



HAL
open science

Construction des normes de qualité spécifiques pour les sédiments (NQsédiment) selon la méthode de l'équilibre de partage. Note de synthèse

Nicolas Cauzzi, Sandrine Andres

► To cite this version:

Nicolas Cauzzi, Sandrine Andres. Construction des normes de qualité spécifiques pour les sédiments (NQsédiment) selon la méthode de l'équilibre de partage. Note de synthèse. INERIS. 2013, 13p. hal-03977027

HAL Id: hal-03977027

<https://hal.science/hal-03977027>

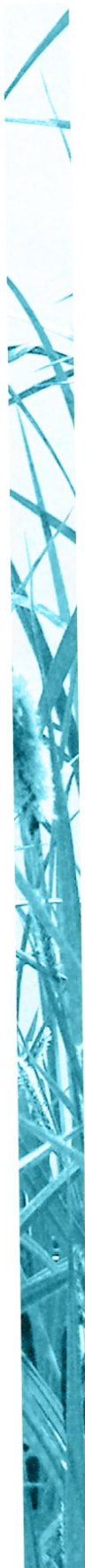
Submitted on 7 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Partenariat 2012 - Action 12-14



Construction des normes de qualité spécifiques pour les sédiments ($NQ_{\text{sédiment}}$) selon la méthode de l'équilibre de partage

Note de synthèse

N. CAUZZI et S. ANDRES, INERIS

Février 2013

Contexte de programmation et de réalisation

Action ONEMA 12-14 - 2012 : Méthodologie et constructions de valeurs de références pour les substances chimiques vis-à-vis des risques pour les écosystèmes

Les auteurs

Nicolas CAUZZI

Ingénieur à l'unité « Expertise en Toxicologie et Écotoxicologie des substances chimiques »

nicolas.cauzzi@ineris.fr

Sandrine ANDRES

Responsables de l'unité « Expertise en Toxicologie et Écotoxicologie des substances chimiques »

sandrine.andres@ineris.fr

Les correspondants

ONEMA : Olivier PERCEVAL, Direction de l'Action Scientifique et Technique – olivier.perceval@onema.fr

Référence du document :

Partenaire : *Aucun*

Référence du document : DRC-13-126836-01654A

Approbation INERIS	Approbation ONEMA
M. Eric THYBAUD Direction des Risques Chroniques Pôle Dangers et impact sur le vivant 15/02/2013	M. Olivier PERCEVAL Direction de l'Action Scientifique et Technique JJ/MM/AAAA

Droits d'usage :	<i>Accès libre</i>
Couverture géographique :	<i>National</i>
Niveau géographique :	<i>National</i>
Niveau de lecture :	<i>Professionnels</i>
Nature de la ressource :	<i>Notice, logiciels</i>

1 PRÉAMBULE

Ce document a pour objectif de faciliter la mise en œuvre de la méthode du coefficient de partage à l'équilibre pour la détermination de valeur seuil dans le sédiment dans deux types de situations. ; soit lorsque ne sont disponibles que de valeurs pour les organismes de la colonne d'eau, soit parce qu'il est nécessaire de l'adapter aux conditions particulières d'un site.

Afin de faciliter la mise en œuvre, une matrice de calcul (format Microsoft Excell[®]) (DRC-13-126836-01788A) des normes de qualité spécifiques pour les sédiments, une matrice de calcul utilisant le système d'équation présenté dans les parties techniques de ce document est associée à cette note de synthèse.

Ce document présente, le contexte, le domaine d'application ainsi que les éléments techniques relatifs l'utilisation de la méthode de l'équilibre de partage pour la construction des normes de qualité spécifiques pour les sédiments et la protection des organismes benthiques. Il s'agit d'une synthèse des informations disponibles dans le guide technique européen ou TGD-EQS (CE, 2011) pour la construction des normes de qualité environnementales.

Ces informations sont également reprises en français dans le document guide « Méthodologie utilisée pour la détermination des normes de qualité environnementales » produit par l'INERIS (INERIS, 2011)¹ ; il sera désigné par « TGD-NQE » dans le document. Le lecteur est invité à consulter ces deux documents pour tout complément d'information.

2 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Différents objectifs de protection (Figure 1) sont définis dans le contexte de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (CE, 2000); il s'agit des communautés pélagiques (eaux douces et marines) et benthiques, des prédateurs supérieurs de ces écosystèmes pouvant subir des empoisonnements secondaires suite à la consommation de proies contaminées, et de la santé humaine (empoisonnement *via* l'eau de boisson et l'ingestion de produits issus de la pêche contaminés).

Techniquement, chacun de ces objectifs de protection se traduit par la construction d'une norme de qualité spécifique (Figure 1).

¹ Portail Substance Chimiques INERIS :
http://www.ineris.fr/substances/uploads/content/Methodologie_NQE

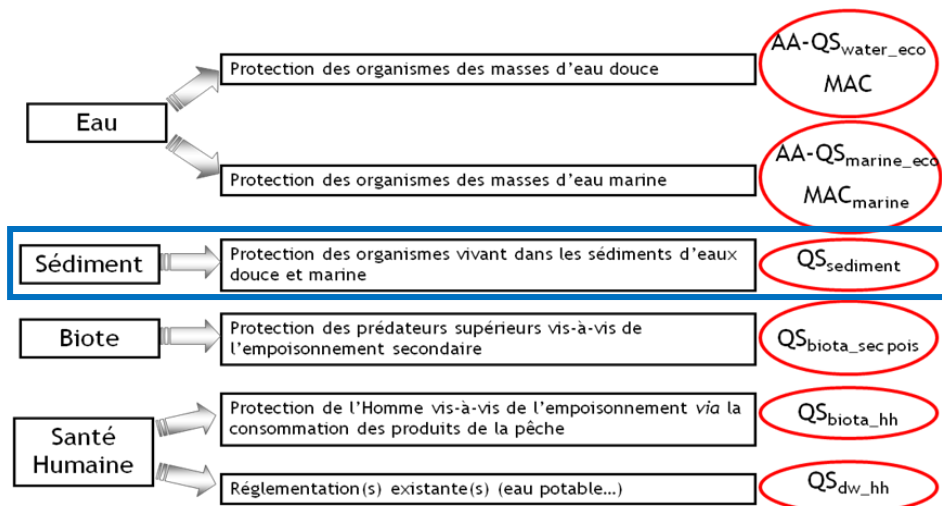


Figure 1 : Objectifs de protection définis pour les milieux aquatiques dans le contexte de la Directive Cadre sur l'Eau Européenne (CE, 2000).

Le cadre méthodologique de ce processus est défini dans le Guide Technique pour la Dérivation des Normes de Qualité Environnementale *Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards* » (TGD-EQS (E.C., 2011)). Ce guide s'articule autour des différentes étapes nécessaires à l'obtention d'une NQE conforme aux exigences de l'Annexe V de la DCE. Une norme de qualité environnementale globale (EQS) est déterminée à partir des normes de qualité spécifiques (QS) calculées pour chacun des compartiments. Afin de protéger le compartiment le plus sensible, la norme de qualité environnementale globale retenue sera la plus faible des normes de qualité « spécifiques » déterminées pour chaque objectif de protection.

La méthodologie européenne présentée dans le TGD-EQS (CE, 2011) définit une norme de qualité spécifique pour les sédiments mais n'inclut pas cette dernière dans le processus de construction de l'EQS. Au contraire, en France, la sensibilité des organismes benthiques est considérée dans le processus de construction de l'EQS; il est par conséquent nécessaire de connaître la $QS_{\text{sédiment}}$ pour l'identification des EQS au niveau national (pp. 7 du TGD-NQE (INERIS, 2011)).

3 SITUATIONS OÙ L'UTILISATION DE LA MÉTHODE DE L'ÉQUILIBRE DE PARTAGE EST REQUISE

Différentes stratégies peuvent être utilisées pour la construction des $QS_{\text{sédiment}}$. En premier lieu, la méthodologie européenne (CE, 2011) préconise de construire ces normes de qualité à partir de méthodes utilisant des données issues de bioessais réalisés sur des organismes benthiques (ex : OCDE N°218, OCDE N°225 concernant les bioessais normalisés). Il s'agit de la méthode des facteurs d'extrapolation et/ou de la Distribution de la Sensibilité des Espèces (SSD)) (pp. 129-130 du TGD-EQS (C.E., 2011) et pp.9 et 17 du TGD-NQE (INERIS, 2011)). En pratique, il s'avère que les données nécessaires pour l'utilisation de ces méthodes sont rarement disponibles pour les substances concernées par la DCE. Un second problème concerne le fait que ces données peuvent être de qualité ou en quantité insuffisante et de ce fait, ne peuvent être utilisées dans le cadre de la construction des EQS (pp. 31-32 et annexe 1 du TGD-EQS (C.E., 2011) ; pp. 18 du TGD-NQE (INERIS, 2011)).

Par conséquent, il était nécessaire de disposer d'une méthode alternative permettant de construire les $QS_{\text{sédiment}}$ en l'absence de ces données. C'est au regard de ces éléments (Figure 2) que l'utilisation du modèle de l'équilibre de partage trouve sa justification dans la construction des $QS_{\text{sédiment}}$ (pp. 131-132 du TGD-EQS (C.E., 2011)).

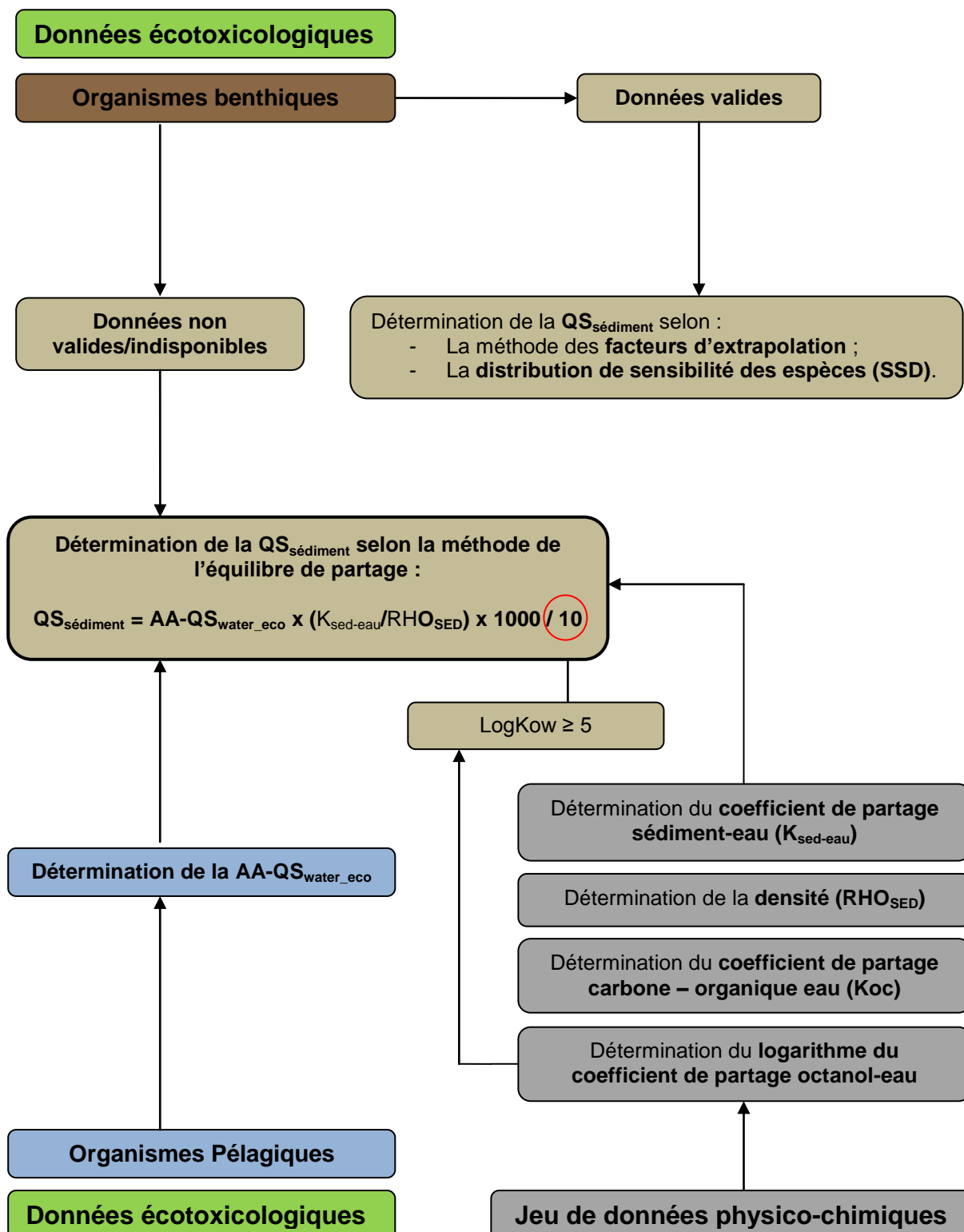


Figure 2 : Processus et approches disponibles dans la construction des normes de qualité spécifiques pour la protection des organismes benthiques

La figure 2 présente les options permettant la construction des $QS_{\text{sédiment}}$ en fonction de la disponibilité des données écotoxicologiques concernant la toxicité des substances chimiques pour les organismes benthiques. L'objet de la présente note n'étant pas la construction des normes de qualité spécifiques pour les organismes pélagiques ($AA-QS_{\text{water_eco}}$), leur processus de construction n'est pas repris dans le schéma afin de ne pas le complexifier inutilement

4 POSTULATS ET PRINCIPES THÉORIQUES DE LA MÉTHODE DE L'ÉQUILIBRE DE PARTAGE

La méthode de l'équilibre de partage est une approche mécaniste proposée au début des années 1990 (Di Toro *et al.*, 1991). Elle repose sur les postulats suivant :

- il existe un équilibre entre la fraction de substance adsorbée sur les particules sédimentaires et la fraction de substance dissoute dans l'eau interstitielle du sédiment ;
- la fraction de substance adsorbée sur les particules sédimentaires n'est pas, ou n'est que très peu biodisponible pour les organismes. Seule la fraction de substance dissoute dans l'eau interstitielle est susceptible d'impacter significativement les organismes ;
- la sensibilité intrinsèque des organismes benthiques aux toxiques est équivalente à celle des organismes vivant dans la colonne d'eau.

5 MISE EN APPLICATION DE LA MÉTHODE DE L'ÉQUILIBRE DE PARTAGE POUR LA CONSTRUCTION DES NQ_{SEDIMENT}

5.1 Cas des substances dont le Log Kow est inférieur à 5

Sur la base de ces postulats, la $QS_{\text{sédiment}}$ (poids humide) est calculée grâce à l'équation suivante (équation 7 du TGD-EQS (CE, 2011)) :

Équation 1 : Calcul de la $QS_{\text{sédiment}}$ (sédiment humide) selon la méthode de l'équilibre de partage pour des substances dont le logKow est inférieur à 5

$$QS_{\text{sédiment}} - \text{poids humide} = \frac{K_{\text{sed-eau}}}{RHO_{\text{sed}}} * AA-QS_{\text{water_eco}} * 1000$$

Avec :

Paramètre	Description	Unité	Valeur générique
$AA-QS_{\text{water_eco}}$	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes de la colonne d'eau	$\mu\text{g.L}^{-1}$	n.a.
$K_{\text{sed-eau}}$	Coefficient de partage sédiment/eau	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	n.a.
$QS_{\text{sédiment}} - \text{Poids humide}$	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes benthiques	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	n. a.
RHO_{sed}	Masse volumique des sédiments	kg.m^{-3}	1300

En l'absence de valeurs mesurées pour la densité du sédiment (RHO_{sed}), la méthode propose d'utiliser une valeur générique de 1300 kg/m^3 (CE, 2011).

En l'absence de valeurs mesurées pour le coefficient de partage sédiment-eau de la substance ($K_{sed-eau}$), ce dernier est obtenu de manière indirecte à partir d'une équation simplifiée utilisant le Koc :

Équation 2 : Calcul simplifié du coefficient de partage sédiment-eau ($K_{sed-eau}$)

$$K_{sed-eau} = 0.8 + 0.025 * Koc$$

Avec :

Paramètre		Unité
$K_{sed-eau}$	coefficient de partage sédiment-eau	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$
Koc	coefficient de partage carbone organique-eau	$\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$

Le Koc est le coefficient de partage carbone organique-eau de la substance concernée. Des valeurs mesurées et/ou estimées sont disponibles dans diverses bases de données pour une majorité de substances.

L'INERIS a émis un certain nombre de recommandations quant au choix de la valeur de Koc nécessaire au fonctionnement du modèle de l'équilibre de partage (« *Élaboration des normes de qualités pour les sédiments : Pertinences des méthodologies et valeurs produites* » ; DRC-11-112070-04600A (INERIS, 2012)) :

- Une recherche exhaustive de valeurs expérimentales valides de Koc doit être réalisée en priorité. ;
- Si peu de valeurs expérimentales valides sont disponibles ($n \leq 5$), alors il convient de sélectionner celle correspondant au pire cas probable, soit la plus faible valeur de Koc ;
- Si de nombreuses valeurs sont disponibles et à plus forte raison si la gamme de valeurs est très étendue, alors il convient de calculer leur moyenne géométrique et d'utiliser cette dernière comme donnée d'entrée dans le modèle (selon la recommandation émise dans le TGD-EQS (ECHA, 2011)) ;
- Lorsqu'une gamme de valeurs expérimentales et une valeur modélisée sont disponibles, alors nous recommandons de retenir cette valeur modélisée si elle est incluse dans la gamme de valeurs expérimentales ;
- Lorsqu'il existe des doutes sur la validité d'une valeur modélisée, alors nous recommandons de suivre également la recommandation du TGD-REACH (ECHA, 2008), c'est-à-dire de produire d'autres valeurs et de calculer la moyenne géométrique de l'ensemble ;
- Si une modélisation du Koc est nécessaire, nous recommandons d'utiliser le module KOCWIN du logiciel Episuite (US-EPA, 2008).

La concentration correspondant au matériau sec peut être estimée, en l'absence de données mesurées de la teneur en eau, en utilisant un facteur de conversion générique de 2.6 (pp. 19 du Document-guide INERIS (INERIS, 2011)), ce qui se traduit par la relation suivante :

Équation 3 : Estimation de la $QS_{\text{sédiment}}$ (sédiment sec) à partir de la $QS_{\text{sédiment}}$ obtenue pour le matériau humide

$$QS_{\text{sédiment}} - \text{poids sec} = QS_{\text{sédiment}} - \text{poids humide} * 2.6$$

Avec :

Paramètre		Unité
$QS_{\text{sédiment}} - \text{poids sec}$	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes benthiques estimée pour le sédiment humide	$\mu\text{g.kg}^{-1}$
$QS_{\text{sédiment}} - \text{poids humide}$	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes benthiques estimée pour le sédiment sec	$\mu\text{g.kg}^{-1}$
2.6	Facteur de conversion $NQ_{\text{sed-humide}} - NQ_{\text{sed-sec}}$	-

5.2 Cas des substances dont le Log Kow est supérieur ou égal à 5

Si le logarithme du coefficient de partage de la substance ($\log K_{ow}$) de la substance étudiée est supérieur ou égal à 5, un facteur additionnel de 10 sera pris en compte lors du calcul de la $QS_{\text{sédiment}}$. Ce facteur est appliqué car la méthode du coefficient de partage à l'équilibre ne prend en compte que l'exposition par les eaux interstitielles. Or il a été démontré que pour des substances fortement hydrophobes ($\log K_{ow} \geq 5$), l'exposition des organismes benthiques est également le fait de l'ingestion de particules sédimentaires contaminées. Ainsi, l'équation 1 devient :

Équation 4 : Calcul de la $NQ_{\text{sédiment}}$ (sédiment humide) selon la méthode de l'équilibre de partage pour des substances dont le $\log K_{ow}$ est supérieur à 5

 $\log K_{ow} \geq 5$

$$QS_{\text{sédiment}} - \text{poids humide} = \frac{K_{\text{sed-eau}}}{RHO_{\text{sed}}} * NQ_{\text{EAU}} * 1000 / 10$$

Avec :

Paramètre		Unité	Valeur générique
NQ_{EAU}	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes de la colonne d'eau	$\mu\text{g.L}^{-1}$	n.a.
$K_{\text{sed-eau}}$	Coefficient de partage sédiment/eau	m^3/m^3	n.a.
$QS_{\text{sédiment}}$	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes benthiques	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	n. a.
RHO_{sed}	Masse volumique des sédiments	kg.m^{-3}	1300

6 OPPORTUNITÉS POUR INTÉGRER DES DONNÉES SITE-SPÉCIFIQUES DANS LA MÉTHODOLOGIE DE L'ÉQUILIBRE DE PARTAGE

Comme évoqué précédemment, le coefficient de partage sédiment-eau de la substance ($K_{\text{sed-eau}}$), peut-être obtenu de manière indirecte à partir de l'équation 2 :

$$K_{\text{sed-eau}} = 0.8 + 0.025 * K_{oc}$$

Cette équation est en fait obtenue par la simplification de la formule développée suivante :

Équation 5 : Formule de calcul développée du coefficient de partage sédiment-eau des substances chimiques

$$K_{\text{sed-water}} = F_{\text{air}_{\text{sed}}} \times K_{\text{air-water}} + F_{\text{water}_{\text{sed}}} + F_{\text{solid}_{\text{sed}}} \times \frac{K_{\text{p}_{\text{sed}}}}{1000} \times RHO_{\text{solid}}$$

et

$$K_{\text{p}_{\text{sed}}} = F_{\text{oc}_{\text{sed}}} \times K_{\text{oc}}$$

avec :

Paramètre		unité	Valeur générique
$F_{\text{air}_{\text{sed}}}$	Fraction gazeuse du sédiment	$\text{m}^{-3}\text{m}^{-3}$	0
$K_{\text{air-water}}$	Coefficient de partage air-eau de la substance dans le sédiment	-	-
$F_{\text{water}_{\text{sed}}}$	Fraction liquide du sédiment	$\text{m}^{-3}\text{m}^{-3}$	0.8
$F_{\text{solid}_{\text{sed}}}$	Fraction particulaire du sédiment	$\text{m}^{-3}\text{m}^{-3}$	0.2
$K_{\text{p}_{\text{sed}}}$	Coefficient de partition solide-liquide de la substance dans le sédiment	L.kg^{-1}	-
RHO_{solid}	Densité de la phase particulaire	Kg.m^{-3}	2500
$K_{\text{sed-water}}$	Coefficient de partage sédiment-eau de la substance	$\text{m}^{-3}\text{m}^{-3}$	-
$F_{\text{oc}_{\text{sed}}}$	Fraction organique du sédiment	$\text{kg}^{-1}\text{kg}^{-1}$	0.05
K_{oc}	Coefficient de partition carbone organique-eau de la substance	L.kg^{-1}	-

Cette simplification est obtenue par introduction de l'ensemble des valeurs génériques présentée dans le tableau ci-dessus pour les paramètres d'entrée de la formule développée.

L'Arrêté du 25 janvier 2010 impose le suivi, par les Agences de l'Eau, des paramètres sédimentaires suivants :

- Carbone Organique Totale (COT) ;
- Perte au feu ;
- Granulométrie ;
- Teneur en Fer, Aluminium, Manganèse ;
- Teneur en Azote organique (plan d'eau) ;
- Teneur en phosphore (plan d'eau).

Parmi ces paramètres, le COT (exprimé % de carbone organique dans le sédiment) présente l'intérêt de permettre l'estimation de la fraction de carbone organique des sédiments ($F_{oc_{sed}}$). Si il dispose de données valides pour ce paramètre, l'évaluateur aura tout intérêt à les utiliser dans le calcul du coefficient de partage sédiment-eau de la substance ($K_{sed-eau}$) car il permet d'affiner les $Q_{S_{sediment}}$ produites en introduisant une donnée site-spécifique relative à la composition en matière organique du sédiment. La fraction de carbone organique des sédiments est obtenue en calculant le ratio de la masse totale de carbone organique (M_{oc}) sur la masse de sédiment (M_{SED}) :

$$F_{oc_{sed}} = M_{oc} / M_{SED}$$

Le COT est obtenu en calculant le ratio de la masse en carbone organique total (M_{oc}) contenu dans le sédiment sur la masse de sédiment (M_{SED}); à ce ratio est appliqué un facteur 100 afin d'obtenir un résultat exprimé en pourcentage de carbone organique total du sédiment :

$$COT = (M_{oc} / M_{SED}) * 100$$

Par conséquent, la fraction de carbone organique des sédiments ($F_{oc_{sed}}$) est exprimée en fonction du COT selon la relation suivante :

$$F_{oc_{sed}} = COT / 100$$

Selon l'équation 2 si $K_{p_{sed}} = F_{oc_{sed}} * K_{oc}$, alors la formule de calcul du coefficient de partage sédiment-eau de la substance ($K_{sed-eau}$) devient alors :

$$K_{sed-eau} = (0 * K_{air-eau}) + 0.8 + (0.2 * (F_{oc_{sed}} * K_{oc}) / 1000) * 2500$$

Soit

$$K_{sed-eau} = 0.8 + (0.2 * ((COT / 100) * K_{oc}) / 1000) * 2500$$

d'où

$$K_{sed-eau} = 0.8 + (0.005 * K_{oc} * COT)$$

Équation 6 : Formule de calcul site-spécifique du coefficient de partage sédiment-eau par introduction de la teneur en COT des sédiments

$$K_{sed-eau} = 0.8 + (0.005 * K_{oc} * COT)$$

avec :

Paramètre		unité	Valeur générique
$K_{sed-water}$	Coefficient de partage sédiment-eau de la substance	$m^{-3}m^{-3}$	-
COT	Carbone Organique Total	$kg^{-1}kg^{-1}$	Voir ci-après
Koc	Coefficient de partition carbone organique-eau de la substance	$L.kg^{-1}$	-

La transformation de l'équation 1 permet alors d'obtenir finalement la formule de calcul site-spécifique de la $QS_{\text{sédiment}}$ (équation 7):

Équation 7 : Formule de calcul site-spécifique de la $QS_{\text{sédiment}}$ (sédiment humide) selon la méthode de l'équilibre de partage ($\log K_{ow} \leq 5$)

$$QS_{\text{sédiment - poids humide}} = \frac{0.8 + (0.005 * K_{oc} * COT)}{RHO_{\text{sed}}} * AA-QS_{\text{water_eco}} * 1000$$

Avec :

Paramètre	Description	Unité	Valeur générique
AA- $QS_{\text{water_eco}}$	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes de la colonne d'eau	$\mu\text{g.L}^{-1}$	n.a.
Koc	Coefficient de partage carbone organique/eau	$\text{m}^3.\text{m}^{-3}$	n.a.
COT	Carbone organique total du sédiment	%	Voir ci-dessous
$QS_{\text{sédiment - poids humide}}$	Norme de qualité spécifique pour la protection des organismes benthiques	$\mu\text{g.kg}^{-1}$	n. a.
RHO_{sed}	Masse volumique des sédiments	kg.m^{-3}	1300

Dans ce cas, le choix de la valeur de Koc doit se porter en priorité sur des valeurs expérimentales relatives aux sédiments *in situ*. D'autres recommandations ont été émises en amont dans ce document, quant à la gestion de données de Koc multiples (page 5).

7 RÉFÉRENCES

Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.

Communauté Européenne (2011). Technical Guidance for Deriving Environmental Quality standards. 257 pages.

Communauté Européenne (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

DI TORO D.M., ZARBA C.S., HANSEN D.J., BERRY W.J. *et al.* Technical basis for establishing sediment quality criteria for nonionic organic chemicals using equilibrium partitioning. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1991, vol. 10, pp. 1541-1583.

INERIS (2011). Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE). DRC-11-118981-08866A. 36 pages.

8 LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Objectifs de protection définis pour les milieux aquatiques dans le contexte de la Directive Cadre sur l'Eau Européenne (CE, 2000)..... 4

Figure 2 : Processus et approches disponibles dans la construction des normes de qualité spécifiques pour la protection des organismes benthiques 5

9 LISTE DES ÉQUATIONS

Équation 1 : Calcul de la QS_{sediment} (sédiment humide) selon la méthode de l'équilibre de partage pour des substances dont le logKow est inférieur à 5 6

Équation 2 : Calcul simplifié du coefficient de partage sédiment-eau ($K_{\text{sed-eau}}$) 7

Équation 3 : Estimation de la QS_{sediment} (sédiment sec) à partir de la QS_{sediment} obtenue pour le matériau humide..... 8

Équation 4 : Calcul de la NQ_{sediment} (sédiment humide) selon la méthode de l'équilibre de partage pour des substances dont le logKow est supérieur à 5 8

Équation 5 : Formule de calcul développée du coefficient de partage sédiment-eau des substances chimiques 9

Équation 6 : Formule de calcul site-spécifique du coefficient de partage sédiment-eau par introduction de la teneur en COT des sédiments 10

Équation 7 : Formule de calcul site-spécifique de la QS_{sediment} (sédiment humide)..... 11

Onema
Hall C – Le Nadar
5 square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Ineris
Parc Technologique Alata
BP 2
60550 Verneuil-en-Halatte
03 44 55 66 77
www.ineris.fr