

Action 33 – programmation Onema

Date : 02.02.2016

Ref : Ifremer, RBE/BE/ARC-16.02

Note : Avantages et limites du recours aux BCF - BAF pour produire des VGE mollusques équivalentes aux NQE définies dans l'eau (DCE 2013/39/UE)

Auteur(s) : Alizée Sire, Isabelle Amouroux.

Correspondant Onema : Olivier Perceval

La détermination de Valeurs Guides Environnementales (VGE) mollusques alternatives aux Normes de Qualité Environnementale (NQE) définies dans l'eau se base sur l'utilisation de facteurs de conversion : facteur de bioaccumulation (BAF), facteur de bioconcentration (BCF) et peut faire appel au facteur de bioamplification (BMF) suivant le niveau trophique considéré.

Cette note présente les avantages et les limites du recours aux données de BCF et/ou de BAF pour produire des VGE mollusques, elle s'appuie sur l'étude sur la détermination de VGE mollusques alternatives aux NQE eau de la DCE réalisée en 2015 [1].

Dans un premier temps, un rappel des principaux éléments de description technique des facteurs de conversion est fait (BCF et BAF)¹, puis dans un second temps, des recommandations sont faites.

1. Le facteur de bioconcentration (BCF)

La bioconcentration dans un organisme implique l'accumulation d'une substance chimique uniquement *via* l'eau, par la respiration ou par le contact direct avec la peau. Le BCF est alors défini comme le ratio à l'état d'équilibre entre la concentration en contaminant dans l'organisme (C_B) sur la concentration en contaminant dissous dans l'eau (C_{ED}) :

$$BCF [L.Kg^{-1}P.H.] = \frac{C_B}{C_{ED}}$$

Plusieurs méthodologies permettent d'obtenir des valeurs de BCF fiables et utilisables pour la conversion des NQE eau en VGE mollusques :

- Approche expérimentale ;
- Approche par modèles mathématiques : Quantitative-Structure Activity Relationship (QSAR).

a. Approche expérimentale

Des normes pour mesurer le BCF d'une substance chimique ont été développées pour différents organismes aquatiques, permettant ainsi de standardiser la démarche. Pour les mollusques marins, il

¹ Pour plus de précisions sur les facteurs de conversion, il est possible de se référer au rapport Ifremer (Sire et Amouroux, 2016)

existe deux normes : ASTM E1022 [2] et US-EPA 850.1710 [3]. Ces essais en laboratoire sont applicables à tous les contaminants organiques et aux composés traces métalliques qui peuvent être mesurés avec précision dans l'eau et dans les tissus des organismes. Ces tests de bioconcentration sont généralement réalisés pour une substance spécifique, mais peuvent être utilisés pour un mélange de substances quand cela est approprié et requis.

L'avantage de cette approche expérimentale est le travail en conditions contrôlées qui permet de fixer et suivre la composition de l'eau et le comportement de la substance chimique. En parallèle, le suivi de la contamination dans l'organisme est réalisé, permettant au terme de l'essai de calculer un BCF valide. La durée moyenne de ces tests est courte, permettant l'acquisition d'un résultat fiable rapidement.

Néanmoins, l'utilisation de cette méthode présente certaines limites techniques et financières. Différents facteurs environnementaux peuvent notamment faire varier le BCF [4] :

- la concentration du contaminant dans l'eau : elle peut faire varier le BCF (augmentation ou diminution) en fonction des substances chimiques étudiées ;
- la température de l'eau : son élévation entraîne une augmentation du BCF ;
- la salinité : son augmentation provoque une diminution du BCF ;
- le pH de l'eau.

Le choix de l'organisme étudié va également avoir un impact sur le BCF : une augmentation de la quantité de lipides dans l'organisme va induire son augmentation. Cette variation du taux de lipides peut être influencée par le régime alimentaire de l'organisme étudié et par la taille de ce dernier (plus la taille est importante et plus la quantité de lipides dans l'animal est importante). La normalisation du taux de lipides est donc un paramètre important pour réduire la variabilité inter-individuelles, inter-espèces et inter-études.

Ce travail en conditions contrôlées qui permet de définir un BCF, ne permet pas, de fait, de reproduire les conditions du milieu naturel, ainsi le BCF ne peut pas être représentatif de ce qui se passe sur le terrain. Ces normes permettent l'obtention d'une valeur valide en première approche sachant que le BCF obtenu sera inférieur ou égal au BAF mesuré sur le terrain. Ce principe ($BCF \leq BAF$) est fréquemment retrouvé dans la bibliographie, néanmoins il faut préciser l'existence d'une publication de 2010 [3] qui soulève une hypothèse contraire : dans les essais en laboratoire, l'absence de matières organiques dissoutes ou en suspension augmente la biodisponibilité des substances hydrophobes qui, dans la nature, s'adsorbent sur les matières organiques en suspension. Le BCF expérimental pourrait ainsi selon l'auteur être supérieur au BAF terrain.

Enfin, il faut préciser que la mise en place de ces protocoles expérimentaux est coûteuse (environ 35 000 euros par test et par contaminant).

b. Approche par modèles mathématiques QSAR

Les modèles mathématiques QSAR permettent d'obtenir une valeur de BCF fiable en utilisant différentes propriétés physico-chimiques des substances. L'utilisation du log de Kow reste la méthode la plus répandue, la plus commune et la plus importante. La valeur du log de Kow utilisée dans ces

modèles doit être valide et déterminée préférentiellement à partir d'essais en laboratoire qui suivent des normes spécifiques.

De nombreuses équations ont été développées et sont recensées dans la littérature pour les différents niveaux trophiques des écosystèmes marins ; aussi deux équations spécifiques aux moules (*Mytilus edulis*) sont définies [5]. Ces dernières sont simples d'utilisation et permettent d'obtenir de l'information rapidement et à moindre coût, ce qui permet de combler les lacunes sur les valeurs de BCF disponibles dans la littérature. Ces équations peuvent être appliquées aux substances organiques, de poids moléculaire inférieur à 700 g.mol⁻¹ et avec un log Kow inférieur à 6. Pour les métaux l'utilisation de ces modèles QSAR est impossible étant donné qu'ils ne possèdent pas de log de Kow.

Néanmoins, ces modèles ne peuvent pas être le reflet de ce qui se passe en milieu naturel puisqu'ils ignorent les dégradations métaboliques et les interactions spécifiques qui peuvent intervenir au sein de l'organisme, la croissance pondérale des animaux étudiés ainsi que l'excrétion et l'élimination du contaminant par voie fécale.

2. Le facteur de bioaccumulation (BAF)

La bioaccumulation est le processus qui permet l'augmentation de la concentration d'une substance chimique dans un organisme aquatique en comparaison avec la concentration de cette même substance dans l'eau, *via* toutes les voies d'exposition possibles (alimentation, respiration, contact direct avec la peau). Le BAF désigne donc le ratio à l'état d'équilibre entre la concentration d'un contaminant dans les tissus d'un organisme et sa concentration totale (dissous ou dissous + particulaire) dans l'environnement. Il peut être déterminé selon l'équation suivante :

$$BAF [L.Kg^{-1}P.H.] = BCF \times BMF_1 \times BMF_2$$

Le BMF correspond au facteur de bioamplification, pour les chaînes trophiques marines, il en existe deux.

Etant donné qu'à faible niveau trophique (pour les mollusques NT = 2), les phénomènes de bioamplification sont présumés faibles ou inexistant, les BAF peuvent être considérés comme équivalents aux BCF dans le cadre de cette démarche théorique (chaîne trophique simplifiée) décrit dans le TGD.

Parmi les différentes méthodes de détermination d'un BAF (approches terrain, expérimentale, par modélisation ou par QSAR), seule l'approche terrain est ici retenue pour les mollusques.

Cette approche consiste à calculer le ratio entre la concentration d'un contaminant dans un organisme (moules sauvages ou engagées) et la concentration de ce même contaminant dans l'eau. Pour les moules engagées, il est indispensable de s'assurer de l'atteinte de l'état d'équilibre avant d'utiliser la valeur de BAF. L'avantage de cette méthode est qu'elle est applicable à toutes les substances chimiques : composés organiques et composés traces métalliques.

Néanmoins, aucune méthodologie n'est définie actuellement pour l'acquisition de BAF terrain, ce qui ne permet pas de disposer de critères pour s'assurer de la validité des données obtenues.

De plus, dans la littérature il n'existe que très peu de données exploitables de concentrations en contaminants mesurées dans l'eau sur les côtes françaises. Ce constat met en évidence, d'une part la nécessité de bancariser toutes les données de suivi pour éviter la perte d'information ; et d'autre part, le besoin d'acquérir en parallèle des données de concentration en contaminants dans l'eau et dans les moules (sauvages et/ou encagées).

Enfin, quand des valeurs de BAF sont répertoriées, leur interprétation reste tout de même délicate puisqu'elles sont obtenues en mettant en relation une mesure intégrée dans le biote à une mesure ponctuelle dans l'eau. Aussi, s'ajoutent entre elles la variabilité d'une mesure dans un organisme pour une espèce donnée qui est fonction de l'état physiologique et des différentes étapes du cycle biologique : nutrition, croissance, amaigrissement et reproduction ; et la variabilité environnementale : niveau de concentration du contaminant dans l'eau, température, salinité, pH, conditions trophiques ... A cela, il est nécessaire de rajouter la nature de la substance étudiée : sa biodisponibilité, sa capacité à se fixer à la matière en suspension ... Tous ces paramètres liés les uns aux autres vont pouvoir faire varier la valeur du BAF terrain.

Le tableau 1 récapitule les avantages et limites des différents facteurs de conversion (BCF et BAF) pour le passage des NQE eau en VGE mollusques en fonction de la méthode choisie.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients / limites des BCF et des BAF en fonction des différentes méthodes.

	Avantages	Inconvénients / limites
BCF expérimental	<ul style="list-style-type: none"> - normes applicables aux mollusques - applicable à toutes les substances - travail en conditions contrôlées - rapide - $BCF \leq BAF$ 	<ul style="list-style-type: none"> - majoritairement : 1 substance = 1 test - variation des résultats en fonction des facteurs environnementaux et des organismes étudiés - BCF non représentatif de ce qui se passe dans le milieu - coûteux
BCF QSAR	<ul style="list-style-type: none"> - équations spécifiques aux moules - rapide et simple d'utilisation - faible coût 	<ul style="list-style-type: none"> - applicables aux substances organiques - poids moléculaire $< 700 \text{ g.mol}^{-1}$ et log de Kow de 2 à 6 - nécessité d'un log de Kow valide - BCF non représentatif de ce qui se passe dans le milieu
BAF terrain	<ul style="list-style-type: none"> - à faible NT, BCF équivalent BAF - mesure en milieu naturel - applicable à toutes les substances 	<ul style="list-style-type: none"> - aucune méthodologie définie - peu de données C_{eau} disponibles et exploitables - état d'équilibre nécessaire - variation des résultats en fonction des facteurs environnementaux, des organismes et de la substance

3. Recommandations

Suite à l'étude VGE mollusques, une méthodologie générale de détermination des VGE mollusques alternatives aux NQE définies dans l'eau (DCE 2013/39/UE) en fonction des facteurs de conversion (BCF et BAF) a été établie (figure 1). De façon préférentielle et selon le TGD-EQS [6], ce sont les valeurs de BAF déterminées sur le terrain qui doivent être prioritairement utilisées ; à défaut les valeurs de BCF seront employées : BCF expérimentaux, puis BCF calculés par la méthode QSAR.

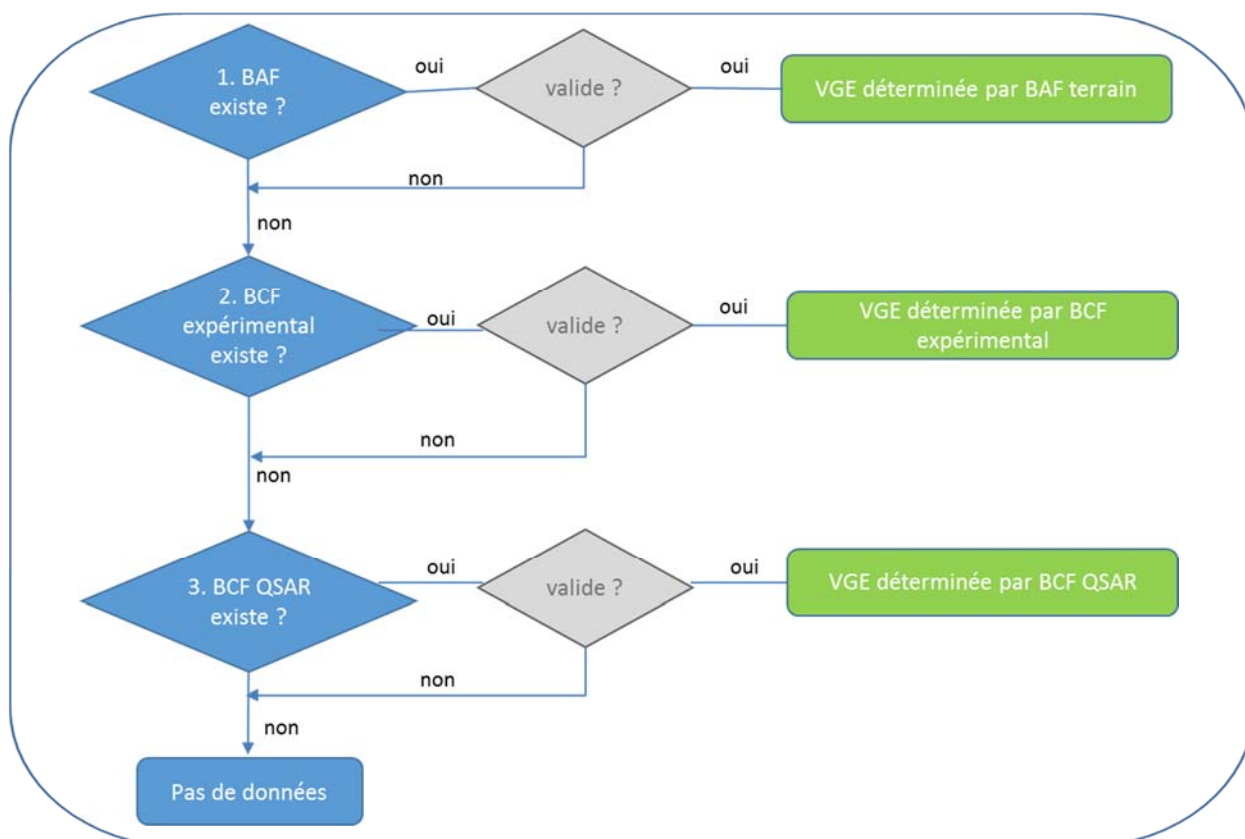


Figure 1 : méthodologie générale pour l'acquisition de VGE mollusques en fonction des BAF et des BCF.

❶ Nous recommandons prioritairement de développer une méthode d'acquisition de BAF terrain valides pour les moules (sauvages et/ou encagées) en vue de déterminer des VGE mollusques opérationnelles dans le cadre de la DCE. Par la suite, une acquisition de données BAF terrain selon la méthodologie définie doit être réalisée pour combler les lacunes de certaines substances chimiques et valider les données déjà existantes.

De façon complémentaire, afin de mieux connaître et mieux cibler l'atteinte de l'état d'équilibre (indispensable pour obtenir un BAF terrain de qualité) il serait nécessaire, pour certaines substances de la DCE, de mettre en place une étude permettant de suivre la cinétique de contamination et de décontamination des moules sauvages et encagées ainsi que leurs niveaux de concentrations dans l'eau.

❷ A ce stade de l'étude, nous ne recommandons pas de mettre en place des essais expérimentaux dans

le but d'acquérir des BCF valides pour une substance donnée. Néanmoins, si des données de BCF expérimentaux sont recensées dans la bibliographie, elles doivent être utilisées pour la détermination de VGE mollusques et privilégiées par rapport aux données BCF calculées par la méthode QSAR.

③ Pour chacune des 25 substances étudiées, nous recommandons de mettre en place une démarche hiérarchisée permettant d'affiner la VGE mollusques suivant les facteurs de conversion utilisés (fig. 2). Ainsi en 2016, une interprétation des données obtenues dans le cadre du ROCCH (Réseau d'Observation de la Contamination Chimique), vis-à-vis des seuils proposés (VGE mollusques) sera réalisée.

- Pour les substances pour lesquelles il n'y a pas de risque de dépassement de la VGE mollusques (par exemple chlorpyrifos, pentachlorobenzène, pentachlorophenol ...), aucune acquisition de données complémentaires n'est nécessaire.
- Pour les substances présentant des résultats proches ou supérieurs à la VGE mollusques (par exemple endrine et endosulfan), un affinement des VGE mollusques est possible en travaillant sur les facteurs de conversion utilisés. On peut ainsi procéder par des étapes successives.
 - Si la VGE mollusques est déterminée à partir du BCF QSAR, la validité du log de Kow utilisé dans les équations doit être vérifiée, et complétée si besoin.
 - Si cette première étape n'est pas suffisante, une recherche de BCF expérimentaux valides et récents peut être réalisée.
 - La dernière étape d'affinement des VGE mollusques consiste à acquérir des données permettant de déterminer des BAF terrain valides suivant la méthodologie qui reste à définir en 2016.
- Pour les substances ne disposant pas de VGE mollusques (cyperméthrine, DEHP, aldrine et isodrine), aucun facteur de conversion n'a été déterminé, nous recommandons :
 - dans un premier temps la recherche de BCF expérimentaux valides et récents,
 - puis si nécessaire, l'acquisition de données de BAF terrain suivant la méthodologie qui reste à définir en 2016.

④ Enfin, nous recommandons d'étudier de façon plus approfondie certains contaminants qui présentent déjà des NQE biote (DCE 2013/39/UE), en particulier le mercure et ses composées (N° CAS : 7439-97-6). Pour ce métal, la NQE biote est de 20 µg.Kg⁻¹ P.H. et est déterminée pour le niveau trophique poissons (NT = 4). Pour le niveau trophique mollusques (NT = 2), les concentrations en mercure mesurées en 2013 et 2014 dans les moules sont supérieures à cette valeur pour la quasi-totalité des côtes françaises métropolitaines. De ce fait, il pourrait être intéressant de déterminer une VGE mollusques pour le mercure, ainsi deux choix complémentaires sont envisageables : l'utilisation des facteurs de bioamplification (BMF ou TMF) pour passer d'un niveau trophique à l'autre suivant la méthodologie définie par l'INERIS [7] ; et/ou l'acquisition de données valides pour les mollusques (BCF expérimentaux ou BAF terrain).

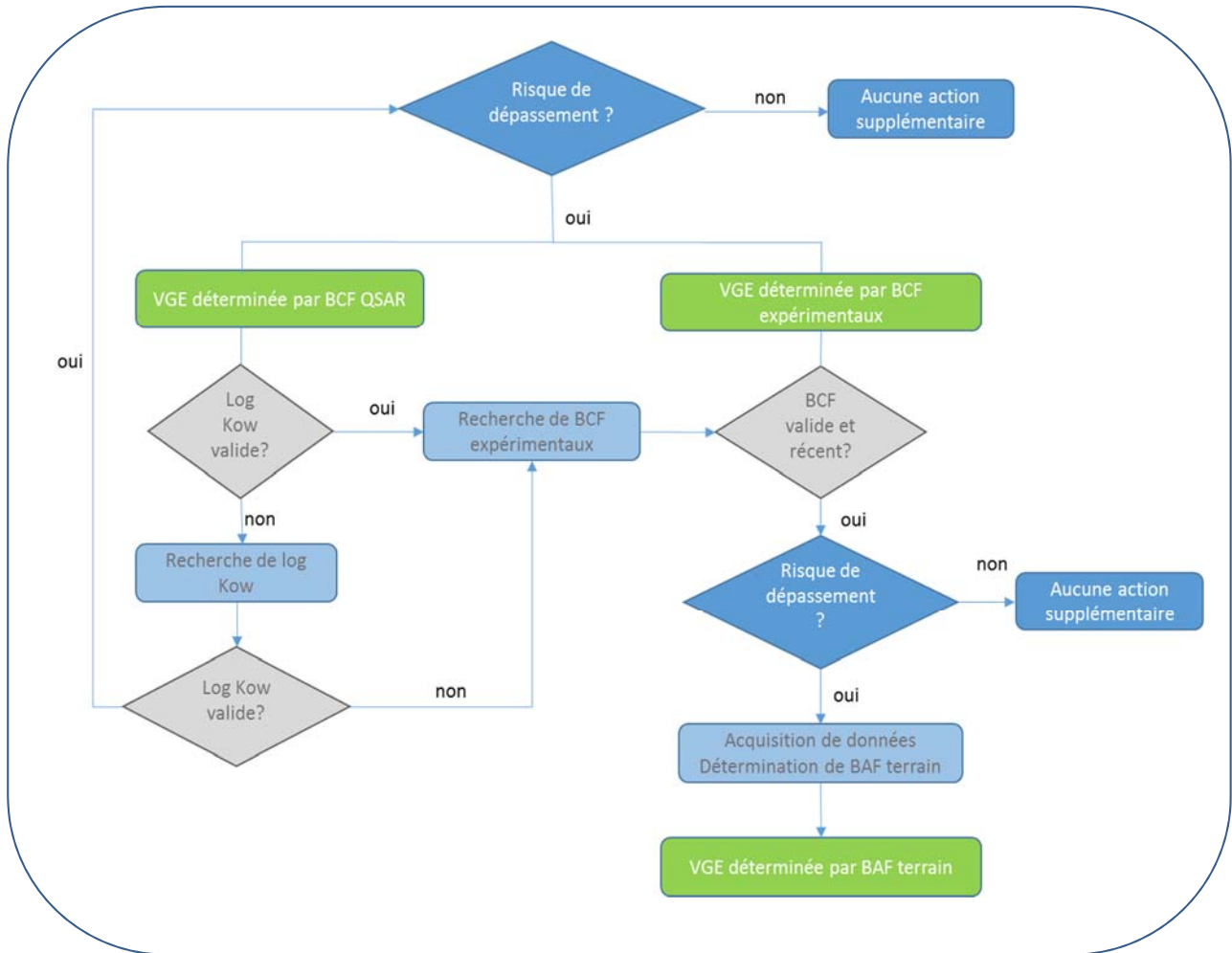


Figure 2 : Processus hiérarchisé d'affinement de la VGE mollusques par substance

Références bibliographiques

- [1] Sire A., Amouroux I., 2016. Détermination de Valeurs Guides Environnementales (VGE) mollusques alternatives aux Normes de Qualité Environnementale (NQE) eau définies dans la DCE. Ifremer, RBE/BE/ARC/2016.01, janvier 2016, 81 p..
- [2] ASTM, 2013. Standard Guide for Conducting Bioconcentration Tests with Fishes and Saltwater Bivalve Mollusks. E1022-94 (reapproved in 2013), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Penn.
- [3] US-EPA, 1996. Ecological Effects Test Guidelines. Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances 850.1710 Oyster BCF. EPA 712-C-96-127.
- [4] Papp R., 2010. Les propriétés environnementales des substances. Collège National d'Experts en Environnement de l'Industrie Chimique, juillet 2010, 126 p..
- [5] Geyer H.J., Scheunert I., Bruggemann R., Steinberg C., Korte F., Kettrup A., 1991. QSAR for organic-chemical bioconcentration in daphnia, algae, and mussels. Science of the Total Environment 109, 387-394.
- [6] EC, 2011. Technical Guidance Document 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.
- [7] Amara A., Andres S., 2015. Méthodologie de conversion des NQEs entre les matrices de mesures (eau-biote) et les niveaux trophiques. Rapport d'étude INERIS, DRC-15-136849-12615A, décembre 2015, 38 p..

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

Ifremer
Rue de l'Île d'Yeu
BP 21105
44311 Nantes cedex 3
02 40 37 40 00
www.ifremer.fr