

ARSENIC ET SES DERIVES INORGANIQUES –

N° CAS : 7440-38-2 ; 7784-40-9 ; 7778-43-0 ; 1327-53-3 ; 1303-28-2

VALEUR GUIDE ENVIRONNEMENTALE

EAU DOUCE

Moyenne Annuelle dans l'eau : $VGE_{\text{EAU-DOUCE}}^* = 4,10^{-4} \mu\text{g/L}$

fondée sur la proposition de norme de qualité pour la santé humaine via la consommation de produits de la pêche

Concentration Maximale Acceptable dans l'eau: $MAC_{\text{EAU-DOUCE}}^* = 1,37 \mu\text{g/L}$

EAU MARINE

Moyenne Annuelle dans l'eau : $VGE_{\text{EAU-MARINE}}^* = 4,10^{-4} \mu\text{g/L}$

fondée sur la proposition de norme de qualité pour la santé humaine via la consommation de produits de la pêche

Concentration Maximale Acceptable dans l'eau: $MAC_{\text{EAU-MARINE}}^* = 1,37 \mu\text{g/L}$

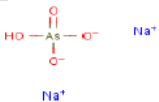

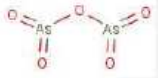
*= Ces valeurs sont du même ordre que les concentrations naturelles environnementales. Ceci peut conduire à prendre en compte les concentrations de bruit de fond au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil.

VALEURS GUIDES POUR LES SEDIMENTS

Les critères décrits par le document guide technique européen (E.C., 2011) pour déterminer si la mise en œuvre d'un seuil pour le sédiment est nécessaire impliquent d'utiliser les valeurs de Koc et de Kow. Pour l'arsenic, comme pour les autres métaux ou métalloïdes, il n'est pas possible de s'appuyer sur ces critères car l'adsorption varie autant avec le pH et la composition du sédiment qu'avec le contenu en matière organique. Etant donné que la substance a tendance à s'accumuler dans le sédiment (et est donc susceptible de se remettre en suspension à la moindre perturbation), il est recommandé de mettre en œuvre un seuil pour le sédiment.

L'arsenic est naturellement présent dans la nature, en particulier dans les roches, celles-ci renferment plus de 99 % de l'arsenic présent dans la croûte terrestre sous forme de minerais. Il peut être trouvé dans la nature sous plusieurs états chimiques (formes trivalentes et pentavalentes) solubles à très solubles en fonction des propriétés du milieu. L'arsenic et ses composés minéraux ont eu de très nombreuses applications industrielles ou agricoles (Molénat et al., 2000). Par exemple, l'alliage plomb-antimoine-arsenic est utilisé dans les batteries électriques pour améliorer la résistance à la corrosion électrique ; l'arsenic est aussi utilisé comme agent décolorant dans l'industrie du verre.

IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE

Substance chimique	Arsenic	Arséniate de sodium	Trioxyde d'arsenic	Pentoxyde d'arsenic
Synonymes		Disodium arsenate Arsenic acid, disodium salt	Anhydride arsénieux Trioxide de di-arsenic Arsenic oxide Arsenious oxide Arsenic trioxide	Anhydride arsénique Pentoxyde de di-arsenic Arsenic pentaoxide Arsenic acid anhydride
Numéro CAS	7440-38-2	7778-43-0	1327-53-3	1303-28-2
Formule moléculaire	As	AsO ₄ Na ₂ H	As ₂ O ₃	As ₂ O ₅
Code SMILES	[As]	[As]([O^-])([O^-])(O)=O.[Na^+].[Na^+]	[As ³⁺].[OH ₂ ²⁻].[As ³⁺].[OH ₂ ²⁻].[OH ₂ ²⁻]	[As](O[As](=O)=O)(=O)=O
Structure moléculaire	As			

En conditions environnementales naturelles, l'arsenic inorganique est prédominant.

Des composés arséniés organiques (MMA - acide monométhylarsénique CH₃AsO(OH)₂, DMA - acide diméthylarsinique (CH₃)₂AsO(OH), TMAO - oxyde de triméthylarsine (CH₃)₃AsO) provenant de la méthylation de l'arsenic minéral par les algues ou de la dégradation microbienne des composés organiques complexés peuvent néanmoins être présents dans les eaux naturelles (douces ou salines) et dans les sédiments. Ces composés organiques ne sont pas couverts par cette fiche.

EVALUATIONS EXISTANTES ET INFORMATIONS REGLEMENTAIRES

	Arsenic	Arséniate de sodium	Trioxyde d'arsenic	Pentoxyde d'arsenic
Evaluations existantes	Ambient water quality criteria for arsenic (US-EPA, 1984b) Health Assessment Document for Inorganic Arsenic (US-EPA, 1984a) Preconsultation report: Proposed EQS for Water Framework Directive Annex VIII substances: arsenic (total dissolved) (Lepper et al., 2007) Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account (RIVM, 1997) Integrated criteria document arsenicum effects (RIVM, 1990)			
Phrases de risque et classification	<i>Annexe I Directive 67/548/CEE C.E., 1967:</i>			
	<i>T, N</i> <i>R 23/25 – 50/53</i>	<i>La substance peut être incluse dans un des groupes d'entrée « composés d'arsenic à l'exclusion de ceux nommément désignés dans cette annexe ».</i> <i>T,N</i> <i>R 23/25 – 50/53</i>	<i>T+, N</i> <i>R 45 – 28 - 34 - 50/53</i>	<i>T+, N</i> <i>R 45 – 23/25 - 50/53</i>
	<i>Annexe VI Règlement (CE) No 1272/2008 C.E., 2008</i>			
	<i>Acute Tox. 3* : H331</i> <i>Acute Tox. 3* : H301</i> <i>Aquatic Acute 1: H400</i> <i>Aquatic Chronic 1: H410</i>	<i>Acute Tox. 3* : H331</i> <i>Acute Tox. 3* : H301</i> <i>Aquatic Acute 1: H400</i> <i>Aquatic Chronic 1: H410</i>	<i>Carc. 1A : H350</i> <i>Acute Tox. 2* : H300</i> <i>Skin Corr. 1B: H314</i> <i>Aquatic Acute 1: H400</i> <i>Aquatic Chronic 1: H410</i>	<i>Carc. 1A : H350</i> <i>Acute Tox. 3* : H301</i> <i>Acute Tox. 3* : H331</i> <i>Aquatic Acute 1: H400</i> <i>Aquatic Chronic 1: H410</i>
Effets endocriniens	L'arsenic et ses dérivés ne sont pas cités dans la stratégie communautaire concernant les perturbateurs endocriniens (E.C., 2004) et dans le rapport d'étude de la DG ENV sur la mise à jour de la liste prioritaire des perturbateurs endocriniens à faible tonnage (Petersen et al., 2007).			

Substance chimique	Arsenic	Arséniate de sodium	Trioxyde d'arsenic	Pentoxyde d'arsenic
Critères PBT / POP	La substance n'est pas concernée par les critères PBT/vPvB ¹ (C.E., 2006) ou POP ² (PNUE, 2001).			
Normes de qualité existantes (ETOX, 2013 ³)	<p><u>Canada</u> : Critère de qualité organismes aquatiques (arsenic total), eau douce = 5 µg/L</p> <p>Eau de mer = 12,5 µg.L⁻¹</p> <p>Critère de qualité pour l'eau de boisson (IMAC) (arsenic total) = 25 µg/L</p> <p><u>Suisse</u> : Norme de qualité pour les hydrosystèmes, (projet) (arsenic dissous) = 10 µg/L</p> <p><u>Allemagne</u> :</p> <p>Norme de protection, matière en suspension, 40 mg/kg de poids sec</p> <p><u>Angleterre</u> :</p> <p>Norme de qualité des eaux douces (arsenic dissous) : 50 µg/L</p> <p>Proposition d'EQS eau douce (arsenic dissous, en concentration ajoutée à la concentration de fond⁴) : 0,5 µg/L</p> <p>Norme de qualité des eaux marines (arsenic dissous) : 25 µg/L</p>	-	<p><u>Etats-Unis</u> :</p> <p>Critère de qualité pour les organismes aquatiques, eau douce = 190 µg/L, pour les organismes aquatiques marins = 36 µg/L</p>	<p><u>Etats-Unis</u> : Critère de qualité pour les organismes aquatiques, eau douce = 48 µg/L, eau marine = 13 µg/L.</p>

¹ Les PBT sont des substances persistantes, bioaccumulables et toxiques et les vPvB sont des substances très persistantes et très bioaccumulables. Les critères utilisés pour la classification des PBT sont ceux fixés par l'Annexe XIII du règlement n° 1907/2006 (REACH).

² Les Polluants Organiques Persistants (POP) sont des substances persistantes (aux dégradations biotiques et abiotiques), fortement liposolubles (et donc fortement bioaccumulables), et volatiles (et peuvent donc être transportées sur de longues distances et être retrouvée de façon ubiquitaire dans l'environnement). Les critères utilisés pour la classification POP sont ceux fixés par l'Annexe 5 de la Convention de Stockholm placée sous l'égide du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement).

³ Les données issues de cette source (<http://webtox.uba.de/webETOX/index.do>) ne sont données qu'à titre indicatif ; elles n'ont donc pas fait l'objet d'une validation par l'INERIS.

⁴ La concentration de fond correspond à la concentration en substance non reliée aux émissions d'un site. Elle est décrite comme d'origine environnementale et/ou anthropique.

	<p>Proposition d'EQS eau marine (arsenic dissous, en concentration ajouté à la concentration de fond) : 0,6 µg/L</p> <p><u>Hollande</u> :</p> <p>EQS eau de surface (arsenic dissous) : 0,8 µg/L</p> <p>EQS eau de surface (arsenic total) : 1 µg/L</p> <p>OSPAR : pour la mer du Nord et l'Atlantique NE (arsenic dissous) : 1-10 µg/L</p> <p><u>Etats Unis</u> :</p> <p>Critère qualité pour la consommation humaine des poissons et de l'eau de boisson : 0,018 µg/L</p> <p>Protection de la Santé, consommation des poissons : 0,14 µg/L</p>			
Mesure de restriction	Importation et exportation de substance dangereuse. Utilisation sévèrement restreinte (Annexe 1 Partie 1 Règlement n° (EC)689/2008)			
Substances associées	-			

PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

	As	AsO ₄ Na ₂ H	As ₂ O ₃	As ₂ O ₅	Source
Poids moléculaire [g/mol]	74,92	185,91	197,84	229,84	ATSDR, 2007; Weiss, 1986
Hydrosolubilité [g/L]	insoluble	610 à 15°C	17 à 16°C	2 300 à 20°C	ATSDR, 2007; IPCS, 2013

COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT**PERSISTANCE**

		Source
Hydrolyse	L'arsenic dans l'eau est susceptible de subir de complexes transformations sujettes aux conditions du milieu, notamment le pH et les conditions oxydo-réductrices. Pour des pH situés dans les normales naturelles, les formes dissoutes prédominantes sont les ions arséniate (H ₂ AsO ₄ ⁻ et HAsO ₄ ²⁻) pour les As(V) et As(OH) ₃ pour les As(III). Les formes As(V) dominant généralement dans les eaux bien oxygénées alors que les formes As(III) dominant en conditions réductrices.	ATSDR, 2007
Photolyse	Dans l'air, l'arsenic existe principalement sous la forme de particules d'arsenic trioxyde et d'arsines (formes organiques volatiles). L'arsenic trivalent et les arsines méthylées peuvent subir, dans l'atmosphère, une oxydation vers l'état V. La photolyse n'est pas un processus important pour les composés inorganiques de l'arsenic	ATSDR, 2007
Biodégradabilité	Non pertinent	ATSDR, 2007

DISTRIBUTION DANS L'ENVIRONNEMENT

		Source
Adsorption	<p>Le coefficient d'adsorption (K_d) de l'arsenic est dépendant du pH, de la spéciation de l'arsenic et de la température. Ainsi, en milieu acide et neutre, la forme pentavalente est très adsorbée alors que la forme trivalente est peu adsorbée.</p> <p>L'arsenic présent dans l'eau peut être issu d'une remobilisation de la fraction stockée dans le sédiment.</p> <p>Le lessivage ne tend pas à être un phénomène important étant donné qu'une majorité des composés arsenic s'adsorbent au sol.</p> <p>Plusieurs coefficients de partage sol-eau ont été proposés.</p> <p>Pour l'arsenic V,</p> <ul style="list-style-type: none"> - $K_d = 1,9$ à 18 - $K_d = 8,5$ à 1500 <p>Une étude bibliographique portant sur les références dans la littérature aux K_d de certains métaux rapporte une valeur moyenne pour l'arsenic de 2,4 pour l'interface sédiment/eau. C'est cette valeur qui sera retenue pour l'évaluation dans les sédiments en l'absence de données sur les organismes benthiques.</p>	<p>US-EPA, 1979; US-EPA, 1982; Welch <i>et al.</i>, 1982</p> <p>Baes et Sharp, 1983 Buchter <i>et al.</i>, 1989</p> <p>Lepper <i>et al.</i>, 2007</p>
Volatilisation	<p>La plupart des dérivés organiques et inorganiques de l'arsenic sont des composés blancs ou incolores sous forme de poudre qui ne se volatilise pas.</p> <p>Dans l'air, l'arsenic existe principalement sous la forme de particules d'arsenic trioxyde et d'arsines (formes organiques volatiles). L'arsenic trivalent et les arsines méthylées peuvent subir, dans l'atmosphère, une oxydation vers l'état V.</p>	<p>ATSDR, 2007</p>
Bioaccumulation	<p>L'arsenic se fixe majoritairement à l'exosquelette des invertébrés et dans le foie des poissons. Le transfert le plus important s'opère depuis l'eau vers les algues, celles-ci présentent les concentrations en arsenic les plus importantes.</p> <p>Des valeurs de BCF de 0 à 17 ont été mesurées pour des invertébrés et poissons d'eau douce, un BCF de 350 a été obtenu pour l'huître marine.</p> <p>Des BCF de 8 700, 1 900-2 200 et 200-800 ont été respectivement mesurés sur les bryophytes, les invertébrés et les poissons (foies) capturés dans des</p>	<p>ATSDR, 2007</p> <p>US-EPA, 1980</p> <p>ATSDR, 2007</p>

	<p>lacs suédois exposés à l'arsenic.</p> <p>Une étude bibliographique couvrant 12 études sur 37 espèces de poissons d'eau douce (du poisson détritivore benthique au poisson carnivore pélagique) rapporte un BCF/BAF minimum de 0.1 obtenu sur <i>Oncorhynchus mykiss</i> dans une eau à 16 300 µg/L d'arsenic et un BCF/BAF maximum de 1 600 obtenu sur <i>Lepomis macrochirus</i> dans une eau à 0,085 µg/L d'arsenic.</p> <p>Les BCF observés sur organismes marins sont généralement plus importants que ceux mesurés sur des organismes d'eau douce. Si la bioaccumulation de l'arsenic a été observée, ce composé ne se bioamplifie pas le long de la chaîne trophique.</p> <p>BCF retenu pour le rapport = 100 (cf. justification ci-dessous)</p> <p>BMF retenu pour le rapport = 1</p>	<p>Williams <i>et al.</i>, 2006</p> <p>Williams <i>et al.</i>, 2006 ATSDR, 2007</p> <p>Williams <i>et al.</i>, 2006 ATSDR, 2007</p>
--	---	---

Une grande diversité des facteurs de bioaccumulation a été rapportée. Les BCF mesurés dans les organismes aquatiques ne suivent pas une relation linéaire avec les concentrations mesurées dans l'eau. Les BCF les plus importants sont mesurés dans les cas où les concentrations d'arsenic dans l'eau étaient comparables avec les concentrations environnementales et semblent décroître lorsque les concentrations en arsenic augmentent dans le milieu, indiquant une saturation de l'accumulation.

Le BCF retenu dans ce rapport doit être représentatif des concentrations pour lesquelles le phénomène de bioaccumulation est maximal, c'est-à-dire qu'il doit être obtenu pour des concentrations d'arsenic de l'ordre des concentrations naturelles environnementales. Un BCF de 100 a été calculé en réalisant la moyenne géométrique des BCF/BAF rapportés par Williams *et al.* (2006)⁵ pour des concentrations d'arsenic dans l'eau comprises entre l'AA-QS_{water_eco} calculée dans ce rapport (0,5 µg/L) et la valeur correspondant au 90% centile des concentrations naturelles dans l'eau de la base de données FOREGS⁶ (2,45 µg/L). Cette valeur devrait être suffisamment protectrice étant donné que les BCF diminuent si les concentrations dans l'eau augmentent.

De plus, étant donné que la bioamplification de l'arsenic n'est pas un phénomène qui a été observé, le BMF choisi pour ce rapport est égal à 1.

⁵ Les BCF et les BAF de cette source n'ont pas été vérifiées.

⁶ Disponible à cette adresse : <http://weppi.gtk.fi/pub/foregsatlas/article.php?id=15>

ECOTOXICITE ET TOXICITE

ORGANISMES AQUATIQUES

Sauf mention contraire, toutes les données issues des documents référencés sous «(Lepper *et al.*, 2007) » « RIVM, 1997« et « US-EPA, 1984b » ont fait l'objet d'un examen collectif, elles n'ont donc pas fait l'objet de validation supplémentaire.

Ces résultats d'écotoxicité sont principalement exprimés sous forme de NOEC (*No Observed Effect Concentration*), concentration sans effet observé, d'EC₁₀ concentration produisant 10% d'effets et équivalente à la NOEC, ou de EC₅₀, concentration produisant 50% d'effets. Les NOEC sont principalement rattachées à des tests chroniques, qui mesurent l'apparition d'effets sub-létaux à long terme, alors que les EC₅₀ sont plutôt utilisées pour caractériser les effets à court terme.

ECOTOXICITE

Les tableaux ci-dessous répertorient les données d'écotoxicité jugées pertinentes pour notre étude. Les concentrations sont indiquées en concentration d'arsenic, la spéciation est précisée à chaque fois que l'information est disponible.

ECOTOXICITE AQUATIQUE AIGUË

Organisme	Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source	
Algues & plantes aquatiques	Eau douce	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Na ₃ AsO ₄ CE ₅₀ (96h) croissance	159	Chen et al., 1994 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Scenedesmus obliquus</i>	NaAsO ₂ CE ₅₀ (96h) croissance	79	
		<i>Selenastrum capricornutum</i>	Na ₃ AsO ₄ CE ₅₀ (96h) croissance	690	Call et al., 1983 cité dans Lepper et al., 2007
	Milieu marin	<i>Skeletonema costatum</i>	As (V) LOEC (25h). Effets biochimiques	25	Sanders J.G. et Windom H.L., 1980 cité dans Lepper et al., 2007

Organisme		Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source
Invertébrés	Eau douce	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	NaAsO ₂ CE ₅₀ (48h) Mobilité	1270	Elnabarawy et al., 1986 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Daphnia pulex</i>	As (III) CL ₅₀ (48h) Mortalité	1900	Mount et Norberg, 1984 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Simocephalus vetulus</i>	As (III) CL ₅₀ (48h) Mortalité	1700	Mount et Norberg, 1984 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Simocephalus serrulatus</i>	NaAsO ₂ ⁻ As (III) CE ₅₀ 48h Mobilité	1400	Mayer et Ellersieck, 1986 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Simocephalus serrulatus</i>	As (III) CE ₅₀ 48h	1797	Moyenne géométrique
		<i>Bosmina longirostris</i>	Na ₂ HAsO ₄ (AsV) CE ₅₀ 96h Mobilité	850	Passino D.R.M. et Novak A.J., 1980 cité dans Lepper et al. 2007
		<i>Cerodaphnia dubia</i>	NaAsO ₂ CL ₅₀ 48h Mortalité	1448	Spehar R.L. et Fiandt J.T., 1986 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	NaAsO ₂ CL ₅₀ 96h Mortalité	875	Call et al., 1983 et Lima et al., 1984 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Hyalella azteca</i>	NaAsO ₂ Mortalité	1600	Liber et al., 2011

Organisme	Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source	
Milieu marin	<i>Acartia clausi</i>	As(III) CL ₅₀ 96h Mortalité	907	Lussier et Cardin, 1985 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	
	<i>Panaeus chinensis</i>	As(III) CL ₅₀ 96h Mortalité	3 ⁷	Chen B. et Chen M., 1990 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	
	<i>Cancer magister</i>	As ₂ O ₅ CL ₅₀ 24h Mortalité	232	Martin <i>et al.</i> , 1981b cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	
	<i>Nitocra spinipes</i>	AsHNa ₂ O ₄ (V) CL ₅₀ 96h Mortalité des femelles	3000	Bengtsson B. E. et Bergstrom B., 1987 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	
	<i>Tigriopus brevicornis</i>	AsH ₂ KO ₄ CL ₅₀ 96h Mortalité	11	Forget <i>et al.</i> , 1998 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	
	<i>Americamysis bahia</i>	As(III) CL ₅₀ 96h Mortalité	1740	Lussier <i>et al.</i> , 1985a cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	
	<i>Corophium insidiosum</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 96h Mortalité	1100	Reish D.J., 1993 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	
Sédiment					
Insectes	Eau douce	<i>Chironomus dilutus</i> ⁸	As ₂ O ₃ CE ₅₀ 48h Mobilité	680	Khangarot et Ray, 1989 cité par Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Chironomus dilutus</i>	NaAsO ₂ Mortalité	7100	Liber <i>et al.</i> , 2011
Milieu marin					

⁷ Il n'a pas été possible de vérifier cette donnée issue du résumé d'une publication rédigée en chinois. Elle ne sera pas utilisée dans les calculs mais est citée à titre d'information en tant que donnée la plus basse reportée.

⁸ Nouveau nom de *Chironomus tentans*

Organisme	Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source	
	Sédiment	-			
	Eau douce	-			
Annélides	Milieu marin	<i>Capitella capitata</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 96h Mortalité	2050	Reish et LeMay, 1991 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Ophryotrocha labronica</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 96h Mortalité	1500	Reish et LeMay, 1991 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
Poissons	Eau douce	<i>Thymallus arcticus</i>	As ₂ O ₅ CL ₅₀ 96h Mortalité juvéniles	4760	Buhl et Hamilton, 1990 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Barbus javanicus</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 96h Mortalité	24170	Gupta A.K. et Chakrabarti P., 1993 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Carassius auratus</i>	As (III) CL ₅₀ 7j. Mortalité	4900	Birge <i>et al.</i> , 1979 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Channa punctatus</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 96h Mortalité des juvéniles ⁹	10900	Shukla <i>et al.</i> , 1987 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Colisa fasciatus</i>	As ₂ O ₃ 96h Mortalité des juvéniles ¹²	6100	Shukla J.P. et Pandey K., 1985 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Pimephales promelas</i>	NaAsO ₂ CL ₅₀ 96h Mortalité	12600	Spehar R.L. et Fiantt J.T., 1986 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007

⁹ Plus précisément les poissons utilisés pour l'essai sont au stade « fingerling ». C'est-à-dire qu'ils ont développé récemment des écailles et des branchies fonctionnelles. Cela correspond généralement à un poisson de 9 à 12 mois ayant la taille d'un doigt.

Organisme		Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source
		<i>Barbus sophore</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 48h Mortalité	14000	US EPA 1983 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Oryzias latipes</i>	NaAsO ₂ CL ₅₀ 7j. Mortalité	14600	Suhendrayatna <i>et al.</i> , 2002 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Oreochromis mossambicus</i>	NaAsO ₂ CL ₅₀ 144h Mortalité	15980	Liao <i>et al.</i> , 2004 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
	Milieu marin	<i>Therapon jarbua</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 96h Mortalité	3380	Krishnakumari <i>et al.</i> , 1983 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Onchorynchus gorbuscha</i>	As ₂ O ₃ NOEC 72h Mortalité	9500	Holland <i>et al.</i> , 1960 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Morone saxatilis</i>	As ₂ O ₅ CL ₅₀ 96h Mortalité	10300	Dwyer F.J. <i>et al.</i> , 1992 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
Amphibiens	Eau douce	<i>Rana hexadactyla</i>	As ₂ O ₃ CL ₅₀ 96h Mortalité	2490	Khangerot <i>et al.</i> , 1985 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
	Milieu marin	-			

ECOTOXICITE AQUATIQUE CHRONIQUE

Organisme	Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source	
Algues & plantes aquatiques	Eau douce	Na ₃ AsO ₄ NOEC 72-96h Croissance	<i>Asterionella formosa</i>	5	Hörnström, 1989 cité dans US-EPA, 1984b ¹⁰
			<i>Cyclotella comta</i>	50	
			<i>Synedra nana</i>	5	
			<i>Tabellaria teilingii</i>	5	
			<i>Chlamydomonas 1</i>	5	
			<i>Chlamydomonas 2</i>	5	
			<i>Dictyosphaerium elegans</i>	5	
			<i>Monoraphidium contrortum</i>	50	
			<i>M. dybowskii</i>	500	
			<i>M. griffithii</i>	5	
			<i>Scenedesmus denticulatus</i>	5	
			<i>Quadrigula pfizerii</i>	50	
			<i>Closterium acutum</i>	50	
			<i>Cosmarium pygmaeum</i>	50	
			<i>Monosiga sp.</i>	500	
			<i>Ochromonas 1</i>	500	
			<i>Ochromonas 2</i>	500	
		<i>Kephyrion planctonicum</i>	500		
		<i>Stichogloea doederleinii</i>	2,5		
			<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	AsHNa ₂ O ₄ (V) NOEC 14j. croissance	10
	<i>Scenedesmus obliquus</i>	AsHNa ₂ O ₄ (V) LOEC 14j. croissance	10	Vocke et al., 1980 cité dans Lepper et al., 2007	

¹⁰ Les concentrations utilisées lors des essais ne sont pas toutes présentées dans le document. Le pas entre les NOEC et les LOEC est donc inconnu. Ces valeurs ne sont pas utilisées pour les calculs mais sont présentées dans ce tableau à titre d'information.

Organisme		Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source
Milieu marin		<i>Skeletonema costatum</i>	As (III) LOEC 6-8j. croissance	10	Sanders, 1979 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Skeletonema costatum</i>	As (V) LOEC 6-8j. croissance	13	Sanders J.G., 1979 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Fucus serratus</i>	AsHNa ₂ O ₄ (V) NOEC 17 semaine croissance et mortalité	20	Geizinger <i>et al.</i> , 2001 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Champia parvula</i>	NaAsO ₂ NOEC 14j. reproduction sexuée	60	Thursby et Steele, 1984 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Tetraselmis chui</i>	NaAsO ₂ NOEC 96h. croissance	1000	Bottino <i>et al.</i> , 1978
		<i>Hymenomonas carterae</i>	NaAsO ₂ NOEC 72h. croissance	10000	Bottino <i>et al.</i> , 1978
Invertébrés	Eau douce	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	As ₂ O ₃ NOEC 10j. mortalité	88	Spehar <i>et al.</i> , 1980 cités dans RIVM, 1997
		<i>Daphnia pulex</i>	NaAsO ₂ LOEC 26j. reproduction	10	Chen <i>et al.</i> , 1999 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Na ₈ AsO ₄ NOEC 7j. croissance	570	BKH, 1995 Cité dans RIVM, 1997
		<i>Ceriodaphnia dubia</i>	NaAsO ₂ NOEC 8j. reproduction	1420	Naddy <i>et al.</i> , 1995
		<i>Daphnia magna</i>	NaAsO ₄ EC _{16/2} 21j. reproduction	260	Biesinger et Christensen, 1972 cités dans RIVM, 1997
		<i>Daphnia magna</i>	NaAsO ₄ EC _{16/2} 21j. croissance	498	
		<i>Daphnia magna</i>	As ₂ O ₅ NOEC 21j. croissance	1100	BKH, 1995 cités dans RIVM, 1997
		<i>Daphnia magna</i>	As ₂ O ₃ NOEC 21j. croissance	1700	Enserink <i>et al.</i> , 1991
		<i>Daphnia magna</i>	Moyenne NOEC 21j. croissance	976	Moyenne géométrique
	<i>Daphnia magna</i>	As ₂ O ₃ NOEC 21j. reproduction	1850	Tisler <i>et al.</i> , 2002 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007	

Organisme	Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source	
	<i>Daphnia magna</i>	AsNaO ₂ As(III) NOEC 28j. mortalité reproduction	630	Lima et al., 1984 cité dans Lepper et al., 2007	
	<i>Daphnia magna</i>	NaAsO ₂ NOEC 28j. croissance	633	Lima et al., 1984 cités dans RIVM, 1997	
Milieu marin	<i>Mysidopsis bahia</i>	AsNaO ₂ NOEC 21j. reproduction	631	Lussier et al., 1985b cité dans US-EPA, 1984b	
Sédiment	<i>Hyalella azteca</i>	NaAsO ₂ NOEC 10j. survie	360 µg/L (colonne d'eau) 16 430 µg/L (eau interstitielle) 462 mg/kg _{dw}	Liber et al., 2011	
	<i>Chironomus dilutus</i>	NaAsO ₂ NOEC 10j. survie	10 (colonne d'eau) 420 µg/L (eau interstitielle) 39 mg/kg _{dw}	Liber et al., 2011	
	<i>Chironomus dilutus</i>	As(III) NOEC 10j. Croissance des larves	30 mg/kg _{dw}	Martinez et al., 2006	
	Eau douce	-			
Mollusques	Milieu marin	<i>Crassostrea gigas</i>	As ₂ O ₅ CE ₅₀ 48h développement	326	Martin M. et al., 1981 cité dans Lepper et al., 2007

Organisme		Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source
Poissons	Eau douce	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	As ₂ O ₃ NOEC 6 mois reproduction	76	Nichols et al., 1984 cités dans RIVM, 1997
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Na ₂ HAsO ₄ NOEC 77j. croissance	8400	BKH, 1995 cités dans RIVM, 1997
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	NaAsO ₂ CL ₁₀ 28j. Mortalité (oeuf)	134	Birge W. J., 1978 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Pimephales promelas</i>	Na ₈ AsO ₄ NOEC 32j. Reproduction	1700	BKH, 1995 cités dans RIVM, 1997
		<i>Pimephales promelas</i>	As ₂ O ₅ NOEC 30j. Croissance	530	De Foe D. L., 2982 cité dans Lepper et al., 2007
		<i>Pimephales promelas</i>	NaAsO ₂ NOEC 29j. Reproduction	2130	Lima et al., 1984 cités dans RIVM, 1997
		<i>Jordanella floridae</i>	NaAsO ₂ NOEC 31j. Croissance	2130	
			<i>Channa punctatus</i>	As ₂ O ₃ NOEC 31j. Croissance	2100
	Milieu marin	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	As ₂ O ₃ NOEC 10j. Mortalité	2650	Holland G.A., 1960 cité dans Lepper et al., 2007
Plantes supérieures	Eau douce	<i>Azolla pinnata</i>	Na ₂ HAsO ₄ NOEC 28j. Croissance ¹¹	1000	Sarkar et Jana, 1986 cité dans EPA, 1984
		<i>Lemna minor</i>	Na ₂ HAsO ₄ As(V) CEr10 (7j) croissance	3010	Naumann et al., 2007
			<i>Lemna minor</i>	NaAsO ₂ As(III) CEr10 (7j) croissance	634
	Milieu marin		-		

¹¹ Il n'a pas été possible de vérifier si la NOEC est liée à un essai ayant enregistré un résultat positif ou si elle correspond à la plus haute concentration testée.

Organisme		Espèce	Critère d'effet	Valeur [µg/L]	Source
Protozoaires	Eau douce	<i>Tetrahymena thermophila</i>	H ₃ AsO ₄ NOEC 48h Croissance	6600	Pauli et al., 1993
		<i>Entosiphon sulcatum</i>	Na ₂ HAsO ₄ NOEC 72h Croissance	4800	Bringmann et Kühn, 1978 cités dans RIVM, 1997
	Milieu marin	-			
Cyano-bactéries	Eau douce	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Na ₂ HAsO ₄ NOEC 8j. Croissance	11000	Bringmann, 1975 cité dans RIVM, 1997
	Milieu marin	-			
Echino-dermes	Eau douce	-			
	Milieu marin	<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	AsHNa ₂ O ₄ (V) LOEC 48h Développement embryon	11	Garman et al., 1997 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007
		<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	AsHNa ₂ O ₄ (V) CE10 48h Développement embryon	6 ¹²	Garman et al., 1997 cité dans Lepper <i>et al.</i> , 2007

NORMES DE QUALITÉ POUR LA COLONNE D'EAU

Les normes de qualité pour les organismes de la colonne d'eau sont calculées conformément aux recommandations du guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011).

L'examen du jeu de donnée n'a pas permis de dégager une sensibilité particulière des organismes à un état d'oxydation ou à un paramètre environnemental. Conformément aux recommandations pour prendre en compte la biodisponibilité des métaux du guide technique pour la détermination de normes de qualité environnementales (E.C., 2011), l'évaluation prend en compte la fraction dissoute du composé et considèrera les approches par facteur d'extrapolation, statistiques ou par coefficient de partition pour calculer les normes de qualité.

La valeur du facteur d'extrapolation dépend du nombre et du type de tests pour lesquels des résultats valides sont disponibles. Les règles détaillées pour le choix des facteurs sont données dans le guide technique européen (E.C., 2011).

En ce qui concerne les organismes marins, selon le guide technique pour la détermination de normes de qualité environnementales (E.C., 2011), pour les métaux, les données de toxicité en eau douce et eau de mer doivent être séparées *a priori*. Ceci est expliqué par la différence de toxicité attendue sur

¹² Valeur calculée. Dans le document de proposition d'EQS de Lepper et al. (2007), cette CE₁₀ de 6 µg.L⁻¹ est calculée depuis les concentrations présentées dans la figure 2A de l'étude de Garman et al. (1997) en utilisant le logiciel ToxRat®. Cette valeur est ensuite utilisée pour calculer l'AA-QS_{marine_eco} de 0,6 µg.L⁻¹

les espèces dulçaquicoles ou marines en raison de la différence dans la spéciation des métaux et leur biodisponibilité ainsi que des capacités d'(osmo)régulation des espèces. Les données ne peuvent être combinées que si l'absence de différences est démontrée ou si la biodisponibilité est prise en compte par ailleurs.

Le facteur d'extrapolation appliqué pour déterminer la AA-QS_{marine_eco} doit prendre en compte les incertitudes additionnelles telles que la sous-représentation des taxons spécifiques marins et une diversité d'espèces plus complexe en milieu marin.

- **Moyenne annuelle (AA-QS_{water_eco} et AA-QS_{marine_eco}) :**

Une concentration annuelle moyenne est déterminée pour protéger les organismes de la colonne d'eau d'une possible exposition prolongée.

L'examen des données disponibles n'a pas permis de déterminer une différence entre les résultats des essais long terme réalisés avec des formes trivalentes et pentavalentes de l'arsenic. Il n'est donc pas justifié de les différencier selon le critère de la spéciation. Un test de Mann-Whitney sur XLStat 2007 a été réalisé sur les jeux de données long terme retenus en eau douce et en eau marine. Ce test a permis de vérifier qu'il n'y avait pas de différence significative entre les résultats d'essai en eau douce et en eau de mer, en conséquence, un jeu de données unique peut être considéré pour le calcul de la AA-QS_{water_eco} et AA-QS_{marine_eco}.

Le guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale permet d'évaluer l'AA-QS_{water_eco} et l'AA-QS_{marine_eco} selon une approche d'extrapolation statistique si le jeu de données remplit certains critères. En ce qui concerne l'arsenic, le jeu de donnée n'est pas optimal pour utiliser la méthode d'extrapolation statistique, une valeur long terme « insecte » et une valeur long terme sur - par exemple - des amphibiens sont manquantes. Toutefois, pour les insectes, les détails d'un essai d'écotoxicité réalisé sur la larve de moustique (Liber et al., 2011) exposée à du sédiment contaminé fournissent les concentrations en arsenic mesurées dans l'eau interstitielle et dans la colonne d'eau. Ces concentrations sont très différentes et il est difficile de déterminer la contribution de l'eau interstitielle (NOEC correspond à 420 µg/L) et de la colonne d'eau (NOEC correspond à 10 µg/L) pour ces organismes benthiques. Afin d'adopter une démarche protectrice, la concentration équivalente dans l'eau qui sera utilisée pour le taxon des insectes sera la concentration de 10 µg/L. Bien qu'il manque encore une donnée sur un taxon supplémentaire (les amphibiens par exemple), la distribution des espèces (SSWD, Species Sensitivity Weighted Distribution) (Duboudin et al., 2004) est réalisée pour obtenir l'HC₅, la concentration supposée sans effet néfaste sur 95% des espèces aquatiques.

La valeur suivante a été calculée à l'aide des données aquatiques d'eau douce et d'eau marine présentées dans le chapitre « ECOTOXICITE AQUATIQUE CHRONIQUE ».

HC₅ = 6,85 µg/L (IC_{90%} = [3 ; 18.7]).

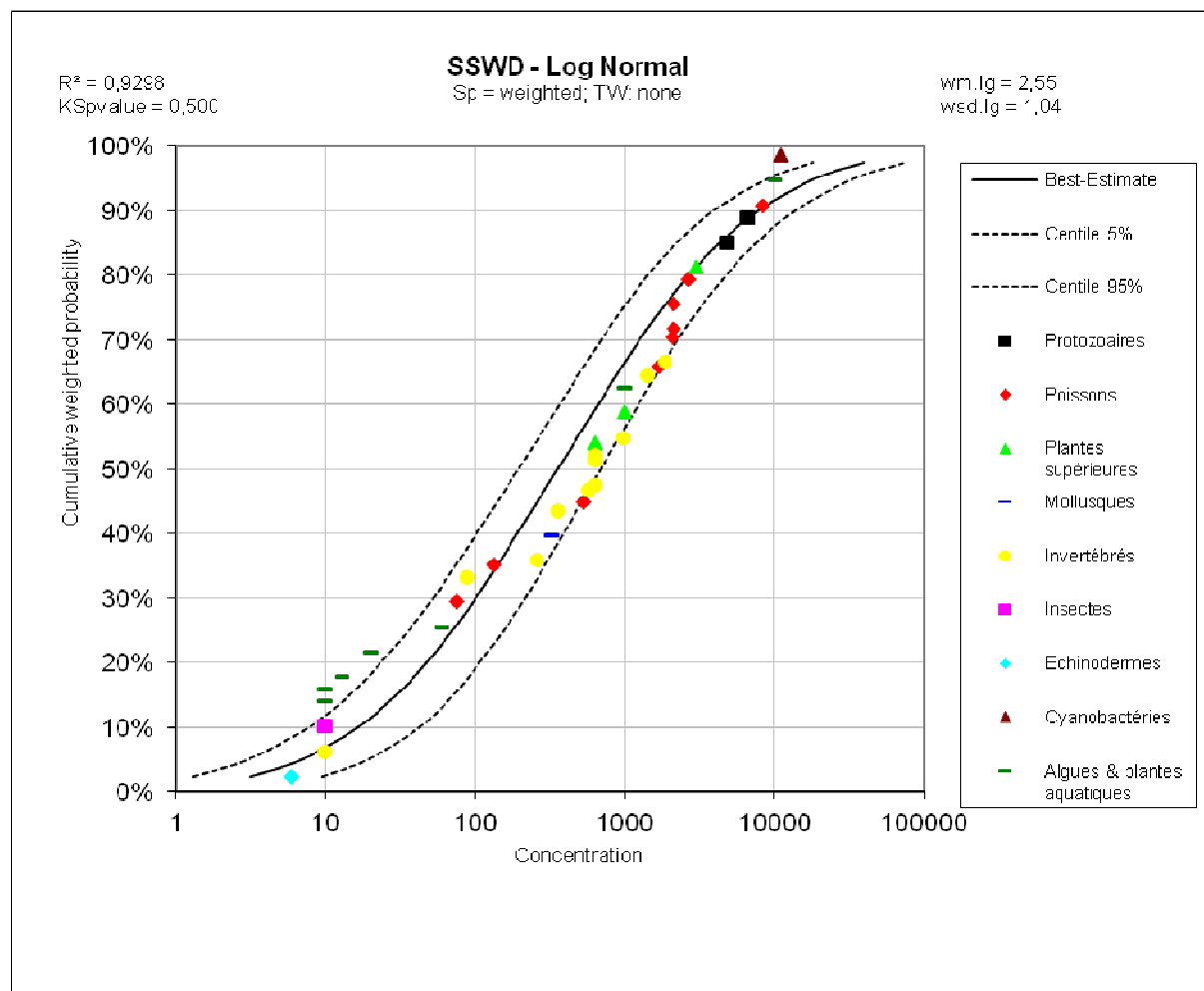


Figure 1: Arsenic et ses dérivés inorganiques, distribution des résultats des essais de type chroniques

Cette courbe permet de visualiser une certaine sensibilité à l'arsenic et ses dérivés inorganiques des insectes, des échinodermes, des algues et des invertébrés par rapport aux poissons.

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, il a été décidé d'utiliser le résultat de la dérivation statistique des données d'écotoxicologie pour calculer l'AA-QS_{water_eco} et l'AA-QS_{marine_eco}. Afin de tenir compte de l'absence de donnée sur un taxon supplémentaire (par exemple les amphibiens), le facteur d'extrapolation maximum de 5 recommandé par le guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011) sera appliqué à la HC₅ obtenue. Pour l'AA-QS_{water_eco} l'INERIS propose donc la valeur suivante :

$$AA-QS_{water_eco} = 6,85/5 \mu\text{g/L, soit}$$

$$AA-QS_{water_eco} = 1,37 \mu\text{g/L}$$

L'AA-QS_{water_eco} calculée est inférieure au 90% centile dans l'eau de la base de données FOREGS¹³ (2,45 $\mu\text{g/L}$). La valeur calculée est donc de l'ordre de grandeur des concentrations naturelles ce qui implique de prendre en compte ces dernières au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil.

¹³ Disponible à cette adresse : <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=15>

Pour l'AA-QS_{marine_eco} l'INERIS propose la valeur suivante :

$$AA-QS_{marine_eco} = 6,85/5 \mu\text{g/L, soit}$$

$$AA-QS_{marine_eco} = 1,37 \mu\text{g/L}$$

Bien que la valeur de concentration naturelle ne soit pas disponible pour l'eau marine, les mêmes précautions au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil sont recommandées pour l'eau de mer.

- **Concentration Maximum Acceptable (MAC)**

L'examen des données disponibles n'a pas permis de déterminer une différence entre les résultats des essais court terme réalisés avec des formes trivalentes et pentavalentes de l'arsenic. Il n'est donc pas justifié de les différencier selon le critère de la spéciation.

Un test de Mann-Whitney sur XLStat 2007 a été réalisé sur les jeux de données court terme retenus en eau douce et en eau marine. Ce test montre qu'il n'y avait pas de différence significative entre les résultats d'essai d'écotoxicité aiguë en eau douce et en eau de mer. En conséquence, un jeu de données unique peut être considéré pour le calcul de la MAC et de la MAC_{marine}.

La concentration maximale acceptable est calculée afin de protéger les organismes de la colonne d'eau de possibles effets de pics de concentrations de courtes durées (E.C., 2011).

L'invertébré marin *Tigriopus brevicornis* apparaît comme l'espèce la plus sensible parmi les essais validés en exposition aiguë avec une CL₅₀ de 11 µg/L (Forget et al., 1998). Conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), un facteur d'extrapolation de 10 peut être appliqué sur cette valeur puisque des données sont disponibles pour chaque niveau trophique (poissons, microcrustacés et algues), et que les espèces représentatives des taxons jugés le plus sensibles (ici les algues et les invertébrés) sont représentés.

L'INERIS propose donc la valeur suivante :

$$MAC = 11/10 \mu\text{g/L, soit}$$

$$MAC = 1,1 \mu\text{g/L}$$

La valeur obtenue pour la MAC est légèrement inférieure à la valeur obtenue pour l'AA-QS_{water_eco}. La MAC sera donc considérée comme égale à l'AA-QS_{water_eco} c'est-à-dire :

$$MAC = 1,37 \mu\text{g/L}$$

La MAC calculée est du même ordre de grandeur que le 90% centile dans l'eau de la base de donnée FOREGS¹⁴ (2,45 µg/L). La valeur calculée est donc de l'ordre de grandeur des concentrations naturelles ce qui implique de prendre en compte ces dernières au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil.

En ce qui concerne les organismes marins, le jeu de donnée comprend des informations disponibles pour les taxons plantes, invertébrés et poissons en plus de données court terme pour deux taxons marins additionnels : deux CL₅₀ obtenus sur des annélides (Reish et LeMay, 1991) et des données sur le mollusque *Crassostrea gigas* (Martin et al., 1981a)¹⁵. Les espèces représentatives des taxons jugés le plus sensibles (ici les algues et les invertébrés) étant représentés, conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), un facteur d'extrapolation de 10 peut être appliqué à la donnée issue de l'essai validé le plus sensible disponible : une CL₅₀ de 11 µg/L sur l'invertébré marin *Tigriopus brevicornis* (Forget et al., 1998).

¹⁴ Disponible à cette adresse : <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=15>

¹⁵ Bien que le paramètre mesuré, le développement, soit plutôt du domaine des effets recherchés pour l'exposition chronique, la durée du test et le critère mesuré (une CE₅₀ à 48h) justifie d'utiliser également cet essai parmi les informations du jeu de données aiguës.

L'INERIS propose donc la valeur suivante :

$$\text{MAC}_{\text{marine}} = 11/10 \mu\text{g/L, soit}$$

$$\text{MAC}_{\text{marine}} = 1,1 \mu\text{g/L}$$

La valeur obtenue pour la $\text{MAC}_{\text{marine}}$ est légèrement inférieure à la valeur obtenue pour l'AA-QS_{marine_eco}. La $\text{MAC}_{\text{marine}}$ sera donc considérée comme égale à l'AA-QS_{marine_eco} c'est-à-dire :

$$\text{MAC}_{\text{marine}} = 1,37 \mu\text{g/L}$$

Bien que le 90% centile dans l'eau marine ne soit pas disponible dans la base de donnée FOREGS, le 90^{ème} centile en eau de surface est utilisé (2,45 $\mu\text{g/L}$). La valeur calculée est donc de l'ordre de grandeur des concentrations naturelles ce qui implique de prendre en compte ces dernières au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil.

Proposition de norme de qualité pour les organismes de la colonne d'eau (eau douce)		
Moyenne annuelle [AA-QS_{water_eco}]*	1,37	$\mu\text{g/L}$
Concentration Maximum Acceptable [MAC]*	1,37	$\mu\text{g/L}$
Proposition de norme de qualité pour les organismes de la colonne d'eau marine		
Moyenne annuelle [AA-QS_{marine_eco}]*	1,37	$\mu\text{g/L}$
Concentration Maximum Acceptable [MAC_{marine_eco}]*	1,37	$\mu\text{g/L}$

*= Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les concentrations naturelles environnementales. Ceci implique de prendre en compte les concentrations bruit de fond au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil.

VALEUR GUIDE POUR LES ORGANISMES BENTHIQUES (QS_{SED} ET QS_{SED-MARIN})

Un seuil de qualité dans le sédiment est nécessaire (i) pour protéger les espèces benthiques et (ii) protéger les autres organismes d'un risque d'empoisonnement secondaire résultant de la consommation de proies provenant du benthos. Les principaux rôles des normes de qualité pour les sédiments sont de :

1. Identifier les sites soumis à un risque de détérioration chimique (la norme sédiment est dépassée)
2. Déclencher des études pour l'évaluation qui peuvent conduire à des études plus poussées et potentiellement à des programmes de mesures
3. Identifier des tendances à long terme de la qualité environnementale (Art. 4 Directive 2000/60/CE).

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, la donnée la plus faible a été obtenue lors d'un essai réalisé sur la larve de *Chironomus dilutus* (NOEC = 30 mg.kg^{-1} de sédiment sec avec un As(III)) (Martinez et al., 2006). Conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), la QS_{sed poids sec} peut être calculée à partir de cette valeur en appliquant un facteur d'extrapolation de 50 puisque le jeu de donnée comprend également le résultat d'un essai long terme sur *Hyallela azteca*, un autre organisme benthique au mode de vie différent (Liber et al., 2011). L'INERIS propose donc la valeur suivante :

$$\text{QS}_{\text{sed poids sec}} [\text{mg/kg}] = 30/50 \text{ mg/kg, soit } 0,6 \text{ mg/kg}$$

La $QS_{\text{sed poids sec}}$ calculée est inférieure au 90^{ème} percentile dans le sédiment de la base de donnée FOREGS (22 mg/kg) aussi, conformément aux recommandations du guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), celles ci peuvent être prises en compte pour évaluer l'état d'un milieu. La $QS_{\text{sed poids sec}}$ ne tient pas compte des concentrations naturelles.

La concentration correspondante en poids frais peut être estimée en tenant compte du facteur de conversion suivant :

$$\frac{RHO_{\text{sed}}}{F_{\text{solide sed}} * RHO_{\text{solide}}} = \frac{1300}{500} = 2,6$$

Avec :

$F_{\text{solide sed}}$: fraction volumique en solide dans les sédiments en [$m^3_{\text{solide}}/m^3_{\text{susp}}$]. En l'absence d'une valeur exacte, la valeur générique proposée par le document guide technique européen (E.C., 2011) est utilisée : 0,2 m^3/m^3 .

RHO_{solide} : masse volumique de la partie sèche en [$kg_{\text{solide}}/m^3_{\text{solide}}$]. En l'absence d'une valeur exacte, la valeur générique proposée par le document guide technique européen (E.C., 2011) est utilisée : 2500 kg/m^3 .

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, la concentration correspondante en poids humide est :

$$QS_{\text{sed poids frais}} = \frac{QS_{\text{sed poids sec}}}{2,6} = \frac{0,6}{2,6} = 0,23 \text{ mg/kg}_{\text{sed poids frais}}$$

En ce qui concerne les organismes benthiques marins, selon le guide technique pour la détermination de normes de qualité environnementales (E.C., 2011), l'hypothèse selon laquelle les données écotoxicologiques d'origine marine peuvent être rassemblées avec celles d'origine d'eau douce doit être vérifiée. La sensibilité des espèces benthiques marines à la toxicité des substances peut être considérée comme équivalente à celle des espèces d'eau douce si aucune différence entre les jeux de données n'a été démontrée ou si les données d'un des deux jeux sont insuffisantes pour permettre une analyse statistique (et en l'absence d'informations d'autres origines¹⁶).

Néanmoins, le facteur d'extrapolation appliqué pour déterminer la $QS_{\text{sed marin}}$ doit prendre en compte les incertitudes additionnelles telles que la sous-représentation des taxons spécifiques marins et une diversité d'espèces plus importante en milieu marin.

Il n'y a pas de données benthiques marines disponibles, la $QS_{\text{sed marin}}$ sera estimée à partir des données issues d'essais d'écotoxicité obtenus sur des espèces benthiques d'eau douce.

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, la donnée la plus faible a été obtenue lors d'un essai réalisé sur la larve de *Chironomus dilutus* (NOEC =30 mg/kg de sédiment sec avec un As(III)) (Martinez et al., 2006). Le guide technique européen précise que les données obtenues lors d'essais sédiment où la disponibilité de la substance est la plus importante sont préférées aux autres (E.C., 2011). Lors de cet essai, le sédiment utilisé est constitué de sable (pauvre en carbone organique) et le pH est maintenu entre 7 et 8. L'arsenic y est donc biodisponible. Conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), la $QS_{\text{sed marin}}$ poids sec peut être calculée à partir de cette valeur en appliquant un facteur d'extrapolation de 500 puisque le jeu de donnée comprend également le résultat d'un essai long terme sur *Hyallela azteca*, un autre organisme benthique au mode de vie différent (Liber et al., 2011). L'INERIS propose donc la valeur suivante :

¹⁶ Ces informations peuvent provenir de composés très proches par « read across » ou d'un jugement d'expert.

$$QS_{\text{sed marin poids sec}} [\text{mg/kg}] = 30/500 \text{ mg/kg, soit } 0,06 \text{ mg/kg}$$

Bien que le 90^{ème} percentile dans le sédiment marin ne soit pas disponible dans la base de donnée FOREGS, la même démarche que pour l'eau douce est suivie. La valeur calculée est donc de l'ordre de grandeur des concentrations naturelles ce qui implique de prendre en compte ces dernières au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil.

La concentration correspondante en poids frais peut être estimée en tenant compte du facteur de conversion suivant :

$$\frac{RHO_{\text{sed}}}{F_{\text{solide}_{\text{sed}}} * RHO_{\text{solide}}} = \frac{1300}{500} = 2,6$$

Avec :

$F_{\text{solide}_{\text{sed}}}$: fraction volumique en solide dans les sédiments en [$\text{m}^3_{\text{solide}}/\text{m}^3_{\text{susp}}$]. En l'absence d'une valeur exacte, la valeur générique proposée par le document guide technique européen (E.C., 2011) est utilisée : $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

RHO_{solide} : masse volumique de la partie sèche en [$\text{kg}_{\text{solide}}/\text{m}^3_{\text{solide}}$]. En l'absence d'une valeur exacte, la valeur générique proposée par le document guide technique européen (E.C., 2011) est utilisée : $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, la concentration correspondante en poids humide est :

$$QS_{\text{sed marin poids frais}} = \frac{QS_{\text{sed marin poids sec}}}{2.6} = \frac{0,06}{2.6} = 0.023 \text{ mg/kg}_{\text{sed poids frais}}$$

Il faut rappeler que les incertitudes liées à l'application du modèle de l'équilibre de partage sont importantes. Les sédiments naturels peuvent avoir des propriétés très variables en termes de composition (nature et quantité de matières organiques, composition minéralogique), de granulométrie, de conditions physico-chimiques, de conditions dynamiques (taux de déposition/taux de remise en suspension). Par ailleurs ces propriétés peuvent évoluer dans le temps en fonction notamment des conditions météorologiques et de la morphologie de la masse d'eau. Si bien que le partage entre la fraction de substance adsorbée et la fraction de substance dissoute peut être extrêmement variable d'un sédiment à un autre et l'hypothèse d'un équilibre entre ces deux fractions ne semble pas très réaliste pour des conditions naturelles.

Par ailleurs, certains organismes benthiques peuvent ingérer les particules sédimentaires, et donc être contaminés par la fraction de substance adsorbée sur ces particules, ce qui n'est pas pris en compte par la méthode.

Proposition de valeur guide pour les organismes benthiques (eau douce)	230	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids frais}}$
	600	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids sec}}$
Proposition de valeur guide pour les organismes benthiques (eau marine)	23	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids frais}}$
	60	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids sec}}$
Conditions particulières	Les critères décrits par le document guide technique européen (E.C., 2011) pour déterminer si la mise en œuvre d'un seuil pour le sédiment impliquent d'utiliser les valeurs de Koc et de Kow. Pour l'arsenic, comme pour les autres métaux, il n'est pas possible de s'appuyer sur ces valeurs qui varient avec le pH et la composition du sédiment. Etant donné que la substance a tendance à s'accumuler	

dans le sédiment (et est donc susceptible de se remettre en suspension à la moindre perturbation) et que la toxicité de l'arsenic pour les organismes benthiques a été démontrée dans la littérature scientifique, il est recommandé de mettre en œuvre un seuil pour le sédiment.

EMPOISONNEMENT SECONDAIRE

Ce chapitre traite de la toxicité chronique induite par la substance sur les prédateurs *via* la consommation d'organismes aquatiques contaminés (appelés biote, i.e. poissons ou invertébrés vivant dans la colonne d'eau ou dans les sédiments). Il s'agit donc d'évaluer la toxicité chronique de la substance par la voie d'exposition orale uniquement.

Dans les tableaux ci-dessous, ne sont reportés pour chaque type de test que les résultats permettant d'obtenir les NOEC ou la valeur toxicologique de référence (VTR) les plus protectrices. N'ont été recherchés que des tests sur mammifères ou oiseaux exposés par voie orale (exposition par l'alimentation ou par gavage). Toutes les données présentées ont été validées.

Les résultats de toxicité sont principalement donnés sous forme de doses journalières : NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), ou LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*). NOAEL et LOAEL sont exprimées en termes de quantité de substance administrée par unité de masse corporelle de l'animal testé, et par jour.

Pour calculer la norme de qualité liée à l'empoisonnement secondaire des prédateurs, il est nécessaire de connaître la concentration de substance dans le biote n'induisant pas d'effets observés pour les prédateurs (exprimée sous forme de NOEC). Il est possible de déduire une NOEC à partir d'une NOAEL grâce à des facteurs de conversion empiriques variables selon les espèces testées. Les facteurs utilisés ici sont ceux recommandés par le guide technique européen pour la détermination de normes de qualité (E.C., 2011). Les valeurs de ces facteurs de conversion dépendent de la masse corporelle des animaux et de leur consommation journalière de nourriture. Celles-ci peuvent donc varier d'une façon importante selon le niveau d'activité et le métabolisme de l'animal, la valeur nutritive de sa nourriture, etc. En particulier elles peuvent être très différentes entre un animal élevé en laboratoire et un animal sauvage.

Afin de couvrir ces sources de variabilité, mais aussi pour tenir compte des autres sources de variabilité ou d'incertitude (variabilité inter et intra-espèces, extrapolation du court terme au long terme, etc.) des facteurs d'extrapolation sont nécessaires pour le calcul de la $QS_{\text{biota_sec\ pois}}$. Les valeurs recommandées pour ces facteurs d'extrapolation sont données dans le guide technique européen (E.C., 2011). Un facteur d'extrapolation supplémentaire ($AF_{\text{dose-réponse}}$) est utilisé dans le cas où la toxicité a été établie à partir d'une LOAEL plutôt que d'une NOAEL.

ECOTOXICITE POUR LES VERTÉBRÉS TERRESTRES

TOXICITE ORALE POUR LES MAMMIFERES

	Type de test	NOAEL ⁽¹⁾ [mg/kg _{corporel} /j]	Source	Facteur de conversion	NOEC [mg/kg _{biota}]
Toxicité sub-chronique et/ou chronique	Essai réalisé sur souris 28 jours avec de l'arséniate de sodium dans l'eau	LOAEL = 0,003	Hughes et Thompson, 1996 cité dans	8,3	LOEC = 0,025 Bien que l'augmentation du taux de créatinine suggère

	de boisson (0,003 et 0,3 mg/kg _{corporel/j}) Effets : Diminution des tryglicérides du plasma, augmentation de la créatinine du plasma mais pas de modification histopathologique		WHO, 2001		des effets de l'arséniate de sodium sur le rein, le WHO (2001) note que l'analyse histopathologique n'a pas montré de modification dans l'organe. Il n'est donc pas prouvé que le traitement ait eu un effet sur le rein. L'essai est indiqué ici comme complément d'information et ne sera pas utilisé pour calculer la QS _{biota_sec_pois} .
Térogénicité	Essai réalisé sur des souris femelles pendant la période 6 à 15 j de la gestation par alimentation (0 ; 7,5 ; 24 et 48 mg/kg _{corporel/j}) Effet sur le développement	7,5	Nemec et al., 1998 cité dans WHO, 2001	8,3	62,25
	Essai réalisé sur des lapines pendant la période 6 à 18 j de la gestation par alimentation (0 ; 0,19 ; 0,75 ; 3 mg/kg _{corporel/j}) Effet sur le développement du fœtus + effet sur la mère (perte de poids et mort) Pas d'effet tératogène observé.	0,75	Nemec et al., 1998 cité dans WHO, 2001	33,3	24,98

⁽¹⁾ NOAEL : No Observed Adverse Effect Level

TOXICITE ORALE POUR LES OISEAUX

Un essai présentant une LOEC et une NOEC est présenté mais la publication porte sur une exposition conjointe à l'arsenic et au sélénium. Il est résumé dans le tableau suivant.

	Type de test	NOAEL/LOAEL ⁽¹⁾ [mg/kg _{corporel} /j]	Source	Facteur de conversion	NOEC [mg/kg _{biota}]
Toxicité sub-chronique	Essai réalisé sur des couples de canard colvert pendant 173 j. Exposition à l'arsenic et au sélénium par l'alimentation (H ₃ AsO ₄ : 0 ; 25 ; 100 et 400 µg/g ; Selenium 0 ou 10 µg/g) Diminution de la prise de poids des adultes, du poids du foie, augmentation du délai de ponte et diminution de la croissance des canetons.	-	Stanley et al., 1994		NOEC : 100 Les effets observés à la concentration de 400 µg/g sont probablement lié à une diminution de la prise de nourriture (Stanley et al., 1994)

⁽¹⁾ NOAEL : No Observed Adverse Effect Level; LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect Level

NORME DE QUALITÉ EMPOISONNEMENT SECONDAIRE (QS_{BIOTA_SEC POIS})

L'analyse en première approche des essais rapportés ne permet pas de mettre en évidence une sensibilité particulière des mammifères ou des oiseaux par rapport au poisson.

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, la donnée la plus sensible est une NOEC de 24,98 mg/kg_{biota} dérivée depuis une NOAEL obtenue lors d'un essai réalisé sur des lapines exposées par voie orale pendant la période de gestation. Conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), la QS_{biota_sec_pois} peut être calculée à partir de cette valeur en appliquant un facteur d'extrapolation de 300 puisque l'exposition prévue dans le test est de courte durée. L'INERIS propose donc la valeur suivante :

$$QS_{\text{biota_sec_pois}} [\text{mg/kg}] = 24,98/300 \text{ mg/kg, soit } 0,083 \text{ mg/kg}$$

Cette valeur de norme de qualité pour l'empoisonnement secondaire peut être ramenée :

- à une concentration dans l'eau douce selon la formule suivante :

$$QS_{\text{water sp}} [\mu\text{g/L}] = \frac{QS_{\text{biota_sec_pois}} [\mu\text{g/kg}_{\text{biota}}]}{BCF [\text{L/kg}_{\text{biota}}] * BMF_1}$$

- à une concentration dans l'eau marine selon la formule suivante :

$$QS_{\text{marin sp}} [\mu\text{g/L}] = \frac{QS_{\text{biota_sec_pois}} [\mu\text{g/kg}_{\text{biota}}]}{BCF [\text{L/kg}_{\text{biota}}] * BMF_1 * BMF_2}$$

Avec :

BCF : facteur de bioconcentration,

BMF₁ : facteur de biomagnification,

BMF₂ : facteur de biomagnification additionnel pour les organismes marins.

Ce calcul tient compte du fait que la substance présente dans l'eau du milieu peut se bioaccumuler dans le biote. Il donne la concentration à ne pas dépasser dans l'eau afin de respecter la valeur de la norme de qualité pour l'empoisonnement secondaire déterminée dans le biote.

La bioaccumulation tient compte à la fois du facteur de bioconcentration (BCF, ratio entre la concentration dans le biote et la concentration dans l'eau) et du facteur de biomagnification (BMF, ratio entre la concentration dans l'organisme du prédateur en bout de chaîne alimentaire, et la concentration dans l'organisme de la proie au début de la chaîne alimentaire). En l'absence de valeurs mesurées pour le BMF, celles-ci peuvent être estimées à partir du BCF selon le guide technique européen (E.C., 2011).

Ce calcul n'est donné qu'à titre indicatif. Il fait en effet l'hypothèse qu'un équilibre a été atteint entre l'eau et le biote, ce qui n'est pas véritablement réaliste dans les conditions du milieu naturel. Par ailleurs il repose sur un facteur de bioaccumulation qui peut varier de façon importante entre les espèces considérées. Il convient de rappeler que la bioaccumulation de l'arsenic dans les organismes n'est pas corrélée avec la concentration dans l'eau. De plus il a été rapporté que bien que la bioaccumulation de l'arsenic ait été observée, la bioamplification de ce composé n'a pas été observée (Frag et al., 1998; Williams et al., 2006).

Le BCF retenu pour réaliser les calculs concernant l’empoisonnement secondaire correspond à une moyenne géométrique des BCF/BAF rapportés par *Williams et al.* (2006)¹⁷ pour des concentrations d’arsenic dans l’eau comprises entre l’ AA-QS_{water_eco} calculée dans ce rapport (0.5 µg.L⁻¹) et la valeur correspondant au 90% centile des concentrations naturelles dans l’eau de la base de donnée FOREGS¹⁸ (2.45 µg.L⁻¹) afin de correspondre à une gamme de concentration cohérente avec des conditions environnementales. Cette valeur est égale à 100 et devrait être suffisamment protectrice dans des conditions environnementales étant noté par ailleurs que les BCF diminuent si les concentrations dans l’eau augmentent.

Pour l’arsenic et ses dérivés inorganiques, un BCF de 100 et un BMF₁ = BMF₂ de 1 (cf. E.C., 2011) ont été retenus. On a donc

$$QS_{\text{water_sp}} = 0,083 / (100 * 1) = 0,83.10^{-3} \text{ mg/L} = 0,83 \text{ } \mu\text{g/L}$$

$$QS_{\text{marine_sp}} = 0,083 / (100 * 1 * 1) = 0,83.10^{-3} \text{ mg/L} = 0,83 \text{ } \mu\text{g/L}$$

$$QS_{\text{water_sp}} = 0,83 \text{ } \mu\text{g/L}$$

$$QS_{\text{marine_sp}} = 0,83 \text{ } \mu\text{g/L}$$

Proposition de norme de qualité pour l’empoisonnement secondaire des prédateurs	83	µg/kg _{biota}
valeur correspondante dans l’eau (douce et marine)*	0.83	µg/L

*= Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les concentrations naturelles environnementales. Ceci implique de prendre en compte les concentrations bruit de fond au moment de la mise en œuvre de cette valeur seuil.

¹⁷ Les BCF et les BAF de cette source n’ont pas été vérifiées.

¹⁸ Disponible à cette adresse : <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=15>

SANTE HUMAINE

Ce chapitre traite de la toxicité chronique induite par la substance sur l'homme soit *via* la consommation d'organismes aquatiques contaminés, soit *via* l'eau de boisson.

Dans les tableaux ci-dessous, ne sont reportés pour chaque type de test que les résultats permettant d'obtenir les NOEC ou la valeur toxicologique de référence (VTR) les plus protectrices. Compte tenu du mode d'exposition envisagée, seuls les tests sur mammifères exposés par voie orale (dans l'alimentation ou par gavage) ont été recherchés.

Toutes les données présentées ont été validées.

Les résultats de toxicité sont principalement donnés sous forme de doses journalières : NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), ou LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*). NOAEL et LOAEL sont exprimées en termes de quantité de substance administrée par unité de masse corporelle de l'animal testé, et par jour.

TOXICITE

Pour l'évaluation des effets sur la santé humaine, seuls les résultats sur mammifères sont considérés comme pertinents. Contrairement à l'évaluation des effets pour les prédateurs, les effets de type cancérogène ou mutagène sont également pris en compte. Sauf mention contraire, toutes les données issues des documents référencés dans le tableau ci-dessous ont fait l'objet d'un examen collectif, elles n'ont donc pas fait l'objet de validation supplémentaire.

	Type de test	NOAEL/LOAEL [µg/kg _{corporel} /j]	Source	Valeur toxicologique de référence (VTR) [µg/kg _{corporel} /j]
Toxicité sub-chronique et/ou chronique	étude épidémiologique sur plus de 10 000 personnes au Bangladesh exposées à l'arsenic <i>via</i> l'eau de boisson et l'alimentation BMDL ₀₅ de 109,2 µg/jour basée sur l'observation de lésions cutanées et l'utilisation d'un modèle log-probit pour déterminer un équivalent de dose journalière.	Dose journalière = 2,18	FoBiG 2009 ⁽¹⁾ cité dans INERIS, 2010	0,45 Valeur à seuil Facteur d'incertitude utilisé : 5 - Orale (chronique) - Lésion cutanée
	Etude épidémiologique sur 40 421 personnes de 37 villages de la région de Taiwan exposées à l'arsenic <i>via</i> l'eau des puits (exposition orale) Effet critique : cancer cutané Utilisation d'un modèle multi-étapes de type linéaire et quadratique basé sur la prédiction de l'apparition des cancers cutanés en fonction de la dose d'arsenic et de l'âge de l'individu.		US-EPA, 1988 obtenu d'après les études de Tseng et al., 1968 et Tseng, 1977	ERUo = (1,5 mg/kg/j) ⁻¹ 0,666.10 ⁻³ µg/kg/j Dose journalière calculée pour un risque résiduel acceptable de 10 ⁻⁶

(1) FoBiG : institut de recherche et de conseil pour les substances dangereuses, Allemagne.

La dose provisoire tolérable hebdomadaire (PTWI) de 0,015 mg/kg_{corporel} d'arsenic inorganique (équivalente à environ 2,1 µg/kg_{corporel}/j) proposée suite au 33^{ème} meeting des experts de l'OMS sur les contaminants alimentaires qui eu lieu en 1988 a été réévaluée et abandonnée dans le 72^{ème} rapport, des experts de l'OMS sur les contaminants alimentaires (WHO/FAO, 2011).

	Classement CMR	Source
Cancérogénèse	<p>L'Union Européenne</p> <p>Compte tenu du nombre important de dérivés de l'arsenic, sont pris en considération uniquement les dérivés les plus courants ayant fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.</p> <p>Arsenic (7440-38-2) : non classé cancérigène.</p> <p>Diarsenic Trioxyde : 1327-53-3 Carc. Cat. 1A « substances que l'on sait être cancérigènes pour l'homme »</p> <p>Diarsenic pentaoxyde, arsenic pentoxyde : 1303-28-2 Carc. Cat. 1A « substances que l'on sait être cancérigènes pour l'homme »</p> <p>CIRC – IARC</p> <p>Arsenic et ses composés : Groupe 1 : l'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme (1987).</p> <p>US EPA (IRIS)</p> <p>Arsenic : Classe A : substance cancérigène pour l'homme (1998).</p>	<p>C.E., 1998</p> <p>E.C., 2004</p> <p>C.E., 2008</p>
Mutagenèse	<p>Compte tenu du nombre de dérivés de l'arsenic, sont pris en considération uniquement les dérivés les plus courants ayant fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.</p> <p>Le pentoxyde d'arsenic, le trioxyde d'arsenic, l'arséniate de plomb, l'acide arsénique et ses sels et l'arsenic ont fait l'objet d'un examen par l'Union Européenne et n'ont pas été classés mutagènes.</p>	<p>C.E., 1998</p> <p>E.C., 2004</p>
Toxicité pour la reproduction	<p>Compte tenu du nombre important de dérivé de l'arsenic, sont pris en considération uniquement les dérivés les plus courants ayant fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.</p> <p>Le pentoxyde d'arsenic, le trioxyde d'arsenic, l'acide arsénique et ses sels, et l'arsenic ne sont pas classés reprotoxiques.</p>	<p>C.E., 1998</p> <p>E.C., 2004</p>

NORME DE QUALITE POUR LA SANTE HUMAINE VIA LA CONSOMMATION DES PRODUITS DE LA PECHE (QS_{BIOTA_HH})

La norme de qualité pour la santé humaine est calculée de la façon suivante (E.C., 2011) :

$$QS_{\text{biota hh}} [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}] = \frac{0,1 * VTR [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{corporel}}/\text{j}] * \text{poids corporel} [\text{kg}_{\text{corporel}}]}{\text{Cons. Journ. Moy.} [\text{kg}_{\text{biota}}/\text{j}]} * \frac{1}{F_{\text{securité}}}$$

Ce calcul tient compte de :

- un facteur correctif de 10% (soit 0.1) : la VTR donnée ne tient compte en effet que d'une exposition par voie orale, et pour la consommation de produits de la pêche uniquement. Mais la contamination peut aussi se faire par la consommation d'autres sources de nourriture, par la consommation d'eau, et d'autres voies d'exposition sont possibles (inhalation ou contact cutané). Le facteur correctif de 10% (soit 0.1) permet de rendre l'objectif de qualité plus sévère d'un facteur 10 afin de tenir compte de ces autres sources de contamination possibles.
- la valeur toxicologique de référence (VTR), correspondant à une dose totale admissible par jour ; pour cette substance elle sera considérée égale à $6,66 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{corporel}}/\text{j}$ (cf. tableau ci-dessus),

Validation groupe d'experts : Juillet 2014

Version 2 : 21/12/2015

Page 32

DRC-15-136849-12772A

- un poids corporel moyen de 70 kg,
- $F_{\text{sécurité}}$: facteur de sécurité supplémentaire de 10 pour tenir compte de l'effet cancérigène de la substance, la VTR prend déjà en compte ce facteur donc il sera réduit ici à 1
- Cons. Journ. Moy : une consommation journalière moyenne de produits de la pêche (poissons, mollusques, crustacés) égale à 115 g par jour.

Ce calcul n'est donné qu'à titre indicatif. Il peut être inadapté pour couvrir les risques pour les individus plus sensibles ou plus vulnérables (masse corporelle plus faible, forte consommation de produits de la pêche, voies d'exposition individuelles particulières). Le facteur correctif de 10% n'est donné que par défaut, car la contribution des différentes voies d'exposition varie selon les propriétés de la substance (et en particulier sa distribution entre les différents compartiments de l'environnement), ainsi que selon les populations considérées (travailleurs exposés, exposition pour les consommateurs/utilisateurs, exposition via l'environnement uniquement). L'hypothèse cependant que la consommation des produits de la pêche ne représente pas plus de 10% des apports journaliers contribuant à la dose journalière tolérable apporte une certaine marge de sécurité (E.C., 2011).

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, le calcul aboutit à :

$$QS_{\text{biota hh}} [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}] = \frac{0,1 * 6,66 \cdot 10^{-4} [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{corporel}}/\text{j}] * 70 [\text{kg}_{\text{corporel}}]}{0,115 [\text{kg}_{\text{biota}}/\text{j}]} = 0,04 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}$$

Comme pour l'empoisonnement secondaire, la concentration correspondante dans l'eau du milieu peut être estimée en tenant compte de la bioaccumulation de la substance :

- à une concentration dans l'eau douce selon la formule suivante :

$$QS_{\text{water_hh food}} [\mu\text{g}/\text{L}] = \frac{QS_{\text{biota hh}} [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}]}{\text{BCF} [\text{L}/\text{kg}_{\text{biota}}] * \text{BMF}_1}$$

- à une concentration dans l'eau marine selon la formule suivante :

$$QS_{\text{marine_hh food}} [\mu\text{g}/\text{L}] = \frac{QS_{\text{biota_hh}} [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}]}{\text{BCF} [\text{L}/\text{kg}_{\text{biota}}] * \text{BMF}_1 * \text{BMF}_2}$$

Le BCF retenu pour réaliser les calculs concernant l'empoisonnement secondaire correspond à une moyenne géométrique des BCF/BAF rapportés par *Williams et al.* (2006)¹⁹ pour des concentrations d'arsenic dans l'eau comprises entre l'AA- $QS_{\text{water_eco}}$ calculée dans ce rapport (0,5 $\mu\text{g}/\text{L}$) et la valeur correspondant au 90% centile des concentrations naturelles dans l'eau de la base de donnée FOREGS²⁰ (2,45 $\mu\text{g}/\text{L}$) afin de correspondre à une gamme de concentration cohérente avec des conditions environnementales. Cette valeur est égale à 100 et correspond à un pire cas réaliste étant donné que les BCF diminuent si les concentrations dans l'eau augmentent.

¹⁹ Les BCF et les BAF de cette source n'ont pas été vérifiées.

²⁰ Disponible à cette adresse : <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=15>

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, on obtient donc :

$$QS_{\text{water_hh food}} = 0,04 / (100 * 1) = 4,10^{-4} \mu\text{g/L}$$

$$QS_{\text{marine_hh food}} = 0,04 / (100 * 1 * 1) = 4,10^{-4} \mu\text{g/L}$$

Proposition de norme de qualité pour la santé humaine via la consommation de produits de la pêche	0,04	$\mu\text{g/kg}_{\text{biota}}$
valeur correspondante dans l'eau (douce et marine)	$4,10^{-4}$	$\mu\text{g/L}$

NORME DE QUALITE POUR LA SANTE HUMAINE VIA L'EAU DE BOISSON ($QS_{\text{DW_HH}}$)

En principe, lorsque des normes de qualité dans l'eau de boisson existent, soit dans la Directive 98/83/CE (C.E., 1998), soit déterminées par l'OMS, elles peuvent être adoptées. Les valeurs réglementaires de la Directive 98/83/CE doivent être privilégiées par rapport aux valeurs de l'OMS qui ne sont que de simples recommandations.

Il faut signaler que ces normes réglementaires ne sont pas nécessairement établies sur la base de critères (éco)toxicologiques (par exemple les normes pour les pesticides avaient été établies par rapport à la limite de quantification analytique de l'époque pour ce type de substance, soit $0,1 \mu\text{g/L}$). Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, la Directive 98/83/CE fixe une valeur de $10 \mu\text{g/L}$.

A titre de comparaison, la valeur seuil provisoire pour l'eau de boisson est calculée de la façon suivante (E.C., 2011):

$$MPC_{\text{dw, hh}} [\mu\text{g/L}] = \frac{0,1 * VTR [\mu\text{g/kg}_{\text{corporel}}/\text{j}] * \text{poids corporel} [\text{kg}_{\text{corporel}}]}{\text{Cons.moy.eau} [\text{L/j}]} * \frac{1}{F_{\text{sécurité}}}$$

Ce calcul tient compte de :

- la valeur toxicologique de référence (VTR), correspondant à une dose totale admissible par jour ; pour cette substance elle sera considérée égale à $6,66.10^{-4} \mu\text{g/kg}_{\text{corporel}}/\text{j}$ (cf. tableau ci-dessus),
- Cons.moy.eau [L/j] : une consommation d'eau moyenne de 2 L par jour,
- un poids corporel moyen de 70 kg,
- un facteur correctif de 10% (soit 0.1) afin de tenir compte de ces autres sources de contamination possibles.
- $F_{\text{sécurité}}$: facteur de sécurité supplémentaire de 10 pour tenir compte de l'effet cancérigène de la substance. La VTR sélectionnée prend déjà en compte cet aspect, le facteur est donc abaissé à 1.

L'eau de boisson est obtenue à partir de l'eau brute du milieu après traitement pour la rendre potable. La fraction éliminée lors du traitement dépend de la technologie utilisée ainsi que des propriétés de la substance.

Ainsi, la norme de qualité correspondante dans l'eau brute se calcule de la manière suivante :

$$QS_{\text{dw_hh}} [\mu\text{g/L}] = \frac{MPC_{\text{dw, hh}} [\mu\text{g/L}]}{1 - \text{fraction éliminée}}$$

En l'absence d'information, on considèrera que la fraction éliminée est nulle et le critère pour l'eau de boisson s'appliquera alors à l'eau brute du milieu. Par ailleurs, on rappellera que ce calcul n'est donné qu'à titre indicatif et peut s'avérer inadéquat pour certaines substances et certaines populations.

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, on obtient :

$$QS_{dw_hh} = \frac{0,1 * 6,66.10^{-4} * 70}{2 * (1 - 0)*1} = 0.002 \mu\text{g/L}$$

La valeur fixée par la directive 98/83/CE ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$) est plus élevée que la valeur calculée ici mais possède une portée réglementaire et s'applique.

Proposition de norme de qualité pour l'eau destinée à l'eau potable	10	$\mu\text{g/L}$
--	----	-----------------

SELECTION DE LA VALEUR GUIDE ENVIRONNEMENTALE

Elle est définie à partir de la valeur la plus protectrice parmi tous les compartiments étudiés.

		Valeur	Unité
OBJECTIFS DE PROTECTION INDIVIDUELS			
Organismes aquatiques (eau douce) / moyenne annuelle	AA-QS _{water_eco}	1,37	µg/L
Organismes aquatiques (eau douce) / Concentration Maximum Acceptable	MAC	1,37	µg/L
Organismes aquatiques (eau marine) / moyenne annuelle	AA-QS _{marine_eco}	1,37	µg/L
Organismes aquatiques (eau marine) / Concentration Maximum Acceptable	MAC _{marine}	1,37	µg/L
Empoisonnement secondaire des prédateurs	QS _{biota sec pois}	83	µg/kg _{biota}
valeur correspondante dans l'eau (douce et marine)	QS _{water_sp}	0,83	µg/L
	QS _{marine_sp}		
Santé humaine via la consommation de produits de la pêche	QS _{biota hh}	0,04	µg/kg _{biota}
valeur correspondante dans l'eau (douce et marine)	QS _{water hh food}	4,10 ⁻⁴	µg/L
	QS _{marine hh food}		
Santé humaine via l'eau destinée à l'eau potable	QS _{dw_hh}	10	µg/L

Pour l'arsenic et ses dérivés inorganiques, la valeur guide pour la santé humaine via la consommation de produits de la pêche est la valeur la plus faible pour l'ensemble des approches considérées.

VALEURS GUIDES POUR LES ORGANISMES BENTHIQUES

Les critères décrits par le document guide technique européen (E.C., 2011) pour déterminer si la mise en œuvre d'un seuil pour le sédiment impliquent d'utiliser les valeurs de Koc et de Kow. Pour l'arsenic, comme pour les autres métaux, il n'est pas possible de s'appuyer sur ces valeurs qui varient avec le pH et la composition du sédiment. Etant donné que la substance a tendance à s'accumuler dans le sédiment (et est donc susceptible de se remettre en suspension à la moindre perturbation) et que la toxicité de l'arsenic pour les organismes benthiques a été démontrée dans la littérature scientifique, il est recommandé de mettre en œuvre un seuil pour le sédiment.

Proposition de valeur guide de qualité pour les sédiments (eau douce)	230	µg/kg_{sed poids humide}
	600	µg/kg_{sed poids sec}
Proposition de valeur guide de qualité pour les sédiments (eau marine)	23	µg/kg_{sed poids humide}
	60	µg/kg_{sed poids sec}

BIBLIOGRAPHIE

ATSDR. (2007). "Toxicological Profiles for Arsenic." 2007.

Baes C. et Sharp R. (1983). "A proposal for Estimation of Soil Leaching and Leaching Constants for Use in Assessment Models." *J Environ Qual* **12**(1): 17-28.

Biesinger K.E. et Christensen G.M. (1972). "Effects of various metals on survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna*." *J.Fish. Res. Board Can.* **29**: 1691-1700.

Birge W.J., Black J.A. et Bruser D.M. (1979). Toxicity of organic chemicals to embryo-larval stages of fish. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, NTIS PB80-101637. June 1979.

BKH (1995). Update toxiciteitsgegevens voor vier stoffen in het kader van MILBOWA., Versie maart 1995.

Bottino N.R., Newman R.D., Cox E.R., Stockton R., Hoban M., Zingaro R.A. et Irgolic K.J. (1978). "The Effects of Arsenate and Arsenite on the Growth and Morphology of the Marine Unicellular Algae *Tetraselmis chui* (Chlorophyta) and *Hymenomonas*." *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* **33**(2): 153-168.

Bringmann G. (1975). "Bestimmung des biologischen Schadwirkung wassergefährdender Stoffe aus der Hemmung der Zellvermehrung der Blaualge *Microcystis* (Determination of the Biologically Harmful Effect of Water Pollutants by Means of the Retardation of Cell Proliferation of the Blue Algae *Microcystis* (GER) (ENG TRANSL))." *Gesund.Ing.* **96**(9): 238-241.

Bringmann G. et Kühn R. (1978). "Testing of substances for their toxicity threshold: Model organisms *Microcystis* (*Diplocystis*) *aeruginosa* and *Scenedesmus quadricauda*." *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **21**: 275-284.

Buchter B., Davidoff B., Amacher M., Hinz C., Iskandar K. et Selim H. (1989). "Correlation of Freundlich Kd and n retention parameters with soils and elements." *Soil Science* **148**(5): 370-379.

Buhl K.J. et Hamilton S.J. (1990). "Safety assessment of selected inorganic elements to fry of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)." *Ecotoxicol Environ Saf.* **20**(3): 307-324.

C.E. (1967). Directive 67/548/CEE du Conseil, du 27 juin 1967, concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses. *Journal officiel n° 196 du 16/08/1967* p. 0001 - 0098.

C.E. (1998). Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, *Journal Officiel L 330/32 du 5.12.1998*: 32-54.

C.E. (2006). Règlement (CE) N° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) N° 793/93 du Conseil et le règlement (CE) N° 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission, *JO L 396 du 30.12.2006*: p. 1-849.

C.E. (2008). Règlement (CE) no 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) no 1907/2006.

Call D.J., Brooke L.T., Ahmad N. et Richter J. (1983). Toxicity and metabolism studies with EPA priority pollutants and related chemicals in freshwater organisms. Center for Lake Superior Environmental Studies, University of Wisconsin-Superior, Environmental Research Laboratory, Duluth, Minnesota, EPA 600/3-83-095

Chen F., Chen W. et Dai S. (1994). "Toxicities of four arsenic species to *Scenedesmus obliquus* and influence of phosphate on inorganic arsenic toxicities." Toxicology and Environmental Chemistry **41**(1/2): 1-7.

Duboudin C., Ciffroy P. et Magaud H. (2004). "Effects of data manipulation and statistical methods on species sensitivity distributions." Environmental Toxicology and Chemistry **23**(2): 489-499.

E.C. (2004). Commission staff working document on implementation of the Community Strategy for Endocrine Disrupters - a range of substances suspected of interfering with the hormone systems of humans and wildlife (COM(1999) 706)). Reference : SEC(2004) 1372. European Commission, Brussels

E.C. (2011). Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards. Guidance Document No. 27 for the Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Technical Report - 2011 - 055.
[http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents/tgd-
eqs_cis-wfd/ EN 1.0 &a=d](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents/tgd-eqs_cis-wfd/ EN 1.0 &a=d).

Elnabarawy M.T., Welter A.N. et Robideau R.R. (1986). "Relative sensitivity of three *Daphnia* species to selected organic and inorganic chemicals." Environmental Toxicology and Chemistry **5**: 393-398.

Enserink E.L., Maas-Diepeveen J.L. et Van Leeuwen C.J. (1991). "Combined effects of metals; an ecotoxicological evaluation." Wat. Res. **25**: 679-687.

ETOX. (2013). "Datenbank für ökotoxikologische Wirkungsdaten und Qualitätsziele." from <http://webetox.uba.de/webETOX/index.do>.

Farag A.M., Woodward D.F., Goldstein J.N., Brumbaugh W. et Meyer J.S. (1998). "Concentrations of metals associated with mining waste in sediments, biofilm, benthic macroinvertebrates, and fish from the Coeur d'Alene River Basin, Idaho." Arch. Environ. Cont. Toxicol. **34**: 119-127.

Forget J., Pavillon J.F., Menasria M.R. et Bocquené G. (1998). "Mortality and LC50 values for several stages of the marine copepod *Tigriopus brevicornis* (Müller) exposed to the metals arsenic and cadmium and the pesticides atrazine, carbofuran, dichlorvos, and malathion." Ecotoxicol Environ Saf. **40**: 239-244.

Garman G.D., Anderson S.L. et Cherr G.N. (1997). "Developmental abnormalities and DNA-protein crosslinks in sea urchin embryos exposed to three metals." Aquat.Toxicol. **39**: 247-265.

Holland G.A., Lasater J.E., Neumann E.D. et Eldridge W.E. (1960). Toxic effects of organic and inorganic pollutants on young salmon and trout. State of Washington Dept. Fish, Seattle, W.A.

Hörnström E. (1989). "Toxicity test with Algae - A discussion on the Batch Method." Ecotoxicology and Environmental Safety **20**: 343 -353.

Hughes M. et Thompson D. (1996). "Subchronic dispositional and toxicological effects of arsenate administered in drinking water to mice." Journal of Toxicology and Environmental Health **49**: 177-196.

INERIS (2010). Fiche de données toxicologiques et environnementales de l'arsenic. INERIS

IPCS (2013). SODIUM ARSENATE DIBASIC. IPCS INCHEM
<http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics1208.htm>.

Khangarot B.S. et Ray P.K. (1989). "Sensitivity of midge larvae of *Chironomus tentans Fabricius* (Diptera Chironomidae) to heavy metals." Bull.envIRON.contam.toxicol. **42**: 325-330.

Krishnakumari L., Varshney P.K., Gajbhiye S.N., Govindan K. et Nair V.R. (1983). "Toxicity of Some Metals on the Fish *Therapon jarbua* (Forsskal, 1775)." Indian J.Mar.Sci. **12**(1):(1): 64-66.

Lepper P., Sorokin N., Maycock D., Crane M., Atkinson C., Hope S.-J. et Comber S. (2007). Preconsultation report: Proposed EQS for Water Framework Directive Annex VIII substances: arsenic (total dissolved). Environment Agency, SC040038/SR3

Liber K., Doig L.E. et White-Sobey S.L. (2011). "Toxicity of uranium, molybdenum, nickel, and arsenic to *Hyalella azteca* and *Chironomus dilutus* in water-only and spiked-sediment toxicity tests." Ecotoxicology and Environmental Safety **74**(5): 1171-1179.

Lima A.R., Curtis C., Hammermeister D.E., Markee T.P., C.E. N. et Brooke L.T. (1984). "Acute and chronic toxicities of arsenic (III) to fathead minnows, flagfish, daphnids, and an amphipod." Arch. Environ. Contam. Toxicol. **13**: 595-601.

Lussier S.M. et Cardin J.A. (1985). Results of Acute Toxicity Tests Conducted with Cyanide at ERL, Narragansett. Two Memorandums to D.Hansen. U.S.EPA, Narragansett

Lussier S.M., Gentile J.H. et Walker J. (1985a). "Acute and chronic effects of heavy metals and Cyanide on *Mysidopsis bahia* (Crustacea : Mysidacea)." Aquat Toxicol **7**(1/2): 25-35.

Lussier S.M., Gentile J.H. et Walker J. (1985b). "Acute and chronic effects of heavy metals and Cyanide on *Mysidopsis bahia* (Crustacea : Mysidacea)." Aquat. Toxicol. **7**(1/2): 25-35.

Martin M., Osborn K.E., Billig P. et Glickstein N. (1981a). "Toxicities of ten metals to

Crassostrea gigas and *Mytilus edulis* embryos and Cancer magister larvae." Marine Pollution Bulletin **12**: 305-308.

Martin M., Osborn K.E., Billig P. et Glickstein N. (1981b). "Toxicities of ten metals to *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis* embryos and Cancer magister larvae." Marine Pollution Bulletin **12**: 305-308.

Martinez E.A., Wold L., Moore B.C., Schaumlöffel J. et Dasgupta N. (2006). "Morphologic and Growth Responses in *Chironomus tentans* to Arsenic Exposure." Environmental Contamination and Toxicology **51**: 529-536.

Mayer F.L.J. et Ellersieck M.R. (1986). Manual of Acute Toxicity: Interpretation and Data Base for 410 Chemicals and 66 Species of Freshwater Animals. U.S.Dep.Interior, Fish Wildl.Serv., Washington, DC, Resour.Publ.No.160

Molénat N., Holeman M. et Pinel R. (2000). "L'arsenic, polluant de l'environnement : origines, distribution, biotransformations." L'actualité chimique **6**: 12-23.

Mount D.I. et Norberg T.J. (1984). "A seven-day life cladoceran toxicity test." Environmental Toxicology and Chemistry **3**(3): 425-434.

Naddy R.B., LaPoint T.W. et Klaine S.J. (1995). "Toxicity of Arsenic, Molybdenum and Selenium Combinations to *Ceriodaphnia dubia*." Environ.Toxicol.Chem. **14**(2): 329-336.

Naumann B., Eberius M. et Appenrotha K.J. (2007). "Growth rate based dose-response relationships and EC-values of ten heavy metals using the duckweed growth inhibition test (ISO 20079) with *Lemna minor* L. clone St." Journal of Plant Physiology **164**: 1656-1664.

Nemec M.D., Holson J.F., Farr C.H. et Hood R.D. (1998). "Developmental toxicity assessment of arsenic acid in mice and rabbits." Reprod Toxicol **12**(6): 647-58.

Nichols J.W., Wedemeyer G.A., Mayer F.L., Dickhoff W.W., Gregory S.V., Yasutake W.T. et Smith S.D. (1984). "Effects of freshwater exposure to arsenic trioxide on the parr-smolt transformation of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)." Environ. Toxicol. Chem. **3**: 143-149.

Pauli W., Berger S., Schmitz S. et al. a. (1993). "Validierung Toxikologischer Prüfparameter an Tetrahymena: Membranfunktionen, Chemotaxis, Rotation im Elektrischen Drehfeld." FU-Berlin, Inst.f.Biochemie und Molekularbiologie, UFO-Plan, F+E-Vorhaben 106 03 083 (OECDG Data File).

Petersen G., Rasmussen D. et Gustavson K. (2007). Study on enhancing the Endocrine Disrupter priority list with a focus on low production volume chemicals. Report ENV.D.4/ETU/2005/0028r. DHI water & environment, ENV.D.4/ETU/2005/0028r. 2007.06.04.

PNUE (2001). Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants: pp 47.

Reish D.J. et LeMay J.A. (1991). "Toxicity and Bioconcentration of Metals and Organic Compounds by Polychaeta." Ophelia (Suppl.) **5**: 653-660.

RIVM (1990). Integrated criteria document arsenicum effects. Appendix to report n°. 758701002. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands, 758701002A. January 1990.
http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:51393&type=org&disposition=inline&ns_nc=1.

RIVM (1997). Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for pesticides. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands, 601501 002. October 1997.

Sanders J.G. (1979). "Effects of arsenic speciation and phosphate concentration on arsenic inhibition of *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae)." *J. Phycol.* **15**: 424-428.

Sarkar A. et Jana S. (1986). "Heavy Metal Pollutant Tolerance of *Azolla pinnata*." *Water Air Soil Pollut.* **27**: 15-18.

Spehar R.L., Fiandt J.T., Anderson R.L. et Defoe D.L. (1980). "Comparative Toxicity of Arsenic Compounds and Their Accumulation in Invertebrates and Fish." *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **9**(1): 53-63.

Stanley T.R., Spann J.W. et Roscoe R. (1994). "Main and Interactive Effects of Arsenic and Selenium on Mallard Reproduction and Duckling Growth and Survival." *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **26**: 444-451.

Thursby G.B. et Steele R.L. (1984). "Toxicity of arsenite and arsenate to the marine macroalga *Champia parvula* (Rhodophyta)." *Environ Toxicol Chem* **3**: 391-397.

Tseng W.P. (1977). "Effects and dose-response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic." *Environ Health Perspect* **19**: 109-19.

Tseng W.P., Chu H.M., How S.W., Fong J.M., Lin C.S. et Yeh S. (1968). "Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan." *J Natl Cancer Inst* **40**(3): 453-63.

US-EPA (1979). Water related environmental fate of 129 priority pollutants. Vol I. US-EPA, Springfield, VA., EPA 440/4-79-029a

US-EPA (1982). Exposure and risk assessment for arsenic. Criteria and Standards Division, Office of Water Regulations and Standards, United States Environmental Protection Agency., Washington DC, EPA 440/4-85-005

US-EPA (1984a). Health assessment document for inorganic arsenic. United States Environmental Protection Agency., Washington, DC, EPA/600/8-83/021

US-EPA (1984b). Ambient water quality criteria for arsenic. United States Environmental Protection Agency., Washington, DC, EPA/440/5-84/033

US-EPA (1988). Special Report on Ingested Inorganic Arsenic; Skin Cancer; Nutritional Essentiality Risk Assessment Forum. July 1988. EPA/625/3-87/013

Vocke R.W., Sears K.L., O'Toole J.J. et Wildman R.B. (1980). "Growth responses of selected freshwater algae to trace elements and scrubber ash slurry generated by coal-fired power plants." *Water Res.* **14**: 141-150.

Weiss G. (1986). *Arsenic*. Park Ridge New Jersey, Noyes Data Corporation.

Welch K., Higgins I., Oh M. et Burchfiel C. (1982). "Arsenic exposure, smoking, and respiratory cancer in copper smelter workers." *Arch Environ Health* **37**(6): 325-335.

WHO (2001). Environmental Health Criteria 224: Arsenic

and Arsenic Compounds (2nd edn.). International Programme on Chemical Safety

(IPCS). World Health Organization (WHO). Geneva. [Accessed 1 February 2007]. <http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/en/>.

WHO/FAO (2011). Evaluation of certain contaminants in food. Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO/FAO http://whqlibdoc.who.int/trs/who_trs_959_eng.pdf.

Williams L., Schoof R.A., Yager J.W. et Goodrich-Mahoney J.W. (2006). "Arsenic Bioaccumulation in Freshwater Fishes." *Human and Ecological Risk Assessment* **12**: 904-923.