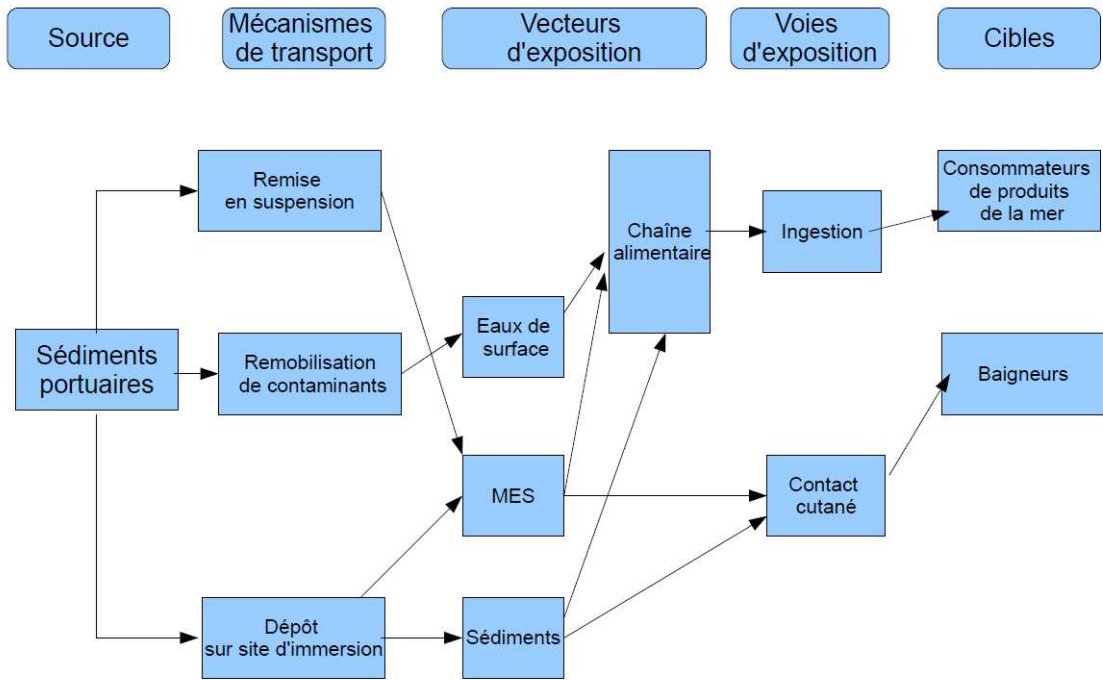


Figure 2 - Schéma conceptuel pour le cas du port Y

2.1.4.2 Evaluation des doses d'exposition

Phénanthrène

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

De façon à estimer la concentration dans l'eau interstitielle, $C_{\text{eau-i}}$, à partir de la concentration mesurée dans le sédiment, C_{sed} , la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-i}} = C_{\text{sed}} / ((K_{\text{mes-eau}} / \text{RHO}_{\text{mes}}) * 1000)$$

avec :

- C_{sed} : concentration dans les sédiments en mg/kg p.h.
- $K_{\text{mes-eau}}$: coefficient de partage MES-eau
- RHO_{mes} : masse volumique des MES en $\text{kg/m}^3 = 1\,150\text{ kg/m}^3$

Le coefficient de partage MES-eau ($K_{\text{mes-eau}}$) est spécifique d'une substance donnée. S'il n'est pas connu, il peut être retrouvé à partir de l'équation suivante :

$$K_{\text{mes-eau}} = \text{Feau}_{\text{mes}} + \text{Fsolide}_{\text{mes}} * (K_{\text{pMES}} / 1000) * \text{RHO}_{\text{solide}}$$

avec :

- K_{pMES} = le coefficient de partage eau-solide dans les MES est en L/kg.
- Valeurs par défaut données par le TGD :
 - Feau_{mes} = Fraction volumique d'eau dans les MES = 0,9
 - $\text{Fsolide}_{\text{mes}}$ = fraction volumique de solide dans les MES = 0,1
 - $\text{RHO}_{\text{solide}}$ = densité de la phase solide = $2\,500\text{ kg/m}^3$.

$$K_{\text{pMES}} = 0,1 * 4,18 = 0,418 \text{ (obtenu pour } K_{\text{oc}} = 4,18 \text{ (d'après Ineris, 2010))}$$

$$K_{\text{mes-eau}} = 0,9 + 0,1 * (0,418 / 1000) * 2500 = 1,004$$

$$C_{\text{sed p.h.}} = C_{\text{sed p.s.}} / 4,6 = 0,44 / 4,6 = 0,096 \text{ mg/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = 0,096 / ((1,004 / 1150) * 1000) = 0,11 \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau interstitielle calculée précédemment se rapporte à une concentration à l'équilibre entre le sédiment, le biote et l'eau.

De façon à évaluer la concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin, la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-local}} = C_{\text{eau-i}} / [(1 + K_{\text{pMES}} * [\text{MES}] * 10^{-6}) * \text{DILUTION}] + [\text{bruit de fond}]$$

avec :

- $[\text{MES}]$ = charge particulaire dans l'eau ;
- $[\text{bruit de fond}]$ = bruit de fond de la substance au niveau local = 1.10^{-5} (Ineris, 2010)



Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

Le TGD définit, pour le scénario local une **concentration en MES de 15 mg/l**.

Dans le cas présent, les concentrations mesurées en MES par modélisation sont :

- de 19 g/l, 5 minutes après le clapage, au dessus du fond ;
- de 15 g/l, 15 minutes après le clapage, au dessus du fond ;
- de quelques centaines de mg/l, à un mètre de la surface.

De façon à prendre une hypothèse majorante, une concentration en MES de 1500 mg/l sera considérée.

Un facteur de dilution de 100 peut être appliqué en l'absence de données locales. Ce facteur est défini par le TGD dans le cadre d'un scénario local marin.

$$C_{\text{eau-local}} = 0,11 / [(1 + 0,418 * 1500 * 10^{-6}) * 100] + 1.10^{-5}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 1,1.10^{-3} \text{ mg/l}$$

Evaluation des concentrations dans le biote

De façon à évaluer la concentration dans le poisson, la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{poisson}} = C_{\text{eau-local}} * BCF_{\text{poisson}} * BMF$$

avec :

- C_{poisson} : concentration dans le poisson en mg/kg p.h.
- $C_{\text{eau-local}}$: concentration dans l'eau de mer en mg/l
- BCF_{poisson} : facteur de bioconcentration eau-poisson = 2 229 (Ineris, 2009)
- BMF : facteur de biomagnification = 2 (valeur TGD)

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 1,1.10^{-3} * 2229 * 2 = 4,92 \text{ mg/kg de p.h.}$$

N.B. : l'absence de BCF pour les mollusques ne permet pas d'évaluer le risque sur ces organismes.

Le phénanthrène ne faisant pas l'objet d'une réglementation en ce qui concerne sa teneur dans les produits de la mer, il est donc nécessaire de poursuivre l'ERS par l'évaluation des doses d'exposition humaines et la comparaison de ces doses avec les valeurs toxicologiques de référence.



Calcul de la Dose Journalière d'Exposition

La dose journalière d'exposition peut être calculée selon la formule suivante :

$$DJE = [(C_{\text{poisson}} * \text{consommation}) / \text{poids}]$$

avec :

- DJE = Dose journalière d'exposition en mg/j/kg
- $C_{\text{poisson/crustacés/mollusques}}$ = concentration estimée dans les produits de la mer en mg/kg p.h.
- Consommation = ration alimentaire pour le produit de la mer considéré en kg/j
- Poids = poids moyen des individus de la population considérée en kg

Tableau 13 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au phénanthrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
Poids corporel	16 kg	70 kg		70 kg
Consommation moyenne de poisson	18,3 g/jour Inca 2 (2009)	90 g/jour Calipso, 2006	30 g/j (Inca 2, 2009)	115 g/jour
DJE (mg/kg/j)	$5,63.10^{-3}$	$6,33.10^{-3}$	$2,11.10^{-3}$	$8,09.10^{-3}$

La caractérisation des risques issue des Doses Journalières d'Exposition ici calculées pour le phénanthrène est présentée dans le sous chapitre suivant.

Nickel

En ce qui concerne le nickel, il n'existe pas de facteur de bioconcentration chez les poissons. L'ERS sera donc uniquement réalisée sur les mollusques (huîtres et palourdes).

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

De façon à estimer la concentration dans l'eau interstitielle, $C_{\text{eau-i}}$, à partir de la concentration mesurée dans le sédiment, C_{sed} , la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-i}} = (C_{\text{sed}} \times 10^*) / K_{\text{pMES}}$$

avec :

- C_{sed} : concentration dans les sédiments en mg/kg p.h.
- K_{pMES} = le coefficient de partage eau-solide dans les MES est en l/kg.

* La Commission européenne (2005) recommande de multiplier par un facteur 10 pour les substances dont le K_p est supérieur à 200 l/kg de façon à prendre en compte la voie d'exposition par ingestion directe du sédiment et pas seulement via l'eau interstitielle.

C_{sed} : concentration dans les sédiments en mg/kg p.h. = 29 mg/kg p.s.

K_{pMES} : coefficient de partage entre MES et eau en l/kg = 7 493 l/kg

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = (29 \times 10) / 7\,493 = 0,038 \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

Les concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet sont évaluées selon la même démarche que celle présentée précédemment pour le phénafrène.

$$C_{\text{eau-local}} = [0,038 / (1 + 26\,603 \times 1500 \times 10^{-6}) \times 100] + 0,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans le biote : chair de mollusque

De façon à évaluer la concentration dans les mollusques, la même démarche que celle présentée précédemment pour le phénafrène pour les poissons a été appliquée (prise en compte du $\text{BCF}_{\text{mollusque}}$ au lieu du $\text{BCF}_{\text{poisson}}$).

$$\Rightarrow C_{\text{mollusque}} = 7,2 \cdot 10^{-4} \times 340 = 0,24 \text{ mg/kg de p.h.}$$

obtenu pour :

- $\text{BCF}_{\text{mollusque}}$: facteur de bioconcentration eau-poisson = 340 (UE, 2005)
- BMF : facteur de biomagnification = 1 (absence de biomagnification)

Le nickel ne fait pas l'objet d'une réglementation en ce qui concerne sa teneur dans les produits de la mer. Cependant, des standards de qualité dans les produits de la mer ont été proposés par la Commission Européenne (CE, 2005). Pour le nickel, la concentration suivante ne doit pas être dépassée dans les tissus des poissons, mollusques, ou crustacés : 0,67 mg/kg p.h..



Le nickel ne se bioaccumule pas dans les poissons, mais seulement dans les mollusques. Dans le cas présent, la concentration observée est inférieure aux recommandations préconisées par la Commission Européenne. Il n'y a donc pas de risque sanitaire lié à ce contaminant.

TBT

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

De façon à estimer la concentration dans l'eau interstitielle, $C_{\text{eau-i}}$, la même démarche que celle présentée pour le phénanthrène a été appliquée. Les hypothèses posées pour $F_{\text{eau-mes}}$, $F_{\text{solide-mes}}$, RHO_{solide} sont également les mêmes.

K_{pMES} = le coefficient de partage entre MES et eau en l/kg = 108 (UE, 2005)

$$K_{\text{mes-eau}} = 0,9 + 0,1 * (108 / 1000) * 2500 = 27,9$$

$$C_{\text{sed p.h.}} = C_{\text{sed p.s.}} / 4,6 = 0,254 / 4,6 = 0,055 \text{ mg/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = 0,055 / ((27,9 / 1150) * 1000) = 2,28.10^{-3} \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

Les concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet sont évaluées selon la même démarche que celle présentée précédemment pour le phénanthrène. Le bruit de fond de la substance au niveau local est pris égal à 0 en l'absence de données.

$$C_{\text{eau-local}} = 2,28.10^{-3} * / [(1 + 108 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 0$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 2,25.10^{-5} \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans le biote : chair de poisson

De façon à évaluer la concentration dans le poisson, la même démarche que celle présentée précédemment pour le phénanthrène a été appliquée.

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 2,25 * 10^{-5} * 6\ 000 = 135 \text{ } \mu\text{g/kg p.h.}$$

obtenu pour :

- BCF_{poisson} : facteur de bioconcentration eau-poisson = 6 000 (UE, 2005)
- BMF : facteur de biomagnification = 1 (pas de facteur de biomagnification)

Evaluation des concentrations dans le biote : chair de mollusque

De façon à évaluer la concentration dans les mollusques, la même démarche que celle présentée précédemment pour le phénanthrène pour les poissons a été appliquée (prise en compte du $BCF_{\text{mollusque}}$ au lieu du BCF_{poisson}).

$$\Rightarrow C_{\text{mollusque}} = 2,25 \cdot 10^{-5} * 11\,400 = 0,26 \text{ mg/kg de p.h}$$

obtenu pour :

- $BCF_{\text{mollusque}}$: facteur de bioconcentration eau-poisson = 11 400 (UE, 2005)
- BMF : facteur de biomagnification = 1 (absence de biomagnification)

Le TBT ne fait pas l'objet d'une réglementation en ce qui concerne sa teneur dans les produits de la mer. Cependant, des standards de qualité dans les produits de la mer ont été proposés par la Commission Européenne (CE, 2005).

Pour le TBT, la concentration suivante ne doit pas être dépassée dans les tissus des poissons, mollusques ou crustacés : 15,2 µg/kg p.h., soit 0,0152 mg/kg p.h.



Dans le cas présent, cette concentration est dépassée. Il y a donc un risque sanitaire potentiel.

A ce stade de l'étude, une évaluation de deuxième niveau doit être menée en prenant en compte des données locales plus précises.

2.1.4.3 Caractérisation des risques

La caractérisation des risques correspond à la synthèse des informations issues de l'évaluation de l'exposition et de l'évaluation des dangers. Seul le phénanthrène est concerné par cette étape.

Estimation du risque pour les effets à seuil – Quotient de danger

Phénanthrène

Les quotients de danger relatifs au phénanthrène sont fournis dans le tableau suivant. Ils ont été obtenus avec un VTR = TDI : Tolerable Daily Intake = 4.10^{-2} mg/kg/j (RIVM, 2001)

Tableau 14 - Calcul des quotients de danger relatifs au phénanthrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
DJE (mg/kg/j)	$5,63.10^{-3}$	$6,33.10^{-3}$	$2,11.10^{-3}$	$8,09.10^{-3}$
QD	$1,41.10^{-1}$	$1,58.10^{-1}$	$5,28.10^{-2}$	$2,027.10^{-1}$

Légende Quotient de danger inférieur à 1



Pour chacune des classes d'âge considérées, les Quotients de Danger (QD) sont inférieurs à 1.

Ainsi, la probabilité de survenue d'un effet toxique liée à la concentration de phénanthrène observée dans les sédiments est faible.

Estimation du risque pour les effets sans seuil

Phénanthrène

L'Excès de Risque Individuel (ERI) défini pour le phénanthrène selon la formule des mélanges d'HAP est le suivant :

$$\Rightarrow \text{ERI}_{\text{mélange HAP}} = 0,0965$$



Cette valeur est supérieure au seuil d'acceptabilité du risque sanitaire fixé à 10^{-5} .

Au vu de l'ERI obtenu supérieur au seuil d'acceptabilité du risque sanitaire, le risque lié à la consommation de poissons contaminés par des HAP sur le long terme ne peut donc être écarté.

A ce stade, une évaluation de deuxième niveau, intégrant des données de consommation locales est recommandée.

Si un risque est encore mis en évidence, des mesures spécifiques de gestion devront être mises en place (surveillance de la contamination des poissons, modification du projet, etc).

2.1.4.4 Analyse des incertitudes







Seul un risque sanitaire lié à une exposition chronique par voie orale à un mélange de HAP a été mis en évidence. L'analyse des incertitudes portera donc uniquement sur ce risque.

De façon à relativiser les incertitudes relatives aux résultats analytiques et aux plans d'échantillonnage, il est possible de considérer des concentrations moyennes à la place des concentrations maximales.

Cependant, dans le cas présent, un risque sanitaire est toujours mis en évidence lorsqu'on applique cette hypothèse (ERI = 0,032).

Concernant les HAP, l'incertitude principale concerne la non prise en compte de leur métabolisation par les organismes.

2.2 Conclusion

Type de contamination	Substances analysées	Résultats des analyses et calculs	Démarches complémentaires
Contamination chimique	Phénanthrène	 Risque sanitaire potentiel lié à la consommation de poissons contaminés par des HAP sur le long terme	Evaluation de deuxième niveau (données locales concernant les espèces pêchées, le bruit de fond régional, la fréquence de consommation etc.)
	Nickel	 Pas de risque sanitaire	-
	TBT	 Risque sanitaire potentiel lié à la consommation de poissons contaminés au TBT	Evaluation de deuxième niveau (données locales concernant les espèces pêchées, le bruit de fond régional, la fréquence de consommation etc.)-
Contamination microbiologique	<i>E.coli</i>	 Pas de risque sanitaire	-
	Entérocoques	 Pas de risque sanitaire	-
Contamination phytoplanktonique	Phytoplancton et Phycotoxines	 Pas de risque sanitaire	-

Chapitre 3 Port Z

De façon à tester l'ensemble de la méthodologie d'évaluation des risques sanitaires, un cas fictif, le port Z, a été élaboré en considérant des niveaux repères de contamination représentatifs des sédiments de la façade Atlantique.

Seuls les effets liés aux substances chimiques ont été évalués.

N.B. : compte tenu du fait qu'il s'agit d'un cas fictif, un certain nombre de chapitres, basés sur des données locales, n'ont pu être détaillés (contexte portuaire, évaluation de deuxième niveau, discussion des incertitudes...).

3.1 Evaluation des risques chimiques

3.1.1 Caractérisation des sources

3.1.1.1 Analyse des sédiments et comparaison aux valeurs repères de concentrations

Les valeurs repères correspondent à des concentrations dans les sédiments en deçà desquelles il n'y a pas de risques sanitaires inacceptables pour la substance considérée.

De façon à vérifier la nécessité de réaliser une ERS pour les contaminants susceptibles d'être retrouvés dans les sédiments et présentant un danger pour la santé humaine, les concentrations en substances chimiques dans les sédiments du port Z ont été mis en relation avec les valeurs repères établies pour les substances d'intérêt sanitaire.

Tableau 15 - Comparaison des concentrations maximales des substances d'intérêt sanitaire dans les sédiments aux critères décisionnels

( : Dépassement des valeurs repères)

Substances analysées dans les sédiments à draguer			
Substances	Liste	Valeurs repères de concentration	Concentrations maximales mesurées dans les sédiments du port Z
Cadmium	1	22 mg/kg p.s.	0,35 mg/kg p.s.
Plomb	1	968,5 mg/kg p.s.	55 mg/kg p.s.
Σ 6 PCB indicateurs	1	25 µg/kg p.s.	< 10 µg/kg p.s.
PCB-DL + dioxines	1	1,8 µg TEQ/kg p.s.	Pas de données pour les dioxines
PCB-DL	1	0,84 µg TEQ/kg p.s.	Pas de données pour les PCB-DL
Benzo(a)pyrène	1	1,84 mg/kg p.s.	0,14 mg/kg p.s.
Σ 11 HAP génotoxiques	-	1,84 mg TEQ/kg p.s.	0,07 mg TEQ/kg p.s.
Pyrène	3	12,85 mg/kg p.s.	0,47 mg/kg p.s.
Phénanthrène	3	21,8 µg/kg p.s.	120 µg/kg p.s.
Nickel	3	15 mg/kg p.s.	35 mg/kg p.s.
TBT	3	0,26 µg/kg p.s.	150 µg/kg p.s.

Substances analysées dans les sédiments à draguer			
Substances	Liste	Valeurs repères de concentration	Concentrations maximales mesurées dans les sédiments du port Z
Substances analysées dans le cadre du REPOM			
HCB	1	2,9 µg/kg p.s.	Pas de données pour le HCB
Lindane	3	25,6 µg/kg p.s.	Pas de données pour le lindane
Dieldrine	4	1,426 mg/kg p.s.	Pas de données pour la dieldrine

Les concentrations maximales de trois substances d'intérêt sanitaire mesurées dans les sédiments du port Y sont supérieures aux valeurs repères :

- Phénanthrène
- Nickel
- TBT

Une ERS devra donc être conduite sur l'ensemble de ces trois substances

3.1.2 Identification des dangers

Le Tableau 11 présenté dans le chapitre précédent décrit les effets chroniques associés au phénanthrène, au nickel et au TBT pour une exposition par ingestion de produits de la mer.

3.1.3 Evaluation du rapport dose-réponse

Le Tableau 12 présenté dans le chapitre précédent présente les VTR associées au phénanthrène, au nickel et au TBT pour une exposition chronique par voie orale.

3.1.4 Evaluation de l'exposition des populations

3.1.4.1 Réalisation d'un schéma conceptuel

Pour évaluer le risque sanitaire lié à la contamination chimique des sédiments du port Z, le scénario suivant a été considéré :

« Consommation de poissons se nourrissant exclusivement dans l'aire d'influence des sites de dragage et/ou d'immersion des sédiments »

3.1.4.2 Evaluation des doses d'exposition

Phénanthrène

Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle

De façon à estimer la concentration dans l'eau interstitielle, $C_{\text{eau-i}}$, à partir de la concentration mesurée dans le sédiment, C_{sed} , la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-i}} = C_{\text{sed}} / ((K_{\text{mes-eau}} / \text{RHO}_{\text{mes}}) * 1000)$$

avec :

- C_{sed} : concentration dans les sédiments en mg/kg p.h.
- $K_{\text{mes-eau}}$: coefficient de partage MES-eau
- RHO_{mes} : masse volumique des MES en $\text{kg/m}^3 = 1\ 150\ \text{kg/m}^3$

Le Coefficient de partage MES-eau ($K_{\text{mes-eau}}$) est spécifique d'une substance donnée. S'il n'est pas connu, il peut être retrouvé à partir de l'équation suivante :

$$K_{\text{mes-eau}} = F_{\text{eau}_{\text{mes}}} + F_{\text{solide}_{\text{mes}}} * (K_{\text{p}_{\text{MES}}} / 1000) * \text{RHO}_{\text{solide}}$$

avec :

- $K_{\text{p}_{\text{MES}}}$ = le coefficient de partage eau-solide dans les MES est en l/kg.
- Valeurs par défaut données par le TGD :
 - $F_{\text{eau}_{\text{mes}}}$ = fraction volumique d'eau dans les MES = 0,9
 - $F_{\text{solide}_{\text{mes}}}$ = fraction volumique de solide dans les MES = 0,1
 - $\text{RHO}_{\text{solide}}$ = densité de la phase solide = $2\ 500\ \text{kg/m}^3$.

$$K_{\text{p}_{\text{MES}}} = 0,1 * 4,18 = 0,418 \text{ (obtenu pour } K_{\text{oc}} = 4,18 \text{ (d'après Ineris, 2010))}$$

$$K_{\text{mes-eau}} = 0,9 + 0,1 * (0,418 / 1000) * 2500 = 1,004$$

$$C_{\text{sed p.h.}} = C_{\text{sed p.s.}} / 4,6 = 0,35 / 4,6 = 0,026\ \text{mg/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = 0,026 / ((1,004 / 1150) * 1000) = 0,029\ \text{mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

La concentration dans l'eau interstitielle calculée précédemment se rapporte à une concentration à l'équilibre entre le sédiment, le biote et l'eau.

De façon à évaluer la concentration dans l'eau dans le champ proche d'un rejet en milieu marin, la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{eau-local}} = C_{\text{eau-i}} / [(1 + K_{\text{p}_{\text{MES}}} * [\text{MES}] * 10^{-6}) * \text{DILUTION}] + [\text{bruit de fond}]$$

avec :

- $[\text{MES}]$ = charge particulaire dans l'eau ;
- $[\text{bruit de fond}]$ = bruit de fond de la substance au niveau local = 1.10^{-5} (Ineris, 2010).



Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

Le TGD définit, pour le scénario local une **concentration en MES de 15 mg/l**.

Un facteur de dilution de 100 peut être appliqué en l'absence de données locales. Ce facteur est défini par le TGD dans le cadre d'un scénario local marin.

$$C_{\text{eau-local}} = [0,029 / (1 + 0,418 * 1500 * 10^{-6}) * 100] + 1.10^{-5}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 3,4.10^{-4} \text{ mg/l}$$

Evaluation des concentrations dans le biote

De façon à évaluer la concentration dans le poisson, la formule suivante peut être appliquée :

$$C_{\text{poisson}} = C_{\text{eau-local}} * BCF_{\text{poisson}} * BMF$$

avec :

- C_{poisson} : concentration dans le poisson en mg/kg p.h.
- $C_{\text{eau-local}}$: concentration dans l'eau de mer en mg/l
- BCF_{poisson} : facteur de bioconcentration eau-poisson = 2 229 (Ineris, 2009)
- BMF : facteur de biomagnification = 2 (valeur TGD)

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 3,1.10^{-4} * 2229 * 2 = 1,38 \text{ mg/kg de p.h.}$$

N.B. : l'absence de BCF pour les mollusques ne permet pas d'évaluer le risque sur ces organismes.

Le Phénanthrène ne faisant pas l'objet d'une réglementation en ce qui concerne sa teneur dans les produits de la mer, il est nécessaire de poursuivre l'ERS par l'évaluation des doses d'exposition humaines et la comparaison de ces doses avec les valeurs toxicologiques de référence.



Calcul de la Dose Journalière d'Exposition

La dose journalière d'exposition peut être calculée selon la formule suivante :

$$DJE = [(C_{\text{poisson}} * \text{consommation}) / \text{poids}]$$

avec :

- DJE = Dose Journalière d'Exposition en mg/kg/j
- $C_{\text{poisson/crustacés/mollusques}}$ = Concentration estimée dans les produits de la mer en mg/kg p.h.
- Consommation = ration alimentaire pour le produit de la mer considéré en kg/j
- Poids = poids moyen des individus de la population considérée en kg

Tableau 16 - Calcul des doses journalières d'exposition humaines au phénanthrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
Poids corporel	16 kg	70 kg		70 kg
Consommation moyenne de poisson	18,3 g/jour Inca 2 (2009)	90 g/jour Calipso, 2006	30 g/j (Inca 2, 2009)	115 g / jour
Consommation moyenne de mollusques et crustacés	1,4 g/jour Inca 2 (2009)	38 g/jour Calipso, 2006	4,5 g/j (INCA 2, 2009)	
DJE (mg/kg/j)	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$1,77 \cdot 10^{-3}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$2,26 \cdot 10^{-3}$

La caractérisation des risques issue des Doses Journalières d'Exposition ici calculées pour le phénanthrène est présentée dans le sous-chapitre suivant.

**Nickel**

En ce qui concerne le nickel, il n'existe pas de facteur de bioconcentration chez les poissons. Dans le cas présent, ce risque n'est donc pas évalué.

TBT**Évaluation des concentrations dans l'eau interstitielle**

De façon à estimer la concentration dans l'eau interstitielle, $C_{\text{eau-i}}$, la même démarche que celle présentée pour le phénantrène a été appliquée. Les hypothèses posées pour $F_{\text{eau-mes}}$, $F_{\text{solide-mes}}$, RHO_{solide} sont également les mêmes.

$K_{p_{\text{MES}}} =$ le coefficient de partage entre MES et eau en l/kg = 108 (UE, 2005)

$$K_{\text{mes-eau}} = 0,9 + 0,1 * (108 / 1000) * 2500 = 27,9$$

$$C_{\text{sed p.h.}} = C_{\text{sed p.s.}} / 4,6 = 0,15 / 4,6 = 0,0326 \text{ mg/kg p.h.}$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-i}} = 0,0326 / ((27,9 / 1150) * 1000) = 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet

Les concentrations dans l'eau dans le champ proche du rejet sont évaluées selon la même démarche que celle présentée précédemment pour le phénantrène. Le bruit de fond de la substance au niveau local est pris égal à 0 en l'absence de données.

$$C_{\text{eau-local}} = [1,36 \cdot 10^{-3} / (1 + 108 * 100 * 10^{-6}) * 100] + 0$$

$$\Rightarrow C_{\text{eau-local}} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ mg/l}$$

Évaluation des concentrations dans le biote : chair de poisson

De façon à évaluer la concentration dans le poisson, la même démarche que celle présentée précédemment pour le phénantrène a été appliquée.

$$\Rightarrow C_{\text{poisson}} = 1,29 * 10^{-5} * 6\ 000 = 0,0798 \text{ mg/kg p.h.}$$

obtenu pour :

- BCF_{poisson} : facteur de bioconcentration eau-poisson = 6 000 (UE, 2005)
- BMF : facteur de biomagnification = 1 (pas de facteur de biomagnification)

Le TBT ne fait pas partie des éléments réglementés par l'Europe en ce qui concerne les teneurs dans les produits de la mer garantissant leur consommabilité. Seule la teneur en étain inorganique dans les conserves est réglementée. Cependant, des standards de qualité dans les produits de la mer ont été proposés par la Commission Européenne (CE, 2005).

Pour le TBT, la concentration suivante ne doit pas être dépassée dans les tissus des poissons, mollusques, ou crustacés : 15,2 µg/kg p.h., soit 0,0152 mg/kg p.h.



Dans le cas présent, cette concentration est dépassée. On peut donc considérer qu'il y a un risque sanitaire lié à la présence de ce contaminant dans les sédiments.

A ce stade de l'étude, une évaluation de deuxième niveau prenant en compte des données locales plus précises, est requise.

3.1.4.3 Caractérisation des risques

La caractérisation des risques correspond à la synthèse des informations issues de l'évaluation de l'exposition et de l'évaluation des dangers. Seul le phénanthrène, pour lequel aucune concentration limite n'est définie dans le biote est concerné par cette étape.

Estimation du risque pour les effets à seuil – Quotient de danger

Phénanthrène

Les quotients de danger relatifs au phénanthrène sont fournis dans le tableau suivant. Ils ont été obtenus avec un VTR = TDI : Tolerable Daily Intake = $4 \cdot 10^{-2}$ mg/kg/j (RIVM, 2001)

Tableau 17 - Calcul des quotients de danger relatifs au phénanthrène

	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
DJE (mg/kg/j)	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$1,77 \cdot 10^{-3}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$2,26 \cdot 10^{-3}$
QD	$6,29 \cdot 10^{-5}$	$7,07 \cdot 10^{-5}$	$2,36 \cdot 10^{-5}$	$9,04 \cdot 10^{-5}$

Légende  Quotient de danger inférieur à 1



Pour chacune des classes d'âge considérées, les Quotients de Danger (QD) sont inférieurs à 1.

Ainsi, on peut considérer qu'il n'y a pas de risque sanitaire lié à la présence de ce contaminant dans les sédiments.

Estimation du risque pour les effets sans seuil


Phénanthrène

Pour le phénanthrène, $ERU_o = ERU_{o \text{ benzo(a)pyrène}} * 0,001 * T/Tm^*$

- **T** : nombre d'années d'exposition = 30 ans pour les adultes et 6 ans pour les enfants
 - **Tm** : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée = vie entière = 70 ans
- avec $ERU_o \text{ benzo(a)pyrène} = 0,2 \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$

Tableau 18 - Calcul des excès de risque individuels relatifs au phénanthrène







	Enfants (0-6 ans)	Adultes (6-70ans) forts consommateurs	Adultes (6-70ans) consommateurs moyens	Valeurs Standards TGD
Durée d'exposition (an)	6 ans	30 ans		-
DJE (mg/kg/j)	$1,57.10^{-3}$	$1,77.10^{-3}$	$5,89.10^{-4}$	$2,26.10^{-3}$
ERI	$2,7.10^{-8}$	$1,52.10^{-7}$	$5,05.10^{-8}$	$1,94.10^{-7}$



Concernant le phénanthrène, aucun dépassement de la valeur seuil de 10^{-5} n'est observé.

On peut donc considérer qu'il n'y a pas de risque sanitaire pour les effets sans seuils lié à la présence de cette substance dans les sédiments.

3.2 Conclusion

Type de contamination	Substances analysées	Résultats des analyses et calculs	Démarches complémentaires
Contamination chimique	Phénanthrène	 Pas de risque sanitaire	
	Nickel	 Pas de risque sanitaire	-
	TBT	 Risque sanitaire potentiel lié à la consommation de poissons contaminés par le TBT sur le long terme	Evaluation de deuxième niveau (données locales concernant les espèces pêchées, le bruit de fond régional, la fréquence de consommation etc.)-
Contamination microbiologique	<i>E.coli</i>	 Pas de risque sanitaire	-
	Entérocoques	 Pas de risque sanitaire	-
Contamination phytoplanctonique	Phytoplancton et Phycotoxines	 Pas de risque sanitaire	-

Chapitre 4 Calculs inverses

Les valeurs repères de concentration ont été calculées selon des hypothèses majorantes. Ainsi, aucun facteur de dilution n'a été pris en compte.

De façon à évaluer les concentrations dans les sédiments pouvant induire un dépassement des seuils de consommabilité des poissons, les hypothèses définies dans le cadre du scénario local du TGD ont été prises en compte :

- facteur de dilution = 100 ;
- concentration en MES = 15 mg/l.
-

Le tableau suivant présente les résultats obtenus. Ces résultats sont indicatifs car ils ne s'appliquent pas à n'importe quel contexte.

Substances analysées dans les sédiments à draguer					
Substances	Liste	Valeurs repères de concentration	Concentrations sédiments scénario local TGD*	Niveaux Réglementaires	
				N1	N2
Cadmium	1	22 mg/kg p.s.	6522 mg/kg p.s.	1,2 mg/kg p.s.	2,4 mg/kg p.s.
Plomb	1	968,5 mg/kg p.s.	970206 mg/kg p.s.	100 mg/kg p.s.	200 mg/kg p.s.
Σ 6 PCB indicateurs	1	25 µg/kg p.s.	2,85 mg/kg p.s.	0,225 mg/kg p.s.	0,45 mg/kg p.s.
PCB-DL + dioxines	1	1,8 µg TEQ/kg p.s.	7,17 mg TEQ/kg p.s.		
PCB-DL	1	0,84 µg TEQ/kg p.s.	3,31 mg TEQ/kg p.s.		
Benzo(a)pyrène	1	1,84 mg/kg p.s.	1570 mg/kg p.s.	0,430 mg/kg p.s.	1,015 mg/kg p.s.
Σ 11 HAP génotoxiques	2	1,84 mg TEQ/kg p.s.	1570 mg/kg p.s.		
Pyrène	3	12,85 mg/kg p.s.	142 mg/kg p.s.	0,5 mg/kg p.s.	1,5 mg/kg p.s.
Phénanthrène	3	21,8 µg/kg p.s.	0,219 mg/kg p.s.	0,24 mg/kg p.s.	0,87 mg/kg p.s.
Nickel	3	15 mg/kg p.s.	721,5 mg/kg p.s.	37 mg/kg p.s.	74 mg/kg p.s.
TBT	3	2,6.10 ⁻⁴ mg/kg p.s.	0,0149 mg/kg p.s.	0,1 mg/kg p.s.	0,4 mg/kg p.s.
Substances analysées dans le cadre du REPOM					
HCB	1	2,9 µg/kg p.s.	0,85 mg/kg p.s.		
Lindane	3	25,6 µg/kg p.s.	2,57 mg/kg p.s.		
Dieldrine	4	1,426 mg/kg p.s.	1164 mg/kg p.s.		

Conclusion générale

L'analyse des données existantes sur les risques sanitaires liés aux différents types de contamination potentiels des sédiments portuaires a permis de définir une méthode d'évaluation des risques sanitaires adaptée à ces projets.

Il apparaît que la voie d'exposition principale est alimentaire, via la contamination de la chaîne trophique, même si pour le risque biologique, les expositions via le contact cutané ou l'inhalation doivent également être considérées.

Les effets peuvent être aigus ou chroniques selon le type de contamination :

- dans le cas d'une contamination chimique, seuls les effets chroniques sont à considérer, les teneurs dans les sédiments étant trop faibles pour induire des effets de type aigus ;
- dans le cas d'une contamination biologique, les effets sont principalement de type aigus, même si des effets chroniques sont soupçonnés pour certains organismes producteurs de toxines.

L'évaluation des risques biologiques est une discipline encore très peu développée par rapport à l'évaluation des risques chimiques.

Ainsi, les bases de données et les méthodologies d'évaluation disponibles permettent de réaliser une évaluation quantitative pour le risque chimique, tandis qu'elle reste seulement qualitative pour le risque biologique.

En ce qui concerne le risque microbiologique, de nouvelles méthodes d'analyse sont en cours de développement (PCR en temps réel pour *E.coli* ou les virus). Ces méthodes pourraient faire considérablement avancer l'évaluation du risque biologique ; il est donc important de mener une veille bibliographique sur ce sujet.

L'évaluation du risque lié au phytoplancton toxique repose sur les résultats du réseau de surveillance REPHY. Le développement de techniques de détection de kystes de dinoflagellés dans les sédiments permettrait de définir avec certitude la dangerosité de ces matériaux.

Concernant le risque chimique, il demeure cependant de nombreuses inconnues, et une veille doit également être menée sur l'évolution des connaissances relatives aux substances émergentes, aux possibles effets cocktails, ainsi qu'au comportement de certaines substances chimiques en milieu marin.

« Dans tous les cas, et quel que soit le niveau d'approche qui aura pu être mené, l'évaluation du risque doit conduire à la définition de recommandations pour limiter les expositions et donc le risque, ou à la proposition d'un système de surveillance sur le long terme » (Ineris, 2001).

geode

Nous contacter

courriel : **geode@nantes.port.fr**

téléphone contact : **02 40 44 20 99**

Site internet : **<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/club-geode-r65.html>**