

CARBAMAZEPINE – N° CAS : 298-46-4

La carbamazépine est une substance active utilisée dans les produits pharmaceutiques à usage humain, incluse dans des médicaments traitant le système nerveux, dans des médicaments antiépileptiques et dans des dérivés du carboxamide (WHO - IPCS - INCHEM).

Aucune évaluation existante n'existe dans la littérature disponible actuellement.

IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE

Substance chimique	Carbamazépine
Synonymes	5H-Dibenz[b,f]azepine-5-carboxamide 5-Carbamoyl-5H-Dibenz[b,f]azepine 5-Carbamyl-5H-Dibenz[b,f]azepine 5-Carbamoyl-Dibenzo[b,f]azepine Carbamazepen Carbamezepine Carbazepine
Numéro CAS	298-46-4
Formule moléculaire	C ₁₅ H ₁₂ N ₂ O
Code SMILES	NC(=O)N2c1ccccc1C=Cc3ccccc23
Structure moléculaire	

EVALUATIONS EXISTANTES ET INFORMATIONS REGLEMENTAIRES

Evaluations existantes	-
Phrases de risque et classification	Annexe I Directive 67/548/CEE (C.E., 1967) Substance non listée Annexe VI Règlement (CE) No 1272/2008 (C.E., 2008) Substance non listée
Effets endocriniens	La carbamazépine n'est pas citée dans la stratégie communautaire concernant les perturbateurs endocriniens (E.C., 2004) ni 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 <i>et al.</i> , 2007).
Critères PBT / POP	La substance n'est pas citée dans les listes PBT/vPvB ¹ (C.E., 2006) ou POP ² (PNUE, 2001).
Normes de qualité existantes (ETOX, 2011³)	<u>Allemagne</u> : critères de qualité pour la protection de l'environnement aquatique : <ul style="list-style-type: none"> • eau = 0.5 µg/L • particules en suspension = 2.8 µg/kg poids sec
Mesure de restriction	-
Substance(s) associée(s)	La carbamazépine peut induire son propre métabolisme, dans le foie, notamment en un époxyde : le 10,11-époxyde carbamazépine, un composé actif qui se métabolisera quasi entièrement en un métabolite inactif : le trans-10,11-dihydroxy-10,11-dihydrocarbamazépine (ou trans-carbamazépine-diol) qui est excrété <i>via</i> l'urine sous forme non conjuguée. La carbamazépine est également inactivée <i>via</i> des réactions de conjugaison et d'hydroxylation. WHO, 1999

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.

PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

	Valeurs	Source
Poids moléculaire [g/mol]	236.27	WHO, 1999
Hydrosolubilité [mg/L]	17.7 à 25°C (calculé)	US-EPA, 2008
Pression de vapeur [Pa]	6.32 10 ⁻⁴ à 25°C (calculé)	US-EPA, 2008
Constante de Henry [Pa.m ³ /mol]	1 10 ⁻⁵ à 25°C (calculé)	US-EPA, 2008
Log du coefficient de partage Octanol-eau (log Kow)	2.45	Hanna <i>et al.</i> , 1998
	2.25	Jones <i>et al.</i> , 2002
Coefficient de partage carbone organique-eau (Koc) [L/kg]	169 – 1328 (calculé)	US-EPA, 2008
	3 870 (calculé)	Jones <i>et al.</i> , 2002
Constante de dissociation (pKa)	13.9	Jones <i>et al.</i> , 2002

COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT**PERSISTANCE**

		Source
Hydrolyse	La carbamazépine ne contient pas de groupement hydrolysable. Elle n'est donc pas susceptible d'être dégradée par hydrolyse dans des conditions environnementales.	HSDB, 2007
Photolyse	La carbamazépine est sensible à la photolyse, avec une demi-vie probable de 1 jour.	HSDB, 2007
Biodégradabilité	Les résultats d'un test eau-sédiment suggèrent, en accord avec d'autres auteurs, que la carbamazépine est très persistante dans un système eau-sédiment les (excepté pour ce qui est de la photodégradation) et doit être classée comme « non biodégradable » DT ₅₀ – système eau/sédiment = 333 jours	Pait <i>et al.</i> , 2006

DISTRIBUTION DANS L'ENVIRONNEMENT

		Source
Adsorption	Le potentiel d'accumulation de la carbamazépine dans le sédiment est modéré.	Pait <i>et al.</i> , 2006
Volatilisation	D'après la faible valeur de la constante de Henry ($1 \cdot 10^{-5}$ Pa.m ³ /mol à 25°C), la volatilisation de la carbamazépine depuis la phase aqueuse est peu probable.	HSDB, 2007
Bioaccumulation/ Biomagnification	Aucune donnée de bioconcentration n'est disponible dans la littérature, mais un BCF de 15 est calculé à l'aide du modèle EPIWIN, suggérant un faible potentiel de bioaccumulation de la substance. Un BCF de 15 est utilisé dans la détermination des normes de qualité. Le document guide technique européen pour la dérivation des NQE recommande l'utilisation des valeurs par défaut suivantes pour ce qui est de la prise en compte de la biomagnification : $BMF_1 = BMF_2 = 1$.	US-EPA, 2008

ECOTOXICITE ET TOXICITE

ORGANISMES AQUATIQUES

Dans les tableaux ci-dessous, sont reportés pour chaque taxon uniquement les résultats des tests d'écotoxicité montrant la plus forte sensibilité à la substance. Les données présentées ont fait l'objet d'une validation par l'INERIS.

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

ECOTOXICITE AQUATIQUE AIGUË

Organisme		Espèce	Critère d'effet	Valeur [mg/L]	Source
Bactéries	Milieu marin	<i>Vibrio fischeri</i>	EC ₅₀ (60min)	64.3	Jos <i>et al.</i> , 2003
			EC ₅₀ (15min)	52.2	Kim <i>et al.</i> , 2007
Algues & plantes aquatiques	Eau douce	<i>Chlorella vulgaris</i>	EC ₅₀ (48h) croissance	36.6	Jos <i>et al.</i> , 2003
		<i>Cyclotella meneghiniana</i> ⁽¹⁾	EC ₅₀ (96h) croissance	31.6	Ferrari <i>et al.</i> , 2004
	Milieu marin	Pas d'information disponible			
Invertébrés	Eau douce	<i>Daphnia magna</i>	EC ₅₀ (48h) immobilisation	97.8	Jos <i>et al.</i> , 2003
		<i>Ceriodaphnia dubia</i>	EC ₅₀ (48) immobilisation	77.7	Ferrari <i>et al.</i> , 2003
	Milieu marin	Pas d'information disponible			
	Sédiment	Pas d'information disponible			
Poissons	Eau douce	<i>Oryzias latipes</i>	EC ₅₀ (96h)	35.4	Kim <i>et al.</i> , 2007
	Milieu marin	Pas d'information disponible			

(1) Diatomée de la mer Baltique (île de Rügen)

ECOTOXICITE AQUATIQUE CHRONIQUE

Organisme		Espèce	Critère d'effet	Valeur [mg/L]	Source
Algues & plantes aquatiques	Eau douce	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	NOEC (96h) croissance	10	Ferrari <i>et al.</i> , 2004
	Milieu marin	Pas d'information disponible			
Invertébrés	Eau douce	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	NOEC (7j) reproduction	0.025	Ferrari <i>et al.</i> , 2003
	Milieu marin	Pas d'information disponible			
	Sédiment	Pas d'information disponible			
Poissons	Eau douce	<i>Danio rerio</i>	NOEC (10j) ELS	25	Ferrari <i>et al.</i> , 2003
	Milieu marin	Pas d'information disponible			

NORMES DE QUALITE 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). Elles sont obtenues en divisant la plus faible valeur de NOEC ou d'EC₅₀ valide par un facteur d'extrapolation (AF, *Assessment Factor*).

La valeur de ce 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 projet guide technique pour la détermination de normes de qualité environnementale (E.C., 2011), la sensibilité des espèces marines à la toxicité des substances organiques peut être considérée comme équivalente à celle des espèces dulçaquicoles, à moins qu'une différence ne soit montrée.

Néanmoins, le facteur d'extrapolation appliqué pour déterminer les normes de qualité pour le milieu marin doit prendre en compte les incertitudes additionnelles telles que la sous-représentation des taxons clés 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.

Pour la carbamazépine, on dispose de données pour les trois niveaux trophiques en aigu comme en chronique. En exposition chronique, il semble que les micro crustacés soient beaucoup plus sensibles que les micro algues et les poissons. La donnée d'effet la plus faible obtenue est en effet une NOEC à 0.025 mg/L après exposition de *Ceriodaphnia dubia* pendant 7 jours. Compte tenu du jeu de données disponible et 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 cette NOEC :

$$AA-QS_{water_eco} = 0.025 / 10 = 0.0025 \text{ mg/L, soit}$$

$$AA-QS_{water_eco} = 2.5 \text{ } \mu\text{g/L}$$

En ce qui concerne les organismes marins, seul un essai pour une bactérie est disponible. Le jeu de données disponible ne permet donc pas de montrer une différence de sensibilité entre les espèces marines et dulçaquicoles. Conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), la AA-QS_{marine_eco} sera déterminée en appliquant un facteur de sécurité de 100 à la plus faible NOEC disponible (0.025 mg/L), obtenue sur *Ceriodaphnia dubia* :

$$AA-QS_{marine_eco} = 0.025 / 100 = 0.00025 \text{ mg/L, soit}$$

$$AA-QS_{marine_eco} = 0.25 \text{ } \mu\text{g/L}$$

- **Concentration Maximum Acceptable (MAC et 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).

Pour la carbamazépine, on dispose de données aiguës pour trois niveaux trophiques. La donnée d'effet la plus faible est obtenue pour l'inhibition de croissance de la micro algue *Cyclotella*

meneghiniana, avec une EC₅₀ à 31.6 mg/L après une exposition de 96h. Conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), un facteur d'extrapolation de 100 s'applique pour calculer la MAC :

$$\text{MAC} = 31.6 / 100 = 0.316 \text{ mg/L, soit}$$

$$\text{MAC} = 316 \text{ } \mu\text{g/L}$$

Pour le milieu marin, seul un essai pour une bactérie est disponible. Conformément au guide technique européen pour la détermination des normes de qualité environnementale (E.C., 2011), un facteur d'extrapolation de 1000 s'applique pour calculer la MAC_{marine} :

$$\text{MAC}_{\text{marine}} = 31.6 / 1000 = 0.0316 \text{ mg/L, soit}$$

$$\text{MAC}_{\text{marine}} = 31.6 \text{ } \mu\text{g/L}$$

Proposition de norme de qualité pour les organismes de la colonne d'eau (eau douce)		
Moyenne annuelle [AA-QS_{water_eco}]	2.5	µg/L
Concentration Maximum Acceptable [MAC]	316	µg/L
Proposition de norme de qualité pour les organismes de la colonne d'eau (eau marine)		
Moyenne annuelle [AA-QS_{marine_eco}]	0.25	µg/L
Concentration Maximum Acceptable [MAC_{marine}]	31.6	µg/L

VALEUR GUIDE DE QUALITE POUR LE SEDIMENT (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) (C.E., 2000).

Aucune information d'écotoxicité pour les organismes benthiques n'a été trouvée dans la littérature.

A défaut, une valeur guide pour le sédiment peut être calculée à partir du modèle de l'équilibre de partage.

Ce modèle suppose que :

- il existe un équilibre entre la fraction de substances adsorbées sur les particules sédimentaires et la fraction de substances dissoutes dans l'eau interstitielle du sédiment,
- la fraction de substances adsorbées sur les particules sédimentaires n'est pas biodisponible pour les organismes et que seule la fraction de substances dissoutes dans l'eau interstitielle est susceptible d'impacter les organismes,

- la sensibilité intrinsèque des organismes benthiques aux toxiques est équivalente à celle des organismes vivant dans la colonne d'eau. Ainsi, la norme de qualité pour la colonne d'eau peut être utilisée pour définir la concentration à ne pas dépasser dans l'eau interstitielle.

Une valeur guide de qualité pour le sédiment peut être alors calculée selon l'équation suivante (E.C., 2011) :

$$QS_{\text{sed wet weight}} [\mu\text{g/kg}] = \frac{K_{\text{sed-eau}}}{RHO_{\text{sed}}} * AA-QS_{\text{water_eco}} [\mu\text{g/L}] * 1000$$

Avec :

RHO_{sed} : masse volumique du sédiment en $[\text{kg}_{\text{sed}}/\text{m}^3_{\text{sed}}]$. En l'absence d'une valeur exacte, la valeur générique proposée par le document guide technique européen (E.C., 2011) est utilisée : 1300 kg/m^3 .

$K_{\text{sed-eau}}$: coefficient de partage sédiment/eau en m^3/m^3 . En l'absence d'une valeur exacte, les valeurs génériques proposées par le guide technique européen (E.C., 2011) sont utilisées. Le coefficient est alors calculé selon la formule suivante : $0.8 + 0.025 * Koc$ soit $K_{\text{sed-eau}} = 5 - 97.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Pour la carbamazépine, on obtient :

$$QS_{\text{sed wet weight}} = 9.6 - 187.5 \mu\text{g/kg}_{\text{poids humide}}$$

La concentration correspondante en poids sec 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 kg/m^3 .

Pour la carbamazépine, la concentration correspondante en poids sec est :

$$QS_{\text{sed dry weight}} = QS_{\text{sed wet weight}} * 2.6 = 25 - 487.5 \mu\text{g/kg}_{\text{sed poids sec}}$$

Selon la même approche que pour le sédiment d'eau douce, une valeur guide de qualité pour le sédiment marin peut être calculée selon la formule suivante :

$$QS_{\text{sed-marin wet weight}} [\mu\text{g/kg}] = \frac{K_{\text{sed-eau}}}{RHO_{\text{sed}}} * AA-QS_{\text{marin_eco}} [\mu\text{g/L}] * 1000$$

Pour la carbamazépine, on obtient :

$QS_{\text{sed-marin wet weight}} = 0.96 - 18.7 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{poids humide}}$

La concentration correspondante en poids sec est alors la suivante:

$QS_{\text{sed-marin dry weight}} = 2.5 - 48.7 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids sec}}$

Le log Kow de la substance étant inférieur à 5, un facteur additionnel de 10 n'est pas jugé nécessaire.

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 resuspension). 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 de qualité pour les sédiments (eau douce)	10	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids humide}}$
	25	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids sec}}$
Proposition de valeur guide de qualité pour les sédiments (eau marine)	1	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids humide}}$
	2.5	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{sed poids sec}}$
Conditions particulières	<p>Avec un K_{OC} estimé de 169 – 3870 L/kg et un log Kow = 2.25 – 2.45, la mise en œuvre d'un seuil pour le sédiment peut être recommandée par le projet de document guide européen (E.C., 2011).</p> <p>Le seuil proposé n'est fondé que sur la méthode du coefficient de partage à l'équilibre : il est calculé à partir de la norme de qualité dans l'eau et du Koc. L'incertitude de cette méthode devrait être prise en compte lors la mise en application du seuil sédiment.</p>	

EMPOISONNEMENT SECONDAIRE

Ce chapitre traite de la toxicité chronique induite par la substance sur les prédateurs *via* la consommation d'organismes aquatiques contaminés (appelés biota, 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 VERTEBRES 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	Rat Durée exposition : 2 ans Effet : augmentation bénigne des adénomes des cellules interstitielles des testicules chez le mâle et incidence sur les tumeurs hépatocellulaires chez la femelle	LOAEL = 100 NOAEL = 33.33 AF = 3 ⁽²⁾	Cunningham <i>et al.</i> , 2009	20	667

⁽¹⁾ NOAEL : No Observed Adverse Effect Level. ⁽²⁾ Facteur recommandé par le Document Guide Européen (E.C., 2010)

TOXICITE ORALE POUR LES OISEAUX

	Type de test	NOAEL/LOAEL ⁽¹⁾ [mg/kg _{corporel} /j]	Source	Facteur de conversion	NOEC [mg/kg _{biota}]
Toxicité sub-chronique et/ou chronique	Pas d'information disponible				
Toxicité pour la reproduction	Pas d'information disponible				

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

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

La norme de qualité pour l’empoisonnement secondaire (QS_{biota_sec pois}) est calculée conformément aux recommandations du guide technique européen (E.C., 2011). Elle est obtenue en divisant la plus faible valeur de NOEC valide par les facteurs d’extrapolation recommandés (E.C., 2011).

Pour la carbamazépine, un facteur de 30 est appliqué car la durée du test retenu (NOAEL de 33 mg/kg_{corporel/j} sur le rat, soit une NOEC de 667 mg/kg_{biota}) est de 2 ans. On obtient donc :

$$QS_{biota_sec\ pois} = 667 [mg/kg_{biota}] / 30 = 22.23 mg/kg_{biota} = 22\ 233 \mu g/kg_{biota}$$

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

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

$$QS_{water\ sp} [\mu g/L] = \frac{QS_{biota_sec\ pois} [\mu g/kg_{biota}]}{BCF [L/kg_{biota}] * BMF_1}$$

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

$$QS_{marin\ sp} [\mu g/L] = \frac{QS_{biota_sec\ pois} [\mu g/kg_{biota}]}{BCF [L/kg_{biota}] * BMF_1 * BMF_2}$$

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 BMF₁ et le BMF₂, 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.

Pour la carbamazépine, un BCF de 15 et un BMF₁ = BMF₂ de 1 (cf. E.C., 2011) ont été retenus. On a donc :

$$QS_{water\ sp} = 22.2[mg/kg_{biota}] / (15 * 1) = 1.48 mg/L$$

$$QS_{marin\ sp} = 22.2 [mg/kg_{biota}] / (15 * 1 * 1) = 1.48 mg/L$$

Proposition de norme de qualité pour l’empoisonnement secondaire des prédateurs	22 000	μg/kg _{biota}
valeur correspondante dans l’eau (douce et marine)	1 400	μg/L

SANTE HUMAINE

Ce chapitre traite de la toxicité chronique induite par la substance pour 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 cancérigène ou mutagène sont également pris en compte.

	Type de test	NOAEL ⁽¹⁾ [mg/kg _{corporel} /j]	Source	Valeur toxicologique de référence (VTR) [µg/kg _{corporel} /j]
Toxicité sub-chronique et/ou chronique	Rat Durée exposition : 2 ans Effet : augmentation bénigne des adénomes des cellules interstitielles des testicules chez le male et incidence sur les tumeurs hépatocellulaires chez la femelle	LOAEL = 100 NOAEL = 33.33 AF = 3*	Cunningham <i>et al.</i> , 2009	33 ⁽³⁾ Facteur d'incertitude utilisé : 1000 - Intra espèces : 10 - Inter espèces : 10 - Mécanisme toxique : 10

(1) NOAEL : No Observed Adverse Effect Level. (2) Facteur recommandé par le Document Guide Européen (E.C., 2010). (3) Cette VTR a été déterminée par le groupe d'experts (2010).

	Classement CMR	Source
Cancérogène	La substance n'est pas inscrite à l'Annexe VI du règlement (CE) No 1272/2008.	C.E., 2008
Mutagène	La substance n'est pas inscrite à l'Annexe VI du règlement (CE) No 1272/2008.	C.E., 2008
Toxicité pour la reproduction	La substance n'est pas inscrite à l'Annexe VI du règlement (CE) No 1272/2008.	C.E., 2008

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) :

$$QS_{\text{biota hh}} [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}] = \frac{0.1 * VTR [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{corporel}}/\text{j}] * \text{poids corporel} [\text{kg}_{\text{corporel}}]}{\text{Cons. Journ. Moy.} [\text{kg}_{\text{biota}}/\text{j}]} * \frac{1}{F_{\text{sécurité}}}$$

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 33 $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{corporel}}/\text{j}$ (cf. tableau ci-dessus),
- un poids corporel moyen de 70 kg,
- Cons. Journ. Moy : une consommation journalière moyenne de produits de la pêche (poissons, mollusques, crustacés) égale à 115 g par jour,
- F_{sécurité} : facteur de sécurité supplémentaire pour tenir compte des potentiels effets CMR ou de perturbation endocrinienne de la substance. La carbamazépine ne présentant aucune de ces propriétés, le facteur de sécurité est fixé à 1.

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 la carbamazépine, le calcul aboutit à :

$$QS_{\text{biota hh}} [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}] = \frac{0.1 * 33 [\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{corporel}}/\text{j}] * 70 [\text{kg}_{\text{corporel}}]}{0.115 [\text{kg}_{\text{biota}}/\text{j}]} = 2008 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{biota}}$$

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 :

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

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

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

Pour la carbamazépine, on obtient donc :

$$QS_{\text{water_hh food}} = 2008 / (15 * 1) = 133.9 \mu\text{g/L}$$

$$QS_{\text{marine_hh food}} = 2008 / (15 * 1 * 1) = 133.9 \mu\text{g/L}$$

Proposition de norme de qualité pour la santé humaine via la consommation de produits de la pêche	2000	$\mu\text{g/kg}_{\text{biota}}$
valeur correspondante dans l'eau (douce et marine)	130	$\mu\text{g/L}$

NORME DE QUALITE POUR LA SANTE HUMAINE VIA L'EAU DE BOISSON (QS_{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 la carbamazépine, il n'existe aucune norme de qualité réglementaire dans l'eau de boisson fixée par la Directive 98/83/CE ou par l'OMS.

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

$$MPC_{\text{dw, hh}} [\mu\text{g/L}] = \frac{0.1 * \text{VTR} [\mu\text{g/kg}_{\text{corporel}}/\text{j}] * \text{poids corporel} [\text{kg}_{\text{corporel}}]}{\text{Cons.moy.eau} [\text{L/j}]} * \frac{1}{F_{\text{sécurité}}}$$

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 33 $\mu\text{g/kg}_{\text{corporel}}/\text{j}$ (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 pour tenir compte des potentiels effets CMR ou de perturbation endocrine de la substance. La carbamazépine ne présentant aucune de ces propriétés, le facteur de sécurité est fixé 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 :

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

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 la carbamazépine, on obtient :

$$QS_{\text{dw_hh}} = \frac{0.1 * 33 * 70}{2 * (1 - 0)} = 115 \mu\text{g/L}$$

En l'absence de valeur fixée par la directive 98/83/CE, la valeur seuil provisoire pour l'eau de boisson est calculée ci-dessus est proposée comme norme de qualité pour l'eau destinée à la production d'eau potable.

Proposition de norme de qualité pour l'eau destinée à l'eau potable	115	μg/L
----------------------------------------------------------------------------	-----	------

PROPOSITION DE NORME DE QUALITE ENVIRONNEMENTALE (NQE)

La NQE est définie à partir de la valeur de la norme de qualité la plus protectrice parmi tous les compartiments étudiés.

		Valeur	Unité
PROPOSITION DE NORMES DE QUALITE			
Organismes aquatiques (eau douce) moyenne annuelle	AA-QS _{water_eco}	2.5	µg/L
Organismes aquatiques (eau douce) Concentration Maximum Acceptable	MAC	310	µg/L
Organismes aquatiques (eau marine) moyenne annuelle	AA-QS _{marine_eco}	0.25	µg/L
Organismes aquatiques (eau marine) Concentration Maximum Acceptable	MAC _{marine}	31	µg/L
Empoisonnement secondaire des prédateurs	QS _{biota sec pois}	22 000	µg/kg _{biota}
valeur correspondante dans l'eau (douce et marine)	QS _{water_sp} QS _{marine_sp}	1400	µg/L
Santé humaine via la consommation de produits de la pêche	QS _{biota hh}	2000	µg/kg _{biota}
valeur correspondante dans l'eau (douce et marine)	QS _{water hh food} QS _{marine hh food}	130	µg/L
Santé humaine via l'eau destinée à l'eau potable	QS _{dw_hh}	115	µg/L

Pour la carbamazépine, la norme de qualité pour l'eau douce et celle pour l'eau marine sont les valeurs les plus faibles pour l'ensemble des approches considérées. La proposition de NQE pour la carbamazépine est donc la suivante :

PROPOSITION DE NORME DE QUALITE ENVIRONNEMENTALE

EAU DOUCE

Moyenne Annuelle dans l'eau : $NQE_{EAU-DOUCE} = 2.5 \mu\text{g/L}$

Concentration Maximale Acceptable dans l'eau: $MAC_{EAU-DOUCE} = 310 \mu\text{g/L}$

EAU MARINE

Moyenne Annuelle dans l'eau : $NQE_{EAU-MARINE} = 0.25 \mu\text{g/L}$

Concentration Maximale Acceptable dans l'eau: $MAC_{EAU-MARINE} = 31 \mu\text{g/L}$

VALEURS GUIDES POUR LE SEDIMENT

Avec un K_{OC} estimé de 169 – 3870 L/kg et un $\log K_{ow} = 2.25 - 2.45$, la mise en œuvre d'un seuil pour le sédiment peut être recommandée par le projet de document guide européen (E.C., 2011).

Proposition de valeur guide de qualité pour les sédiments (eau douce)	10	$\mu\text{g/kg}_{\text{sed poids humide}}$
	25	$\mu\text{g/kg}_{\text{sed poids sec}}$
Proposition de valeur guide de qualité pour les sédiments (eau marine)	1	$\mu\text{g/kg}_{\text{sed poids humide}}$
	2.5	$\mu\text{g/kg}_{\text{sed poids sec}}$

BIBLIOGRAPHIE

- 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. (2000). Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, JO L 327 du 22.12.2000: 1-86.
- 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.
- Cunningham V.L., Perino C., D'Aco V.J., Hartmann A. et Bechter R. (2009). "Human health risk assessment of carbamazepine in surface waters of North America and Europe." Regulatory Toxicology and Pharmacology (Article in Press).
- 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)). 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-egs_cis-wfd/EN_1.0_&a=d.
- ETOX. (2011). "Datenbank für ökotoxikologische Wirkungsdaten und Qualitätsziele." from <http://webetox.uba.de/webETOX/index.do>.
- Ferrari B., Paxéus N., Giudice R.L., Pollio A. et Garric J. (2003). "Ecotoxicological impact of pharmaceuticals found in treated wastewaters: study of carbamazepine, clofibrac acid, and diclofenac." Ecotoxicology and Environmental Safety **55**(3): 359-370.
- Ferrari B., Mons R., Vollat B., Fraysse B., Paxéus N., Lo Giudice R., Pollio A. et Garric J. (2004). "Environmental risk assessment of six human pharmaceuticals: Are the current environmental risk assessment procedures sufficient for the protection of the aquatic environment?" Environmental Toxicology and Chemistry **23**(5): 1344-1354.
- Hanna M., de Biasi V., Bond B., Salter C., Hutt A.J. et Camilleri P. (1998). "Estimation of the Partitioning Characteristics of Drugs: A Comparison of a Large and Diverse Drug Series Utilizing Chromatographic and Electrophoretic Methodology." Analytical Chemistry **70**(10): 2092-2099.
- HSDB (2007). Carbamazepine. Hazardous Substances Data Bank, National Library of Medicine <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?/.temp/~Z3aYex:1>.
- Jones O.A.H., Voulvoulis N. et Lester J.N. (2002). "Aquatic environmental assessment of the top 25 English prescription pharmaceuticals." Water Research **36**(20): 5013-5022.

Jos A., Repetto G., Rios J.C., Hazen M.J., Molero M.L., del Peso A., Salguero M., Fernández-Freire P., Pérez-Martín J.M. et Cameán A. (2003). "Ecotoxicological evaluation of carbamazepine using six different model systems with eighteen endpoints." *Toxicology in vitro* **17**(5-6): 525-532.

Kim Y., Choi K., Jung J., Park S., Kim P.-G. et Park J. (2007). "Aquatic toxicity of acetaminophen, carbamazepine, cimetidine, diltiazem and six major sulfonamides, and their potential ecological risks in Korea." *Environment International* **33**(3): 370-375.

Pait A.S., Warner R.A., Hartwell S.I., Nelson J.O., Pacheco P.A. et A.L. M. (2006). Human Use Pharmaceuticals in the Estuarine Environment: A Survey of the Chesapeake Bay, Biscayne Bay and Gulf of the Farallones. NOS NCCOS 7. NOAA/NOS/NCCOS/Center for Coastal Monitoring and Assessment., Silver Spring, MD. August 2006.
<http://ccma.nos.noaa.gov/publications/HumanUsePharma.pdf>.

Petersen G., Rasmussen D. et Gustavson K. (2007). Study on enhancing the Endocrine Disrupter priority list with a focus on low production volume chemicals. DHI, 53559

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

US-EPA (2008). EPI Suite, v.4.0, EPA's office of pollution prevention toxics and Syracuse Research Corporation (SRC).

WHO (1999). Poisons Information Monograph 100 : Carbamazepine. World Health Organization, Geneva <http://www.inchem.org/documents/pims/pharm/pim100.htm>.