

Substances prioritaires DCE :

Etude de détermination de facteurs de bioaccumulation (BAF) sur les mollusques en milieu marin

BAF opérationnel déterminé dans le contexte DCE



Isabelle Amouroux, cellule ARC

Jean-Louis Gonzalez, Emmanuelle Rozuel - LBCM,
Florence Menet, Frank Maheux - LER/Normandie,
Christophe Brach-Papa, Christophe Ravel, Fabienne Chavanon- LER/Provence Azur Corse,
Dominique Munaron, Jean-Louis Guillou - LER/Languedoc Roussillon,
Stéphane Guesdon, Jean-Luc Seugnet - LER/Pertuis-Charentais,
Olivier Pierre-Duplessix, Anne Schmitt – LER/ Morbihan-Pays-de-Loire,
Luc Lebrun, Aouregan Terre-Terrillon - LER/Bretagne Occidentale,
Nadège Bely – LBCO.

Mai 2020

Auteur principal

Isabelle Amouroux

Ingénieur Analyse Risque Chimique en milieu marin

Cellule ARC

Isabelle.Amouroux@ifremer.fr

Ifremer Nantes - Rue de l'Île d'Yeu - BP 21105 - 44311 Nantes cedex 3

Cette étude BAF a été réalisée en collaboration par plusieurs laboratoires Ifremer :

Isabelle Amouroux - ARC,

Jean-Louis Gonzalez, Emmanuelle Rozuel - Laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Métalliques (LBCM),

Nadège Bely - Laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Organiques (LBCO),

Laboratoires Environnement Ressources (LER) :

Florence Menet, Frank Maheux - LER/Normandie,

Christophe Brach-Papa, Christophe Ravel, Fabienne Chavanon - LER/Provence Azur Corse,

Dominique Munaron, Jean-Louis Guillou - LER/Languedoc Roussillon,

Stéphane Guesdon, Jean-Luc Seugnet - LER/Pertuis-Charentais

Olivier Pierre-Duplessix, Anne Schmitt – LER/ Morbihan-Pays-de-Loire

Luc Lebrun, Aouregan Terre-Terrillon - LER/Bretagne Occidentale

Contribution : Naïs Julian, cellule ARC

Il a été réalisé avec des laboratoires extérieurs : Cedre (SBSE), FILAB (analyses DGT), Laberca et LEAV (analyses mollusques), un laboratoire sous-traitant que nous identifierons comme le Laboratoire A (analyses eau et moules).

Merci à l'IPMA, Instituto Português do Mar e da Atmosfera, pour la recherche des composés métalliques dans la matrice eau marine, en lien avec le projet européen Monitool.

Les correspondants

Office Français de la Biodiversité: Olivier Perceval, DAST

Référence du document : Ifremer, RBE/BE/ARC/2020-06

Relecture : Sandrine Andres, Responsable ETES, INERIS ; Anne Grouhel Coordinatrice ROCCH

Document validé par :

Thierry Burgeot, Ifremer, responsable Unité Biogéochimie et Ecotoxicologie

Droits d'usage :	<i>Accès libre</i>
Couverture géographique :	<i>International</i>
Niveau géographique :	<i>National</i>
Niveau de lecture :	<i>Professionnels, experts</i>
Nature de la ressource :	<i>Document</i>
<i>Substances prioritaires DCE : Etude de détermination de facteur de bioaccumulation (BAF) sur les mollusques en milieu marin. BAF opérationnel déterminé dans le contexte DCE</i>	
<i>Auteurs : Amouroux I, Gonzalez J.L., Menet F., Maheux F., Brach-Papa C., Ravel C., Chavanon F., Munaron D., Guillou J.L., Guesdon S., Seugnet J.L., Pierre-Duplessix O., Schmitt A., Lebrun L., Terre-Terrillon A., Rozuel E., Bely N.</i>	

Table des matières

Introduction.....	7
1. Descriptif de l'étude.....	8
1.1. Comment déterminer un BAF mollusque en milieu marin ?	8
1.2. Substances étudiées.....	9
1.3. Protocole d'acquisition des données BAF.....	12
1.4. Bilan de la phase opérationnelle.....	14
2. Résultats.....	17
2.1. Contaminants métalliques	17
2.2. Contaminants organiques	34
2.3. Résultats par substance.....	37
3. Discussion et conclusion.....	58
Bibliographie	63

Substances prioritaires DCE : Etude de détermination de facteur de bioaccumulation (BAF) sur les mollusques en milieu marin. BAF opérationnel déterminé dans le contexte DCE.

Auteurs : Amouroux I, Gonzalez J.L., Menet F., Maheux F., Brach-Papa C., Ravel C., Chavanon F., Munaron D., Guillou J.L., Guesdon S., Seugnet J.L., Pierre-Duplessix O., Schmitt A., Lebrun L., Terre-Terrillon, A. Rozuel E., Bely N..

Résumé

Pour permettre d'évaluer la qualité chimique des masses d'eau en utilisant les résultats de la surveillance opérée sur les bivalves via le ROCCH ou le RINBIO, il est nécessaire de transposer les seuils existants applicables dans les eaux marines en seuils « mollusques » et ainsi d'adapter les NQE_{eau marine} (Normes de Qualité Environnementale) en VGE_{mollusques} (Valeur Guide Environnementale). Cette adaptation nécessite d'utiliser des facteurs de conversion eau-biote : les facteurs de bioconcentration (BCF) ou les facteurs de bioaccumulation (BAF) spécifiques de couples substance-espèce. Les BAF sont les facteurs à privilégier autant que possible car plus représentatifs de ce qui se passe dans le milieu avec notamment la prise en compte des différentes voies d'exposition des organismes aquatiques aux contaminants, i.e. la voie directe (eau) et la voie trophique (ingestion de proies contaminées). Cette démarche de détermination de VGE_{mollusques} est engagée par Ifremer - OFB depuis 2015, et plusieurs étapes ont été réalisées : proposition de VGE_{mollusques} (1) sur la base de données existantes, élaboration d'une méthodologie de détermination de BAF pour les mollusques en milieu marin afin d'acquérir des données BAF terrain. Cette étude de détermination des BAF sur les mollusques en milieu marin a été conduite entre 2016 et 2019, elle concerne 27 substances prioritaires : 3 composés métalliques et 24 substances organiques. Sept sites ont été échantillonnés en parallèle sur les matrices eau marine et mollusques. Suivant les points, les mollusques échantillonnés étaient des moules sauvages (ou d'élevage) et / ou des moules encagés, et deux sites disposaient en plus d'huîtres encagées. Les concentrations dans l'eau marine ont été mesurées sur eau brute et / ou eau filtrée. En dépit des nombreuses difficultés logistiques rencontrées, cette étude souligne d'un point de vue technique, l'intérêt de la SBSE (Stir Bar Sorptive Extraction), pour la recherche de certaines substances organiques dans l'eau marine, la pertinence de rechercher ces substances sur eau brute mais également sur eau filtrée. Cette étude permet de disposer de résultats acquis en parallèle à la fois sur moules encagées, sur moules sauvages ou d'élevage et de mesurer des BAF pour 10 substances : Cd, Ni, Pb, anthracène, PBDE, DDT total, HCH, naphthalène, octylphénol, TBT, permettant d'affiner les VGE_{mollusques}.

Mots-clés :

Mollusques ; eau marine ; facteur de bioaccumulation (BAF) ; NQE_{eau marine} ; Valeur Guide Environnementale (VGE) ; milieu marin, substances prioritaires, métaux, substances organiques.

Introduction

La Directive Cadre sur l'eau (DCE - Directive 2000/60/CE) (2) vise l'atteinte du bon état chimique et écologique des masses d'eau européennes. L'état chimique est évalué pour chacune des 45 substances prioritaires sur la base du respect de leur Norme de Qualité Environnementales (NQE, i.e. concentrations en contaminant à ne pas dépasser dans l'eau, le sédiment ou le biote pour assurer la protection de l'Homme et de l'environnement) (directive 2013/39/UE)(3) définies au niveau européen. Ces normes sont fixées pour la majorité des substances dans l'eau. Or, compte tenu d'une part des difficultés d'échantillonnage et d'analyse pour des substances potentiellement présentes à l'état de trace en milieu marin, et d'autre part de la faible représentativité spatiale et temporelle d'échantillons d'eau acquis ponctuellement, l'acquisition de résultats dans des matrices intégratrices apparaît plus appropriée pour la plupart des substances concernées. Ainsi, pour les substances organiques hydrophobes et bioaccumulables et pour les composés métalliques, l'acquisition de données dans les mollusques bivalves est privilégiée. La surveillance opérée par le ROCCH (Réseau d'Observation de la Contamination Chimique) fournit des résultats de dosage de contaminants dans les chairs de mollusques pour évaluer la qualité chimique du milieu marin. Ces résultats acquis sur mollusques ne pouvant être comparés directement aux $NQE_{\text{eau marine}}$, il est nécessaire d'adapter le seuil aux mollusques. Depuis 2015, l'Ifremer (via la cellule ARC¹), en partenariat avec l'ONEMA - AFB est engagée dans une démarche visant à adapter les $NQE_{\text{eau marine}}$ en $VGE_{\text{mollusques}}$ (Valeur Guide Environnementale). Des $VGE_{\text{mollusques}}$ ont été proposées en 2018 (4,5) et utilisées dans un cadre réglementaire (6), (7) pour évaluer le statut chimique des masses d'eau littorales. Ces seuils sont déterminés de façon à être au moins aussi protecteurs que les NQE définies sur la matrice eau marine. Ils sont calculés à partir des $NQE_{\text{eau marine}}$ en utilisant un facteur de conversion eau-biote : facteur de bioaccumulation (BAF) ou de bioconcentration (BCF). De façon préférentielle, le TGD-EQS (Technical Guidance Document for deriving Environmental Quality Standards) (8) recommande prioritairement l'utilisation de BAF déterminés à partir d'observations de terrain et dans une moindre mesure l'utilisation de BCF : BCF expérimentaux d'abord, puis BCF calculés par la méthode QSAR (Quantitative-Structure Activity Relationship) (9). En 2016, une méthodologie d'acquisition des BAF mollusques en milieu marin a été élaborée (1) suivie d'une phase d'acquisition de données terrain réalisée entre fin 2016 et 2018.

Le présent document a pour objet de présenter les résultats de cette étude suivant (i) un protocole de l'étude BAF puis (ii) les résultats acquis en vue de déterminer les BAF proposés ainsi que des $VGE_{\text{mollusques}}$ affiniées.

¹ Cellule mixte Ineris/Ifremer d'Analyse du Risque Chimique en milieu marin (ARC)

1. Descriptif de l'étude

1.1. Comment déterminer un BAF mollusque en milieu marin ?

La méthodologie de détermination d'un BAF mollusque en milieu marin est décrite dans le document de méthode (1). Seuls les principaux éléments sont rappelés ici. La bioaccumulation est définie comme l'accumulation nette d'un contaminant chimique dans un organisme via toutes les sources environnementales possibles (eau et nourriture).

Pour une substance donnée, un BAF valide doit être déterminé une fois **l'état d'équilibre atteint** (8). Le BAF mesuré à l'état d'équilibre correspond à la concentration de la substance chimique dans les mollusques divisée par la concentration de cette même substance dans l'eau durant la même période de temps :

$$\text{À l'équilibre : } BAF (L.Kg^{-1}p.h.) = \frac{C_{mollusque}}{C_{eau}}$$

Le BAF est exprimé en litre par kg de poids humide (p.h.). Suivant le TGD EQS, il peut également être exprimé sur poids sec ou poids lipidique et dans ce cas cela doit être indiqué (10). Il n'est rien précisé sur la fraction analysée dans l'eau.

L'US EPA (United States Environmental Protection Agency), dans sa méthodologie pour dériver les critères de qualité de l'eau pour la protection de la santé humaine (11,12), différencie un BAF mesuré sur eau brute et un BAF mesuré sur une fraction « dissoute », qui constitue la fraction la plus biodisponible. Ce dernier nommé BAF « référence » ($BAF_{référence}$) permet de normaliser la concentration mesurée dans la chair sur le poids lipidiques des organismes et de rapporter à la concentration de la substance dans la fraction « dissoute ». En effet, la teneur en lipide des organismes, le taux de MES et le taux de carbone organique dans la colonne d'eau peuvent influencer sur la bioaccumulation des composés organiques non ioniques (12). Ce BAF référence s'exprime en litre par kg poids lipidiques (L. Kg⁻¹ p.l.). Il correspond au ratio entre la concentration du contaminant dans les mollusques normalisée par rapport au taux de lipides (C_l) et sa concentration dans la fraction « dissoute » ($C_{eau\ libre\ dissoute}$).

$$BAF_{référence} (L.Kg^{-1}p.l.) = \frac{C_l}{C_{eau\ libre\ dissoute}}$$

La détermination de BAF pour les composés métalliques diffère de celle pour les composés organiques puisque la normalisation des concentrations en contaminants dans les tissus des organismes par rapport aux teneurs en lipides n'est pas nécessaire pour ces composés (11,12).

Rappelons que l'interprétation de BAF reste très délicate puisqu'il s'agit de mettre en relation une mesure intégrée dans le biote à une mesure ponctuelle dans l'eau. Se combinent entre elles, en effet, 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) ; celles liées aux mécanismes de régulation (pour les métaux), 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 ... La variabilité de la structure des écosystèmes peut également influencer, selon la diversité des espèces et des niveaux trophiques présents,

certaines espèces changent leur alimentation. Tous ces paramètres liés les uns aux autres vont pouvoir faire varier la valeur du BAF terrain (4,9). Ainsi, il faut partir du postulat qu'un BAF est variable.

La présente étude a pour objectif de permettre la détermination de BAF mollusques terrain selon une méthodologie définie et de limiter autant que possible cette variabilité. Il sera fait mention de BAF mesurés, car il s'agit de BAF déterminés sur la base de mesures terrain. Puis il s'agit de proposer des BAF destinés à être utilisés dans le cadre opérationnel de la DCE, pour adapter la NQE_{eau marine} aux mollusques en utilisant la relation (4) :

$$VGE_{\text{mollusques}} = NQE_{\text{eau marine}} \times \text{BAF}$$

VGE mollusques exprimé en $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ p.h.

NQE eau marine exprimé en $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

BAF exprimé en $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ p.h.

Lorsque plusieurs données de BAF sont disponibles, il est fréquent de calculer la médiane des BAF (13) ou la moyenne géométrique, comme c'est le cas pour le TGD EQS (10) ou l'US EPA (12) pour définir un BAF par espèce ou taxon. Dans le présent document nous présenterons les deux, privilégierons la moyenne géométrique et nous ferons également apparaître le BAF minimum déterminé. Le BAF_{référence} sera indiqué à titre d'information lorsqu'il pourra être défini.

1.2. Substances étudiées

Au total, 27 substances de l'état chimique (3) sont ciblées pour la détermination de BAF : 3 métaux (Pb, Cd, Ni), 22 substances hydrophobes ($\text{Log } K_{ow} > 3$) et bioaccumulables ($\text{BCF} > 2\,000 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ P.H.}$) qui disposent de NQE_{eau marine} et 2 substances qui disposent de NQE_{biote}: les PBDE (NQE biote = $0,0085 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ p.h. et le DEHP (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste des 27 substances étudiées (4)

N° DCE	N° CAS	Substance	Famille
2	120-12-7	Anthracène	HAP
5	32534-81-9	Diphényléthers bromés	Poly Bromo Diphényles Ethers (PBDE)
6	7440-43-9	Cadmium et ses composés	Métal
7	85535-84-8	Chloroalcane, C10-13	Hydrocarbures alogénés
8	470-90-6	Chlorfenvinphos	Insecticide
9	2921-88-2	Chlorpyrifos	Insecticide
9 bis	X	Pesticides cyclodiennes	Insecticide
9 ter	X	DDT total	Insecticide
12	117-81-7	DEHP	Phtalate
14	115-29-7	Endosulfan	Insecticide
18	608-73-1	Hexachlorocyclohexane	Pesticide
20	7439-92-1	Plomb et ses composés	Métal
22	91-20-3	Naphtalène	HAP
23	7440-02-0	Nickel	Métal
24	84852-15-3	Nonylphénols (4-nonylphénol)	Alkylphénols
25	140-66-9	Octylphénols (4-(1,1',3,3'-tétraméthylbutyl)-phénol)	Alkylphénols
26	608-93-5	Pentachlorobenzène	Chlorobenzène
27	87-86-5	Pentachlorophénol	Fongicide
30	36643-28-4	Composés du tributylétain (tributylétain-cation)	Pesticide et antifoulings
31	12002-48-1	Trichlorobenzène	Chlorobenzène
33	1582-09-8	Trifluraline	Herbicide
36	124495-18-7	Quinoxifène	Fongicide
38	74070-46-5	Aclonifène	Herbicide
39	42576-02-3	Bifénox	Herbicide
40	28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	Pesticide et antifoulings
41	52315-07-8	Cyperméthrine	Insecticide
45	886-50-0	Terbutryne	Pesticide

La détermination du BAF implique de disposer, au niveau d'un même point de suivi et simultanément, de résultats à la fois sur la matrice eau et sur la matrice biote (moules), une fois que l'état d'équilibre est atteint (figure 1).

Les mesures de concentration dans les mollusques sont acquises soit en utilisant des moules sauvages ou d'élevage (présence 6 mois minimum sur site, conformément au protocole ROCCH), soit en utilisant des moules transplantées (moules encagées) provenant d'un site de référence. Ces moules encagées sont exposées sur site entre 60 et 90 jours minimum pour une mesure des contaminants chimiques incluant composés métalliques et composés organiques de haut poids moléculaire en accord avec la norme ASTM *Standard Guide for Conducting In-situ Field Bioassays With Caged Bivalves-- E21211-02* (14). Si une mesure des effets sur les mollusques avait été attendue, il aurait été nécessaire de doubler le temps d'exposition, pour atteindre une exposition d'environ 6 mois sur site.

La quantification des substances dans la matrice eau marine selon la méthode « classique » s'avère particulièrement délicate, les substances étant présentes potentiellement à l'état de traces. En parallèle les échantillons d'eau marine sont analysés en utilisant la technique SBSE (Stir Bar Sorptive Extraction pour certaines substances organiques). Des échantillonneurs passifs intégratifs (DGT (Diffusive Gradient in Thin film) et membrane silicone) déployés « *in situ* » pendant une période de temps donnée

(environ 7-10 jours pour les DGT, et un mois pour les membranes silicones) sont également analysés. Pour les contaminants organiques, les analyses sur la matrice eau marine sont réalisées à la fois sur eau brute et sur eau filtrée (0,45 µm).

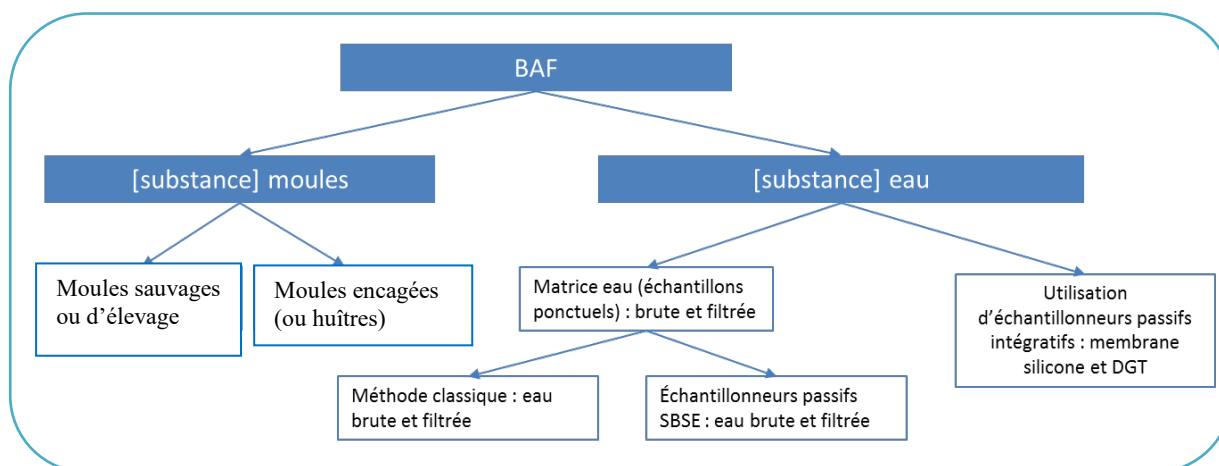


Figure 1: Méthodologie générale d'acquisition de BAF « terrain »

A contamination égale du milieu, les concentrations en contaminants chimiques dans les coquillages varient de façon importante en fonction des saisons. Les échantillonnages de mollusques sont réalisés hors période de reproduction, lorsque les moules sont dans un état physiologique plus stable sur un plan métabolique (15). En fonction des espèces de moules (*Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis* et *Mytilus sp.*) et de leur localisation géographique, la maturité sexuelle n'intervient pas à la même période de l'année. Pour la Manche Mer du Nord et le Golfe de Gascogne où l'on rencontre principalement des populations de *Mytilus edulis*, la période de repos sexuel est définie fin automne, début d'hiver par OSPAR (16). Pour la façade Méditerranéenne où l'on retrouve des populations de *Mytilus galloprovincialis*, la période de repos sexuel et donc d'échantillonnage peut varier selon les années, elle se situe en juillet – août (17),

Pour définir des VGE mollusques alternatives aux NQE eau, il faut se situer à des niveaux de concentration dans l'eau aussi proches que possible de la valeur de la NQE eau marine pour la substance considérée. Dans le milieu marin, et pour la majorité des substances, un tel niveau de concentration ne peut être atteint *a priori* que dans les estuaires. Néanmoins, ce sont des milieux éminemment variables avec des conditions environnementales (température, salinité, turbidité) et des niveaux de concentration en contaminants chimiques très fluctuants au rythme des marées. Ils ne constituent donc pas, en première approche, les meilleurs candidats pour la détermination de BAF « terrain » puisqu'un des préalables importants à la détermination de BAF concerne la stabilité des niveaux de concentration dans l'eau. Les points de suivi ont été définis de façon à être autant que possible exposés à des apports contaminants et de manière relativement stable dans le temps.

A niveau de contamination égal du milieu, les moules et les huîtres ne concentrent pas tous les contaminants dans la même proportion. Les différences sont minimes et non significatives pour les contaminants organiques. Par contre, pour certains métaux, ces différences sont telles qu'elles interdisent la comparaison directe entre les deux bivalves (18). Dans la littérature, les huîtres sont

décrites comme des organismes présentant une plus grande capacité à accumuler les composés métalliques que les moules (19). Aussi, la moule est l'espèce utilisée en première intention, sa plus faible bioaccumulation permet d'obtenir un BAF plus faible qu'un BAF déterminé sur huître. Ainsi un seuil VGE défini sur la base du BAF déterminé sur les moules doit être « protecteur » pour les huîtres. Pour vérifier cela, l'exposition d'huîtres encagées a également été faite en parallèle aux moules encagées en Méditerranée (Thau et Lazaret). En outre, cette étude doit nous permettre d'identifier d'éventuelles différences entre BAF moules « sauvages ou élevages » (durée immersion sur site minimum 6 mois) et moules « encagées » (durée immersion sur site environ 3 mois).

1.3. Protocole d'acquisition des données BAF

Pour cette étude, 7 sites ont été retenus en concertation avec les LER (Laboratoires Environnement Ressources) (carte 1) ; un site est comptabilisé deux fois, car il a été échantillonné à deux reprises : zone portuaire Antifer (échantillonné en 2017 et 2018), Le Croisic (2018), Saumonard (2018), Thau (2017), Lazaret (2017). Un site supplémentaire a été rajouté en Rade de Brest, du fait des teneurs en plomb très élevées détectées dans le cadre du ROCCH sur les moules. Le Sillon des Anglais (2018) a fait l'objet d'un échantillonnage partiel dans le cadre de cette étude.



Carte 1 : Localisation des sites échantillonnés dans le cadre de l'étude BAF

Le protocole prévoit la réalisation de trois prélèvements consécutifs à 7 - 10 jours d'intervalle, avec échantillonnage d'eau et de mollusques (en triplicat) et l'immersion et la récupération d'échantillonneurs passifs (membrane silicone et DGT). Le déroulement opérationnel est présenté à titre d'illustration pour Antifer (2017) figure 2. Les LER de Normandie, Bretagne Occidentale, Morbihan Pays-de-Loire, Pertuis-Charentais, Languedoc Roussillon et Provence Azur Corse ont assuré la phase opérationnelle de pose et relève des échantillons.

Suivant les sites considérés, le protocole d'échantillonnage varie selon que le site dispose ou non de moules engagées. Le tableau 2 présente par point, les matrices et supports échantillonnés ainsi que le calendrier.

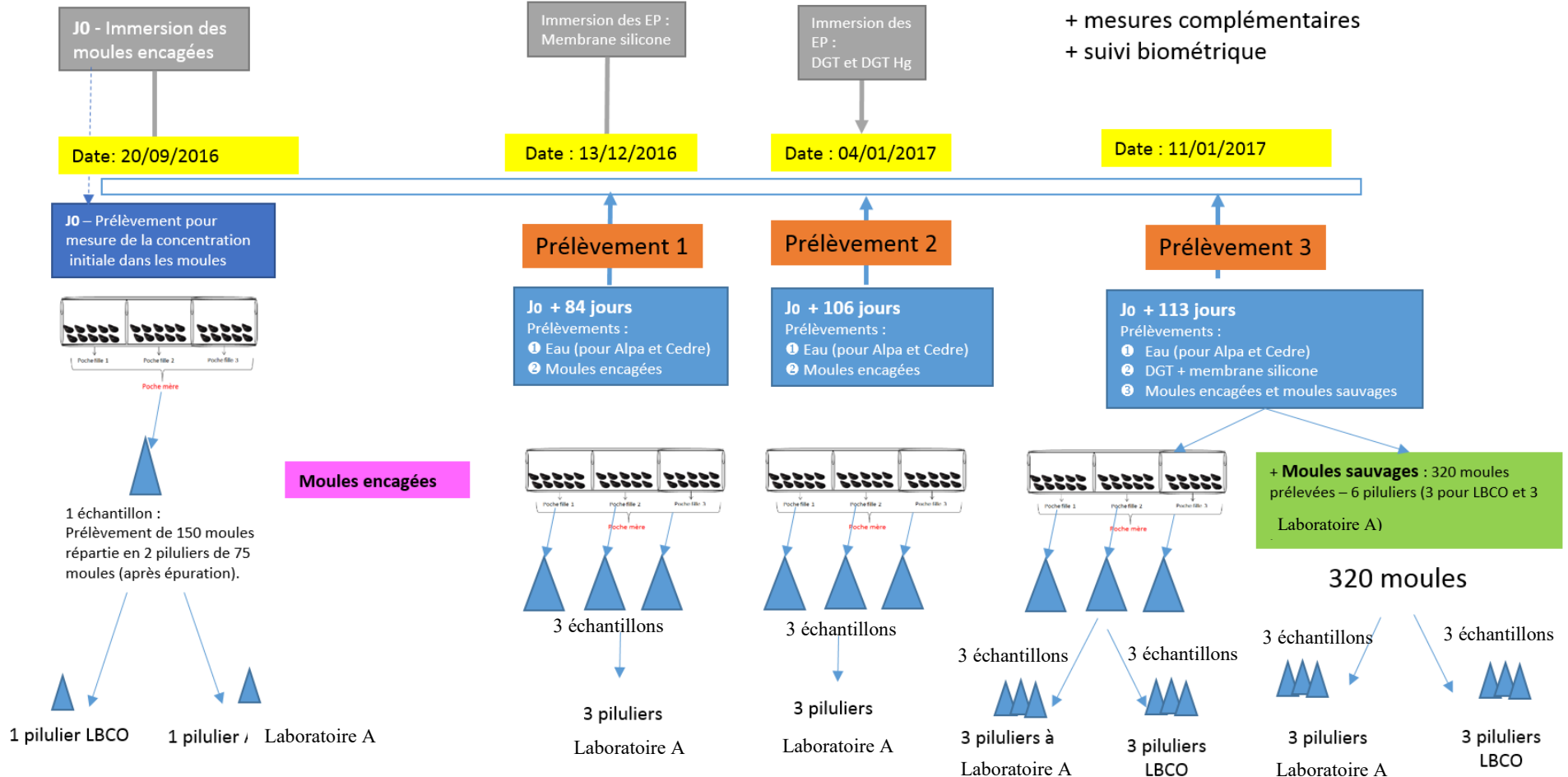


Figure 2 : Déroulement de la phase opérationnelle suivant la mise en place, les prélèvements, l'échantillonnage et la désignation des laboratoires d'analyses. Illustration pour Antifer

Tableau 2 : Points, matrices et calendrier de suivi par sous-région marine

Sous-région marine	Points de suivi	Pression	Matrice eau	Echantillonneur passif	Matrice mollusque	Calendrier prélèvement
Manche Mer du Nord	Antifer (Port)	Influence indirecte du panache de la Seine Site Portuaire	Eau brute Eau filtrée	SBSE DGT Membrane silicone	Moules sauvages Moules encagées	T1 2017 (Trimestre 1)
	Antifer (Port)	Influence indirecte du panache de la Seine Site Portuaire	Eau brute Eau filtrée	SBSE DGT	Moules sauvages Moules encagées	T1 2018
Mer celtique et Manche ouest	Sillon des Anglais (Rade de Brest)	Agricole et minière.	-	SBSE DGT	Moules sauvages	T1 2018
Golfe de Gascogne et côtes Ibériques	Le Croisic		Eau brute Eau filtrée	SBSE DGT	Moules encagées	T1 2018
	Saumonard	Agricole	Eau brute Eau filtrée	SBSE DGT Membrane silicone	Moules d'élevage sur corde	T1 2018
Méditerranée occidentale	Etang de Thau	Urbain et agricole	Eau brute Eau filtrée	SBSE DGT Membrane silicone	Moules sauvages Moules encagées Huîtres encagées	T2 2017
	Baie du Lazaret	Portuaire, urbaine et industrielle	Eau brute Eau filtrée	SBSE DGT Membrane silicone	Moules sauvages Moules encagées Huîtres encagées	T2 2017

1.4. Bilan de la phase opérationnelle

Le programme d'échantillonnage initialement défini a été globalement respecté, et les LER ont acquis pratiquement tous les échantillons prévus.

Toutefois plusieurs contraintes techniques ont conduit à adapter le protocole. Des problèmes logistiques ont impacté de façon importante l'acquisition et/ou la disponibilité des échantillons. Le tableau 3 liste par point de suivi les échantillons réalisés.

Suite aux premiers résultats d'analyses acquis en 2017 sur la matrice eau par le laboratoire A sur Antifer ; avec une majorité de résultats < LQ pour les substances organiques et des résultats douteux pour les quelques résultats quantifiés pour les composés métalliques (valeurs anormalement hautes pour le milieu marin) ; des évolutions dans le protocole analytique ont été mises en place, pour obtenir autant que possible des résultats quantifiés sur la matrice eau marine.

Ainsi, pour les substances organiques, il était convenu avec le laboratoire A de bénéficier du développement de la méthode HRMS (Spectroscopie de Masse Haute Résolution) conduit initialement sur la matrice mollusque, et de l'appliquer sur la matrice eau marine, pour les substances pour lesquelles cela apparait adapté.

Pour les contaminants métalliques, le LBCM Ifremer a réalisé des analyses de métaux dissous dans la matrice eau marine (Pb, Cd, Ni) pour les échantillons de Méditerranée (2017). Pour les échantillons 2018, en lien avec le projet européen MONITOOL (New Tools for Water Quality Monitoring – Interreg Atlantique <https://www.monitoolproject.eu/>), des échantillons d'eau marine ont été analysés par l'IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera), laboratoire en charge des analyses des composés métalliques en eau marine pour Monitool. Réciproquement, les données DGT acquises par l'étude BAF ont été fournies à Monitool pour accroître le nombre de données disponibles.

Nous avons du faire face à des difficultés logistiques importantes. Certains échantillons ont été perdus suite à des problèmes de transport (blocage de colis, perte de contenu) ou problème de conservation des échantillons :

- ainsi 4 échantillons d'eau marine au lieu de 6 ont été transmis pour analyse au LBCM ;
- le colis contenant les DGT des sites méditerranéens est arrivé vide au laboratoire d'analyse ;
- suite à une panne de la chambre froide du LBCO, les membranes silicones acquises ont été inutilisables. Le LBCO devait rechercher 5 substances sur ces membranes : PBDE, pesticides cyclodiènes, DDT total, endosulfan et HCH.

Enfin, en cours d'étude, le laboratoire A a fait l'objet d'une procédure de redressement judiciaire, il n'a pas été en mesure de faire l'ensemble des analyses sur lesquelles il s'était engagé (analyses en HRMS). Les échantillons restants ont été récupérés, malheureusement peu ont pu être re-analysés par le Laberca.

En 2018, les échantillons de mollusques ont été transmis au Laberca pour analyses. Du fait du protocole, certains échantillons mollusques 2017 (Concentration Initiale et Prélèvement n°3) fournis au LBCO), ont été transmis au Laberca pour analyses (analyse par le LABERCA et le LEAV).

Ainsi, compte tenu de ces éléments, les laboratoires d'analyses intervenants pour les différentes matrices /supports/ fraction sont précisées tableau 3.

Tableau 3 : Bilan des prélèvements et des échantillons exploitables.

Les éventuelles différences par rapport aux prélèvements programmés sont précisées en police orange.

Nombre de prélèvements par point de suivi et par matrice et laboratoire d'analyse	Antifer (2017)	Thau (2017)	Lazaret (2017)	Antifer (2018)	Saumonard (2018)	Le Croisic (2018)	Sillon des Anglais (2018)
Eau Laboratoire A	3	3	3	3	3	3	-
Eau via SBSE Cedre – (substances organiques)	3	3	3	3	3	3	2
Eau - (composés métalliques) LBCM ou Monitool (IPMA)		1 <i>(3 attendus)</i>	3	2	2	2	2
Mollusques Laboratoire A <i>Résultats à utiliser avec précaution</i>	3 ME* 1 MS	3 ME 1 MS 3 HE	3 ME 1 MS 3 HE				
Mollusques Laberca - (substances organiques) LBCM - (composés métalliques)	Echantillons exploitables, <i>a minima</i> : 2 ME 1MS	Echantillons exploitables, <i>a minima</i> : 2 ME 1MS 2 HE	Echantillons exploitables, <i>a minima</i> : 2 ME 1MS 2 HE	3 ME 1 MS	3 MS	3 ME	1 MS
Echantillonneurs passifs	DGT <i>Plus de membrane silicone</i>	<i>Plus de DGT ni de membrane silicone</i>	<i>Plus de DGT ni de membrane silicone</i>	DGT	DGT	DGT	DGT

* ME : moules engagées ; MS : moules sauvages ou d'élevage ; HE : huîtres engagées

Tableau 4 : Laboratoires d'analyses par substance – programmation

N° CAS	Substance Matrice / fraction / support	Laboratoire A		Laberca - LEAV	Cedre		LBCM	
		eau brute	eau filtrée (0,45 µm)	moules - huître	eau brute	eau filtrée (0,45 µm)	moules - huître	DGT
120-12-7	Anthracène	X	X	X	X	X		
32534-81-9	Diphényléthers bromés	X	X					
7440-43-9	Cadmium et ses composés		X	X			X	X
85535-84-8	Chloroalcanes, C10-13							
470-90-6	Chlorfenvinphos	X	X	X	X	X		
2921-88-2	Chlorpyrifos	X	X	X	X	X		
X	Pesticides cyclodiennes	X	X	X	X	X		
X	DDT total	X	X	X	X	X		
117-81-7	DEHP	X	X	X	X	X		
115-29-7	Endosulfan	X	X	X				
608-73-1	Hexachlorocyclohexane	X	X	X	X	X		
7439-92-1	Plomb et ses composés		X	X			X	X
91-20-3	Naphtalène	X	X	X	X	X		
7440-02-0	Nickel		X	X			X	X
84852-15-3	Nonylphénols	X	X	X	X	X		
140-66-9	Octylphénols	X	X	X	X	X		
608-93-5	Pentachlorobenzène	X	X	X	X	X		
87-86-5	Pentachlorophénol	X	X	X	X	X		
36643-28-4	Composés du TBT (tributylétain-cation)			x	x	x		
12002-48-1	Trichlorobenzène	X	X	X				
1582-09-8	Trifluraline	X	X	X	X	X		
124495-18-7	Quinoxifène	X	X	X	X	X		
74070-46-5	Aclonifène	X	X	X	X	X		
42576-02-3	Bifénox	X	X	X	X	X		
28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	X	X	X	X	X		
52315-07-8	Cypermethrine	X	X	X	X	X		
886-50-0	Terbutryne	X	X	X				

2. Résultats

Les résultats sont présentés ci-après par contaminant métallique puis substance organique (classées par ordre croissant de n° DCE).

2.1. Contaminants métalliques

Les analyses sur les mollusques ont été faites par le LBCM, à défaut, les résultats acquis par le Laboratoire A sont indiqués. Le LBCM a réalisé le traitement des DGT.

Pour les analyses réalisées sur la fraction eau filtrée, le Laboratoire A a rendu en grande majorité des résultats non quantifiés :

- Pb : $< 1 \mu\text{g.L}^{-1}$; sauf 2 résultats à Saumonard P1 : $1,1 \mu\text{g.L}^{-1}$; Antifer P3 (2018) : $1,3 \mu\text{g.L}^{-1}$
- Ni : $< 1 \mu\text{g.L}^{-1}$; sauf 2 résultats acquis à Antifer en 2017 (P1 : $1,7$; P2 : $3,1 \mu\text{g.L}^{-1}$) ;
- Cd : $< 0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, sauf 2 résultats acquis à Antifer en 2017 (P2 : $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$) et Lazaret (P2 : $0,2 \mu\text{g.L}^{-1}$)

Pour le Cd et le Pb, la performance en termes de sensibilité (LQ) ne permet pas d'atteindre le tiers de la NQE comme attendu (20), de plus les quelques résultats quantifiés apparaissent douteux. C'est pourquoi les résultats acquis par Laboratoire A sur l'eau marine ne seront pas retenus dans la suite du document.

Les échantillons analysés par le LBCM (échantillons de Méditerranée) en 2017, et par l'IPMA en 2018, en lien avec Monitool sont disponibles pour les échantillonnages réalisés en P2 et P3.

Présentation des résultats de concentration en métaux dans les mollusques et l'eau :

Pour chaque substance, les résultats de concentrations sont présentés dans un tableau (n°5,8 et 11) et une figure (n°3, 4 et 5).

Le tableau présente pour chaque point de suivi les résultats acquis sur les échantillons de mollusques à chaque prélèvement : CI (concentration initiale), et à chacun des 3 prélèvements (P1, P2, P3) sur moules encagées (ME) ou huîtres encagées (HE). Lors du P3, lorsque c'était possible des moules sauvages ou d'élevages (MS) présentes sur site ont également été prélevées et analysées. A chaque prélèvement, il était prévu la réalisation d'échantillons de mollusques en triplicat, que ce soit pour les moules encagées ou les moules sauvages (ou d'élevage). Le tableau et la figure présentent la moyenne des concentrations par prélèvement et l'écart type.

Lors de chaque prélèvement (P1, P2, P3) des échantillons d'eau étaient prélevés pour analyse. Les résultats et les moyennes des résultats disponibles sur eau filtrée (pour les ETM) sont présentés. Lors du P3, les DGT étaient récupérés pour analyses (immergés entre P2 et P3).

Calcul des BAF :

Pour chaque substance, un tableau (n°6, 9 et 12) présente les ratios de concentration entre $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{DGT}}$ et $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{eau filtrée}}$ par échantillon et par point de suivi. Le BAF est calculé en prenant en compte les résultats lorsque l'état d'équilibre est considéré comme atteint pour les moules encagées ou pour les huîtres encagées. Il est considéré comme atteint pour les moules sauvages ou les moules d'élevage (présentes sur site depuis au moins 6 mois).

- Comme souligné précédemment, pour les mesures de concentration des métaux dans l'eau (mesure dans l'eau filtrée à 0,45µm ou mesure par DGT), seuls les résultats acquis par des laboratoires experts sont indiqués : LBCM (Ifremer), IPMA (dans le cadre du Projet Européen Monitool).
- Pour le calcul de BAF, nous considérons les concentrations lorsque l'état d'équilibre est atteint, les mesures de concentrations dans l'eau étant disponibles à P2 et P3, les BAF sont calculés par point comme moyenne des ratios P2 et P3. Si l'état d'équilibre n'est pas atteint, soit le BAF n'est pas déterminé, soit, si l'état d'équilibre est considéré comme proche, il est déterminé sur le P3 (considéré comme la plus proche de l'équilibre).
- Compte tenu des différences existantes entre la fraction dissoute mesurée sur l'eau filtrée et la fraction labile mesurée par DGT, un BAF est calculé pour la fraction dissoute (eau filtrée) et un BAF_{DGT} est calculé en se basant sur les données mesurées par DGT.
- Un tableau synthétique présente ensuite les BAF mesurés (n°6, 9 et 12) en lien avec la façade considérée (Manche Mer du Nord (MMN), Golfe de Gascogne (GdG) d'une part et Méditerranée d'autre part) compte tenu des contextes environnementaux différents mais également de taxons différents (*Mytilus galloprovincialis* en Méditerranée et *Mytilus edulis* plus généralement rencontrées sur les façades MMN et GdG). Les caractéristiques sont ainsi présentées : intervalle min-max, moyenne géométrique et médiane en différenciant MMN / GdG et Méditerranée et les mollusques considérés : moules encagées (ME) ou sauvages (MS), des huîtres (HE), et les moyennes géométriques et médianes au niveau national.

• Cadmium et ses composés - n° DCE : 6

Les résultats sont présentés dans le tableau 5. La figure 3 permet de visualiser les résultats mollusques pour les différents points et les différents prélèvements.

Plusieurs aspects intéressants sont mis en évidence au niveau de ce graphique :

- Pour le cadmium, une très bonne reproductibilité des résultats sur les répliqués d'échantillons est observée que ce soit sur les moules encagées, les moules sauvages ou d'élevage ou les huîtres encagées.
- La concentration initiale (CI) mesurée avant exposition des moules ou huîtres dans le milieu marin est en deçà ou proche des concentrations mesurées dans le milieu après environ 3 mois d'exposition, à l'exception du Lazaret pour les moules.

- **Atteinte de l'état d'équilibre :**

Les 3 prélèvements consécutifs avaient pour objectif d'apprécier si un niveau d'équilibre était atteint entre les mollusques et leur environnement, prérequis pour calculer le BAF de la substance étudiée. Globalement cet état d'équilibre est observé pour les points suivants : Antifer 2018, Saumonard, Etang de Thau (ME et HE), Lazaret (ME) et entre P2 et P3 pour Antifer 2017, Le Croisic.

Pour le calcul de BAF, nous considérerons les concentrations lorsque l'état d'équilibre est atteint.

En Méditerranée une baisse des concentrations est observée pour les HE au point Lazaret, l'évolution n'est toutefois pas très marquée, on considérera le P3 comme plus proche de l'état d'équilibre. Pour le Lazaret, on peut souligner que la concentration tend à diminuer entre la CI et les concentrations mesurées lors des prélèvements P1 à P3.

- **Comparaison des concentrations mesurées dans les moules sauvages (MS) et les moules encagées (ME).** Quatre points de suivi disposent de résultats simultanés acquis lors du P3 sur les moules encagées et les moules sauvages (ou d'élevage) : Antifer en 2017 et 2018, Thau et Lazaret.
- Les moules encagées correspondent à des taxons différents en accord avec les espèces naturellement présentes localement : *Mytilus galloprovincialis* en Méditerranée et *Mytilus edulis* à Antifer.
- La concentration mesurée dans les moules sauvages (ou d'élevage) est supérieure à celle mesurée dans les moules encagées ($[Cd]_{MS} > [Cd]_{ME}$) à Antifer en 2017 et 2018, alors que la situation inverse est observée en Méditerranée : concentration dans les moules encagées significativement supérieure à celle mesurées dans les moules sauvages ou d'élevage ($[Cd]_{ME} > [Cd]_{MS}$) (Thau et Lazaret). Une différence significative entre les concentrations mesurées sur moules encagées et sur moules sauvages est mise en évidence.
- **Comparaison des concentrations mesurées dans les moules encagées (ME) et les huîtres encagées (HE).** En Méditerranée, des huîtres ont également été immergées dans les mêmes conditions que les moules. Qu'il s'agisse de Thau ou du Lazaret, les moules et les huîtres encagées sont issues du même lot initial et ont été préparées de façon similaire par le LER LR. Les huîtres et les moules ont été exposées de la même façon respectivement à Thau et au Lazaret. Sur Thau, aucune différence de concentration n'est observée entre les moules et les huîtres, alors qu'une différence est observée au Lazaret avec des huîtres (encagées) présentant des concentrations plus élevées que les moules encagées.

Tableau 5 : Cadmium : Résultats par point de suivi des concentrations mesurées sur mollusques, DGT et eau filtrée (en police orange italique : résultats acquis par sous-traitance laboratoire A).

Point de suivi	Cadmium - Mollusque				Cadmium - Eau	
	Echantillon	C _{mollusque} (ng·kg ⁻¹ p.h.)	C _{mollusque moyenne} (ng·kg ⁻¹ p.h.)	Ecart-type entre prélèvement	C _{DGT} (ng·L ⁻¹)	C _{Eau filtrée} (ng·L ⁻¹)
Antifer 2017	CI ME	110591	-	-	17	
	P1 ME	<i>114029</i>	125973	13431		
	P2 ME	<i>124602</i>				
	P3 ME	140700				
	P3 MS	183488				
Antifer 2018	CI ME	160190	-	-	15	19
	P1 ME	183933	188805	5980		
	P2 ME	187153				
	P3 ME	195518				
	P3 MS	313189				
Sillon-des-Anglais (SdA)	P3 MS	287437	-	-	35	20
Le Croisic	CI ME	87500	87500	-	14	11
	P1 ME	129200	142133	11676		
	P2 ME	151200				
	P3 ME	146983				
Saumonard	CI MS	90000	-	-	17	11
	P1 MS	114039	118627	4265		
	P2 MS	119567				
	P3 MS	122428				
Etang-de-Thau	CI ME	167720	167720	-	7	
	P1 ME	<i>160268</i>	167872	6728		
	P2 ME	<i>170884</i>				
	P3 ME	172736				
	P3 MS	110304	110304	-		
	CI HE	163400	-	-		
	P1 HE	<i>168946</i>	172164	4354		
	P2 HE	<i>177146</i>				
P3 HE	170508					
Lazaret	CI ME	167720	167720	-	10	
	P1 ME	<i>114800</i>	119234	4206		
	P2 ME	<i>123142</i>				
	P3 ME	119909				
	P3 MS	102500	-	-		
	CI HE	163400	-	-		
	P1 HE	<i>171453</i>	161350	12134		
	P2 HE	<i>165443</i>				
P3 HE	148086					

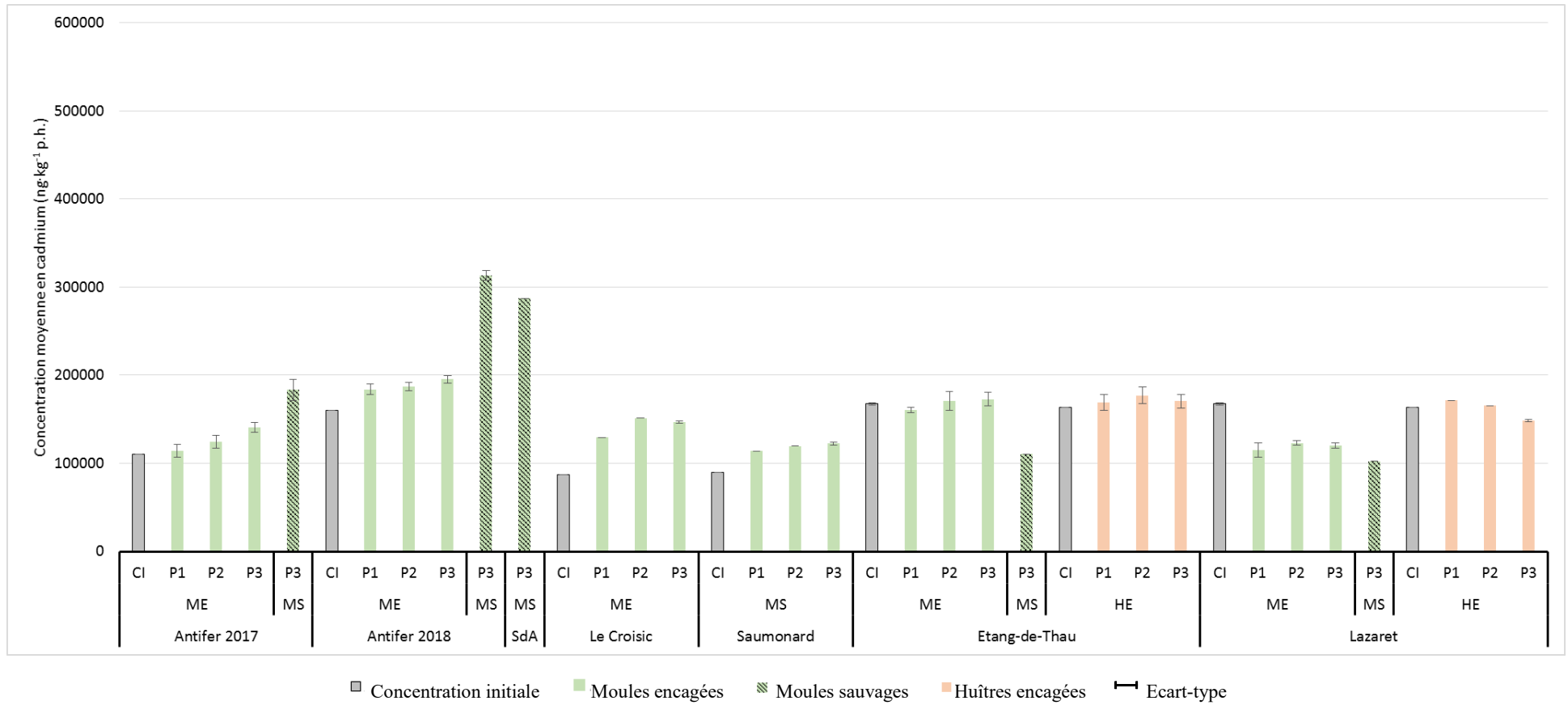


Figure 3 : Cadmium : Concentrations moyennes et écart-type mesurés dans les mollusques par prélèvement (triplicat d'échantillons)

Calcul des BAF :

Le tableau 6 présente les ratios de concentration entre $C_{mollusque} / C_{DGT}$ et $C_{mollusque} / C_{eau filtrée}$ par échantillon et par point de suivi. Des BAF peuvent être mesurés sur chaque site.

Le tableau 7 décrit les caractéristiques des BAF.

Un BAF minimum est défini à $9\,852\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$, il est obtenu sur les moules encagées sur MMN-GdG, un BAF très proche est obtenu sur les moules sauvages (ou d'élevage) en Méditerranée ($9990\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$). Réciproquement, les BAF minimum définis sur moules sauvages (ou d'élevage) en GdG-MMN et moules encagées en Méditerranée sont très proches (respectivement $11\,169$ et $11\,844\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$). La moyenne BAF de l'ensemble des sites est très proche que l'on considère les moules encagées ou les moules sauvages (ou d'élevage) (respectivement $13\,245$ et $13\,891\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$).

La moyenne géométrique des valeurs BAF moules basée sur 9 résultats s'établit à **$13\,528\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$**

Le BAF mesuré sur huîtres encagées est plus élevé que la moyenne des BAF moules (MS et ME) ($18\,931\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$), néanmoins quand on compare au niveau des deux points concernés, les BAF HE et ME sont proches à Thau (respectivement $24\,828$ et $24\,544$) et le BAF HE est légèrement supérieur au BAF ME Lazaret ($14\,434$ et $11\,844\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$).

Le BAF moules mesuré via DGT est plus bas que le BAF mesuré sur eau filtrée (moyenne : $10\,557\text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.h.}$, $n=7$).

Tableau 6 : Cadmium: Calcul des ratios : $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{DGT}}$ et $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{eau filtrée}}$ et BAF correspondant.

Point de suivi	Echantillon	Cadmium - BAF			
		$C_{\text{mollusque}} / C_{\text{DGT}}$ (L·kg ⁻¹ p.h.)	BAF _{DGT} (L·kg ⁻¹ p.h.)	$C_{\text{mollusque}} / C_{\text{Eau filtrée}}$ (L·kg ⁻¹ p.h.)	BAF _{Eau filtrée} (L·kg ⁻¹ p.h.)
Antifer 2017	P2 ME	7330	7789		
	P3 ME	8276			
	P3 MS	10793	10793		
Antifer 2018	P2 ME	12477	12753	9638	9852
	P3 ME	13035		10069	
	P3 MS	20879	20879	16129	16129
Sillon-des-Anglais	P3 MS	8307	8307	14373	14373
Le Croisic	P2 ME	11200	11043	13186	13001
	P3 ME	10888		12818	
Saumonard	P2 MS	7033	7117	11038	11169
	P3 MS	7202		11302	
Etang-de-Thau	P2 ME			24412	24544
	P3 ME			24677	
	P3 MS			15758	15758
	P2 HE			25307	24828
	P3 HE			24358	
Lazaret	P2 ME			12002	11844
	P3 ME			11687	
	P3 MS			9990	9990
	P2 HE			16125	14434
	P3 HE			14434	

Tableau 7 : Cadmium - BAF mesurés (eau filtrée et DGT) par façade et taxons : intervalle min / max, moyenne géométrique et médiane des BAF obtenus par taxon.

BAF - [Eau filtrée]	Manche Mer du Nord - Golfe de Gascogne - BAF [min. – max.] L.kg ⁻¹ p.h.	Méditerranée BAF [min. – max.] L.kg ⁻¹ p.h.	Moyenne géo. L.kg ⁻¹ p.h.	Médiane L.kg ⁻¹ p.h.
Moules engagées (ME)	[9852-13001]	[11844-24544]	13891 (n=4)	12422 (n=4)
Moules sauvages (MS)	[11169-14373]	[9990-15758]	13245 (n=5)	14373 (n=5)
Huîtres engagées (HE)		[14434 - 24828]	18931 (n=2)	19631 (n=2)
ME et MS			13528 (n=9)	13001 (n=9)
BAF_{DGT}				
Moules engagées	[7789-12753]	-	10313 (n=3)	11043 (n=3)
Moules sauvages	[7117-20879]	-	10744 (n=4)	9550 (n=4)
Huîtres engagées		-		
ME et MS		-	10557 (n=7)	10793 (n=7)

- **Nickel et ses composés - n° DCE : 23**

Les résultats sont présentés tableau 8. La figure 4 permet de visualiser les résultats mollusques pour les différents points et les différents prélèvements. Plusieurs aspects intéressants sont mis en évidence au niveau de ce graphique :

- Pour le nickel, une très bonne reproductibilité des résultats entre les répliqués d'échantillons est observée hormis sur le prélèvement P3 Antifer 2017. On notera également une concentration initiale (CI) élevée des moules encagées immergées sur Antifer en 2017.
- **Atteinte de l'état d'équilibre** : les 3 prélèvements consécutifs permettent d'apprécier si un état d'équilibre est atteint entre les moules encagées et leur environnement. A noter que les analyses 2017 (Antifer 2017, Lazaret et Thau) ayant été faites par deux laboratoires (P1, P2, P3 par Laboratoire A et P3 par Laberca), nous privilégions les résultats fournis par le Laberca en P3 pour déterminer le BAF, permettant d'avoir des résultats comparables avec les autres sites. Pour les autres points, l'état d'équilibre est observé pour : Antifer 2018 et Saumonard. Il semble atteint pour Le Croisic entre deux prélèvements : P2 et P3.

Les moules sauvages sont considérées comme étant en équilibre avec leur environnement.

- **Comparaison des concentrations mesurées dans les moules sauvages (MS) et les moules encagées (ME)**. Lors du P3, des prélèvements ont été réalisés en simultanée sur les ME et les MS. Suivant les points et / ou l'année considérée, des différences de concentration mesurée pour le nickel sont observées entre MS et ME.
 - o La concentration en nickel mesurée dans les moules sauvages (ou d'élevage) est supérieure à celle mesurée dans les moules encagées à Antifer 2018 alors que l'inverse est observé à Antifer 2017 ($[\text{Ni}] \text{ ME} > [\text{Ni}] \text{ MS}$). En parallèle, on observe une relative stabilité des concentrations mesurées dans les moules sauvages en 2017 et 2018 à Antifer. Il n'est pas à exclure le fait que la concentration initiale particulièrement élevée en Ni des moules encagées en 2017 impacte ce niveau de concentration même après quelques mois d'exposition à Antifer. Le temps nécessaire pour être en équilibre avec le milieu n'est pas le même lorsqu'on part d'une concentration élevée ou d'une concentration basse. D'où l'importance pour l'exposition de moules encagées, de disposer de lots de moules issus de site de référence ou élevés en bassin d'eau de mer propre.
 - o Les différences observées entre moules encagées et moules sauvages (ou d'élevage) à Thau et Lazaret sont bien moins marquées (avec une concentration $[\text{Ni}] \text{ ME}$ légèrement supérieure à $[\text{Ni}] \text{ MS}$).
- **Comparaison des concentrations mesurées dans les moules encagées (ME) et les huîtres encagées (HE)**. Avec une exposition similaire, on note un profil d'évolution similaire des concentrations entre les ME et les HE à Thau et une concentration des HE qui reste en deçà des concentrations mesurées dans les ME (Thau et Lazaret).

Tableau 8 : Nickel : Résultats par point de suivi des concentrations mesurées sur mollusques, DGT et eau filtrée (en police orange italique : résultats acquis par sous-traitance laboratoire A).

Point de suivi	Nickel - Mollusque				Nickel - Eau	
	Echantillon	C _{mollusque} (ng·kg ⁻¹ p.h.)	C _{mollusque moyenne} (ng·kg ⁻¹ p.h.)	Ecart-type	C _{DGT} (ng·L ⁻¹)	C _{Eau filtrée} (ng·L ⁻¹)
Antifer 2017	CI ME	826000	-	-	297	
	P1 ME	<i>159333</i>				
	P2 ME	<i>180667</i>				
	P3 ME	514333	514333			
	P3 MS	378600	378600	-		
Antifer 2018	CI ME	234000	-	-	335	398
	P1 ME	255000				
	P2 ME	277000				
	P3 ME	289000	289000			
	P3 MS	360000	360000	-		
Sillon-des-Anglais (SdA)	P3 MS	378000	-	-	611	367
Le Croisic	CI ME	525000	-	-	327	283
	P1 ME	391000	457525	60715		
	P2 ME	486000				
	P3 ME	504000				
Saumonard	CI MS	460000	-	-	386	179
	P1 MS	433000	424289	7572		
	P2 MS	421000				
	P3 MS	419000				
Etang-de-Thau	CI ME	345667	345667	-		270
	P1 ME	<i>149333</i>				
	P2 ME	<i>187000</i>				
	P3 ME	242667	242667			
	P3 MS	211500	211500	-		
	CI HE	91200	91200			
	P1 HE	<i>50667</i>				
	P2 HE	<i>96000</i>				
Lazaret	P3 HE	136467				240
	CI ME	345667	345667	-		
	P1 ME	<i>108000</i>				
	P2 ME	<i>122000</i>				
	P3 ME	194400	194400			
	P3 MS	170000	170000	-		
	CI HE	91200	91200	-		
	P1 HE	<i>65500</i>				
P2 HE	<i>51000</i>					
P3 HE	103233	103233			240	

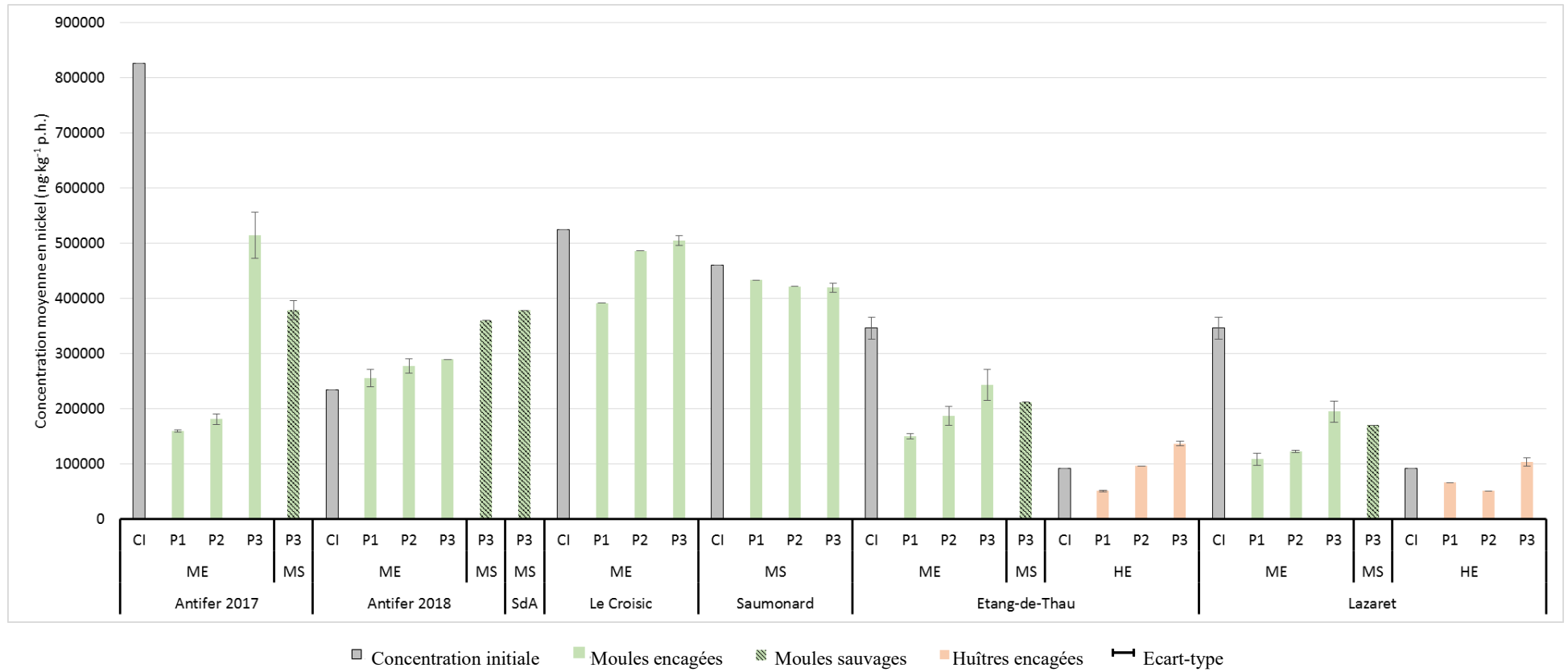


Figure 4 : Nickel : Concentrations moyennes mesurées dans les mollusques aux points de suivi

Calcul des BAF :

Le tableau 9 présente les ratios de concentration entre $C_{mollusque} / C_{DGT}$ et $C_{mollusque} / C_{eau filtrée}$ par échantillon et par point de suivi, et le tableau 10 permet de décrire les BAF obtenus en lien avec différents critères : façade considérée (Manche Mer du Nord (MMN) & Golfe de Gascogne (GdG) et Méditerranée) compte tenu de contextes environnementaux différents mais également de taxons différents, *Mytilus galloprovincialis* en Méditerranée et *Mytilus edulis* plus généralement rencontrées sur les façades MMN et GdG.

Le BAF varie suivant les sites considérés. Pour l'ensemble des points considérés, la moyenne géométrique des BAF sur les moules encagées apparaît légèrement inférieure au BAF sur les moules sauvages (ou d'élevage) (972 vs 1 040 L.kg⁻¹ p.h.). La moyenne BAF (MS et ME) s'établit à 1 009 L.kg⁻¹ p.h. basé sur 9 données acquises dans cet objectif.

En Méditerranée, pour un échantillonnage simultané ME, MS et HE, le BAF HE est le plus bas mesuré puis le BAF MS puis le BAF ME. Pour le Nickel, le BAF huîtres encagées (430 et 505 L.kg⁻¹ p.h.) permet d'aboutir à une VGE mollusque plus basse qu'en utilisant le BAF MS ou ME.

Tableau 9 : Nickel: Calcul des ratios : $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{DGT}}$ et $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{eau filtrée}}$ et BAF correspondant.

Point de suivi	Echantillon	Nickel - BAF			
		$C_{\text{mollusque}} / C_{\text{DGT}}$ (L·kg ⁻¹ p.h.)	BAF _{DGT} (L·kg ⁻¹ p.h.)	$C_{\text{mollusque}} / C_{\text{Eau filtrée}}$ (L·kg ⁻¹ p.h.)	BAF _{Eau filtrée} (L·kg ⁻¹ p.h.)
Antifer 2017	P3 ME	1734	1734		
	P3 MS	1276	1276		
Antifer 2018	P2 ME	828	845	696	711
	P3 ME	863		727	
	P3 MS	1076	1076	905	905
Sillon-des-Anglais	P3 MS	617	617	1030	1030
Le Croisic	P2 ME	1487	1514	1715	1746
	P3 ME	1542		1778	
Saumonard	P2 MS	1090	1087	2356	2350
	P3 MS	1084		2344	
Etang-de-Thau	P3 ME			899	899
	P3 MS			783	783
	P3 HE			505	505
Lazaret	P3 ME			810	810
	P3 MS			708	708
	P3 HE			430	430

Tableau 10 : Nickel - Description des BAF (eau filtrée et DGT) par façade : intervalle min / max, moyenne géométrique et médiane des BAF obtenus par point de suivi.

BAF - [Eau filtrée]	Manche Mer du Nord - Golfe de Gascogne - BAF [min. – max.] L.kg ⁻¹ p.h.	Méditerranée BAF [min. – max.] L.kg ⁻¹ p.h.	Moyenne géo. L.kg ⁻¹ p.h.	Médiane L.kg ⁻¹ p.h.
Moules engagées	[711-1746]	[810-899]	972 (n=4)	850 (n=4)
Moules sauvages	[905-2350]	[708-783]	1040 (n=5)	905 (n=5)
Huîtres engagées	-	[430-505]	466 (n=2)	468 (n=2)
ME et MS			1009 (n=9)	889 (n=9)
BAF_{DGT}				
Moules engagées	[845-1514]	-	1304 (n=3)	1514 (n=3)
Moules sauvages	[617-1276]	-	980 (n=4)	1081 (n=4)
Huîtres engagées	-	-	-	-
ME et MS			1108 (n=7)	1087 (n=7)

- **Plomb et ses composés - n° DCE : 20**

Les résultats sont présentés tableau 11. La figure 5 permet de visualiser les résultats des mollusques pour les différents points et les différents prélèvements.

D'un point de vue général :

- La concentration mesurée à Sillon des Anglais (SdA) est bien supérieure aux concentrations mesurées sur les autres points de suivi. Le résultat ($2\,790\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\ \text{p.h}$) dépasse le seuil sanitaire défini : $1\,500\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\ \text{p.h}$ (21).
- **Comparaison des concentrations mesurées entre moules sauvages (MS) et moules encagées (ME).** Une différence de concentration mesurée pour le plomb est observée entre moules sauvages (ou d'élevage) et moules encagées.
 - o La concentration en Pb mesurée dans les moules sauvages est supérieure à celle mesurée dans les moules encagées à Antifer 2017 et 2018, et Lazaret.
 - o L'inverse est observé à Thau, toutefois, la concentration mesurée en plomb y est faible.
- **Comparaison des concentrations mesurées dans les moules encagées (ME) et les huîtres encagées (HE).** Avec une exposition similaire, la [Pb] mesurée dans les huîtres est inférieure à celle mesurée dans les moules.

Une très bonne reproductibilité des résultats entre les répliqués d'échantillons est observée hormis sur le prélèvement P1 Lazaret pour les ME. La concentration initiale est inférieure aux concentrations mesurées.

- **Atteinte de l'équilibre :**

Les 3 prélèvements consécutifs permettent d'apprécier si un état d'équilibre est atteint entre les moules encagées et leur environnement. Globalement cet état d'équilibre est observé pour : Antifer 2018, Etang de Thau. Il semble atteint entre P2 et P3 pour Antifer 2017, Le Croisic, Saumonard, Lazaret.

Pour les huîtres, on considèrera le résultat du P3 comme étant le plus proche de l'équilibre à Thau et P2 et P3 pour le Lazaret.

Tableau 11 : Plomb : Résultats par point de suivi des concentrations mesurées sur mollusques, DGT et eau filtrée (en police orange italique : résultats acquis par sous-traitance laboratoire A).

Point de suivi	Plomb - Mollusque				Plomb - Eau	
	Echantillon	C _{mollusque} (ng·kg ⁻¹ p.h.)	C _{mollusque} moyenne (ng·kg ⁻¹ p.h.)	Ecart-type (ng·kg-1 p.h.)	C _{DGT} (ng·L ⁻¹)	C _{Eau filtrée} (ng·L ⁻¹)
Antifer 2017	CI ME	200200	-	-	17	
	P1 ME	<i>192000</i>				
	P2 ME	<i>245667</i>				
	P3 ME	310000	310000			
	P3 MS	511600	511600	79516		
Antifer 2018	CI ME	235800	-	-	44	474
	P1 ME	300000	301557	20075		
	P2 ME	283000				
	P3 ME	323000				
	P3 MS	646667	646667	251661		
SdA	P3 MS	2790000	-	-	238	335
Le Croisic	CI ME	177500	-	-	67	85
	P1 ME	255000	337829	83516		
	P2 ME	360000				
	P3 ME	420000				
Saumonard	CI MS	220000	-	-	93	
	P1 MS	313500	280503	27841		
	P2 MS	264000				
	P3 MS	266667				
Etang-de-Thau	CI ME	214888	214888	2780		32
	P1 ME	<i>149333</i>				
	P2 ME	<i>102000</i>				
	P3 ME	149553	149553			
	P3 MS	82152	82152	-		
	CI HE	114000	-	-		32
	P1 HE	<i>103667</i>				
	P2 HE	<i>48000</i>				
P3 HE	65971	65971				
Lazaret	CI ME	214888	214888	2780		146
	P1 ME	<i>893000</i>				
	P2 ME	<i>744000</i>				
	P3 ME	763333	763333			
	P3 MS	1050000	-	-		
	CI HE	114000	1050000	-		146
	P1 HE	<i>378000</i>				
	P2 HE	<i>445500</i>				
P3 HE	506000	506000				

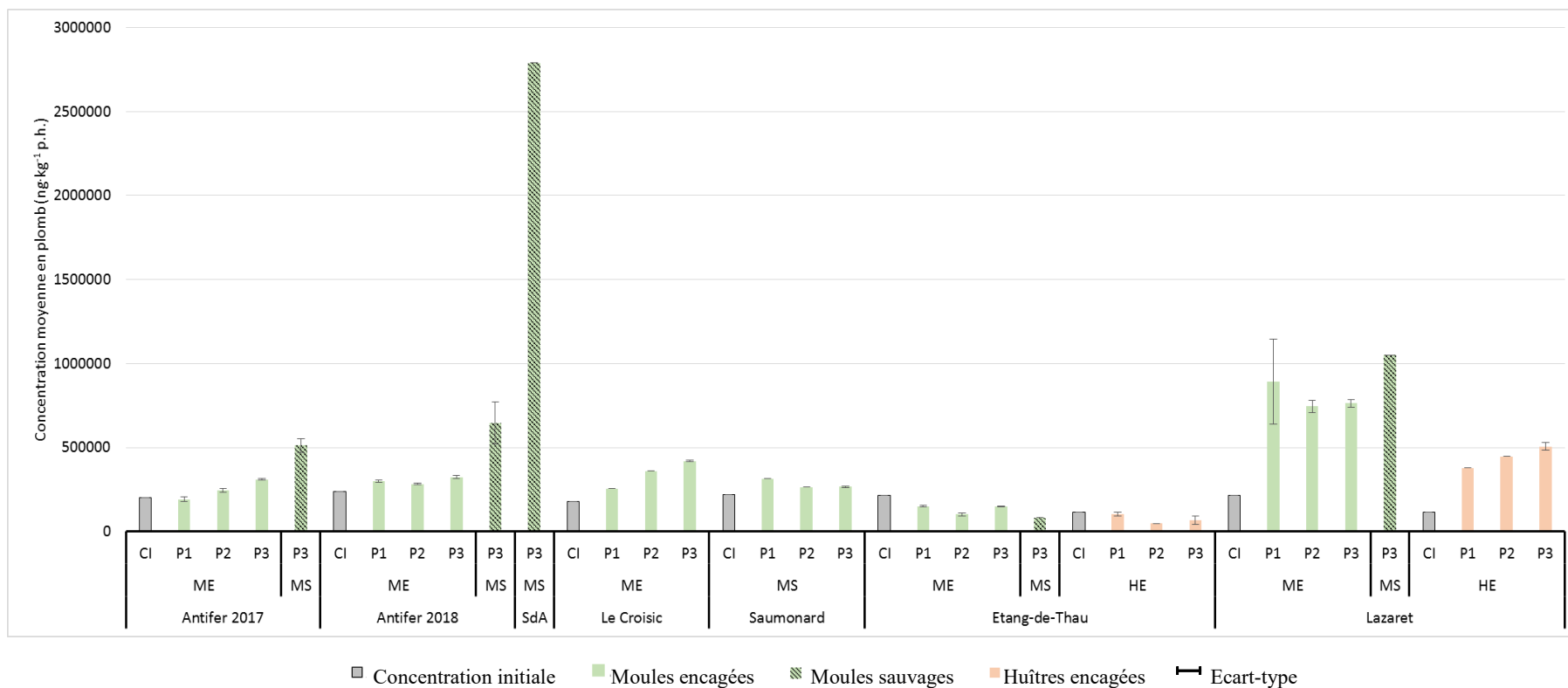


Figure 5 : Plomb : Concentrations moyennes mesurées dans les mollusques par point de suivi et par prélèvement

Calcul des BAF :

- Le tableau 12 présente les ratios de concentration entre $C_{mollusque} / C_{DGT}$ et $C_{mollusque} / C_{eau\ filtrée}$ par échantillon et par point de suivi, les BAF par point de suivi. Le tableau 13 permet de décrire les caractéristiques des BAF mesurés.
- Pour les sites échantillonnés simultanément sur les moules encagées et sur les moules sauvages, la concentration mesurée étant plus élevée dans les moules sauvages que dans les moules encagées (Antifer 2017, Antifer 2018, Lazaret), le BAF sera ainsi plus bas pour les moules encagées que pour les moules sauvages. Pour Thau, le phénomène inverse est observé mais les niveaux de concentration sont plus bas. En Méditerranée, les BAF huîtres encagées sont plus bas que les BAF sur les moules sauvages ou encagées.
- Au niveau national, sur la base des résultats disponibles, le BAF le plus bas est obtenu sur les moules encagées avec **638 L.kg⁻¹ p.h.**. Les moyennes géométriques des BAF pour les ME et pour les MS sont proches (respectivement 2 907 et 3 805 L.kg⁻¹ p.h.). La moyenne géométrique des BAF des ME et des MS combinés s'établit à 3 326 L.kg⁻¹ p.h..
- La concentration dans l'eau mesurée par DGT est la fraction labile, celle qui se rapproche le plus de la fraction biodisponible et de la fraction libre dissoute. Elle est plus basse que la concentration mesurée dans la fraction totale dissoute (eau filtrée), ce qui impacte directement le BAF, qui est de fait bien supérieur au BAF déterminé sur eau filtrée.

Tableau 12 : Plomb: Calcul des ratios : $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{DGT}}$ et $C_{\text{mollusque}} / C_{\text{eau filtrée}}$ et BAF correspondant.

Point de suivi	Echantillon	Plomb - BAF			
		$C_{\text{mollusque}} / C_{\text{DGT}}$ (L·kg ⁻¹ p.h.)	BAF _{DGT} (L·kg ⁻¹ p.h.)	$C_{\text{mollusque}} / C_{\text{Eau filtrée}}$ (L·kg ⁻¹ p.h.)	BAF _{Eau filtrée} (L·kg ⁻¹ p.h.)
Antifer 2017	P2 ME	14119			
	P3 ME	17816	17816		
	P3 MS	29402	29402		
Antifer 2018	P2 ME	6388	6825	597	638
	P3 ME	7291		682	
	P3 MS	14597	14597	1365	1365
Sillon-des-Anglais	P3 MS	11723	9313	8340	8340
Le Croisic	P2 ME	5365	5795	4248	4588
	P3 ME	6259		4956	
Saumonard	P2 MS	2839	2853		
	P3 MS	1084			
Etang-de-Thau	P2 ME			3188	
	P3 ME			4674	4674
	P3 MS			2567	2567
	P2 HE			1500	
	P3 HE			2062	2062
Lazaret	P2 ME			5084	
	P3 ME			5217	5217
	P3 MS			7176	7176
	P2 HE			3051	
	P3 HE			3466	3466

Tableau 13 : Plomb - Description des BAF (eau filtrée et DGT) par façade : intervalle min / max, moyenne géométrique et médiane des BAF obtenus par taxon.

BAF - [Eau filtrée]	Manche Mer du Nord - Golfe de Gascogne - BAF [min. – max.] L.kg ⁻¹ p.h.	Méditerranée BAF [min. – max.] L.kg ⁻¹ p.h.	Moyenne géo. L.kg ⁻¹ p.h.	Médiane L.kg ⁻¹ p.h.
Moules engagées	[638-4588]	[4674-5217]	2907 (n=4)	4631 (n=4)
Moules sauvages	[1365-8340]	[2567-7176]	3805 (n=4)	4871 (n=4)
Huîtres engagées	-	[2062-3466]	2673 (n=2)	2764 (n=2)
ME et MS			3326 (n=8)	4631 (n=8)
BAF_{DGT}				
Moules engagées	[5795-15860]	-	8899 (n=3)	6825 (n=3)
Moules sauvages	[2853-29402]	-	10334 (n=4)	11955 (n=4)
Huîtres engagées	-	-	-	-
ME et MS			9692 (n=7)	9313 (n=7)

2.2. Contaminants organiques

Comme indiqué précédemment de nombreuses difficultés ont été rencontrées dans la réalisation des analyses concernant les substances organiques, ce qui s'ajoute à la difficulté déjà identifiée de disposer de résultats quantifiés sur la matrice eau marine. Au final, les analyses sur la **matrice eau marine** ont été réalisées par le Laboratoire A, et par le Cedre, en utilisant la SBSE. Les analyses ont été réalisées (sauf exception) en parallèle sur eau brute (EB) et eau filtrée (EF) (0,45µm).

Le **tableau 14** présente pour les 24 substances recherchées, la NQE_{eau marine} fixée pour 22 substances, les performances analytiques des laboratoires dans les échantillons d'eau (Limite de quantification LQ et Limite de détection LD) et indique si cette performance satisfait aux exigences de la Directive 2009/90 (20) ($LQ \leq$ à une valeur de 30 % des NQE).

Au total, 24 substances ont été analysées sur eau marine par **Laboratoire A** :

- pour 10 substances, la performance est satisfaisante au regard de la NQE ($LQ \leq NQE / 3$) : anthracène, chlorfenvinphos, chlorpyrifos, pesticides cyclodiènes, DDT total, naphthalène, nonylphénols, pentachlorophénol, trichlorobenzène, trifluraline,
- pour 1 substance, la performance est $\leq NQE / 2$: hexachlorocyclohexane ;
- pour 11 substances, la performance est insuffisante : chloroalcanes, endosulfan, octylphénols, pentachlorobenzène, TBT, quinoxifène, aclonifène, bifénox, cybutryne, cyperméthrine, terbutryne.
- Pour 2 substances, la LD permet soit d'atteindre une valeur $\leq NQE / 2$, soit d'atteindre une $\leq NQE / 3$: octylphénol, cybutryne.
- 2 substances sont mesurées (pas de NQE_{eau marine} pour ces substances, pour lesquelles une NQE_{biote} est fixée) : PBDE, DEHP.

17 substances ont pu être analysées via SBSE sur eau marine par le **Cedre** :

- pour 11 substances, la performance est satisfaisante au regard de la NQE ($LQ \leq NQE / 3$) : anthracène, chlorfenvinphos, chlorpyrifos, pesticides cyclodiènes, DDT total, hexachlorocyclohexane, naphthalène, nonylphénols, trichlorobenzène, trifluraline, quinoxifène;
- pour 1 substance, la performance est $\leq NQE / 2$: octylphénol (satisfaisant avec la LD),
- pour 4 substances, la performance est insuffisante : endosulfan, pentachlorobenzène, TBT, cyperméthrine.
- les PBDE sont également mesurés (pas de NQE_{eau marine} sur ce groupe de substances).

La performance analytique du Cedre via SBSE est bien supérieure à celle proposée par Laboratoire A.

Les analyses sur les **mollusques** ont été réalisées en 2017 par le Laboratoire A et en 2018 par le Laberca / LEAV. Certains échantillons de 2017 ont pu être partiellement analysés par le LABERCA/LEAV. Le tableau 15 présente pour les substances recherchées, les performances analytiques des laboratoires (LQ en p.s. et correspondance en p.h. en utilisant le taux de MS défini par défaut pour *Mytilus edulis* (19% OSPAR (22)). A titre d'indication, les VGE mollusques (4,5) sont mentionnées.

Tableau 14 : Liste des substances analysées, indication des NQE _{eau marine}, des LQ et LD des analyses dans la matrice eau marine ($\mu\text{g.L}^{-1}$) par laboratoire et de l'atteinte de la performance analytique (20)

N° CAS	Substance	NQE _{eau marine} ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Laboratoire A				CEDRE			
			< LD	< LQ	Performance LD	Performance LQ	LD	LQ	Performance LD	Performance LQ
120-12-7	Anthracène	0,1	-	0,005	-	Satisfaisante	0,0002	0,0005		Satisfaisante
32534-81-9	Diphényléthers bromés		-	0,0001	-		0,0003	0,001		
85535-84-8	Chloroalcanes, C10-13	0,4	1	10		Insuffisante	-	-	-	
470-90-6	Chlorfenvinphos	0,1	0,01	0,02		Satisfaisante	0,0003	0,001		Satisfaisante
2921-88-2	Chlorpyrifos	0,03	0,005	0,01		Satisfaisante	0,0002	0,0005		Satisfaisante
X	Pesticides cyclodiennes	0,005	-	0,001	-	Satisfaisante	0,0003	0,001		Satisfaisante
X	DDT total	0,025	-	0,001	-	Satisfaisante	0,0002	0,0005		Satisfaisante
117-81-7	DEHP		0,1	0,3			-	-	-	
115-29-7	Endosulfan	0,0005	-	0,001	-	Insuffisante	0,0003	0,001		Insuffisante
608-73-1	Hexachlorocyclohexane	0,002	-	0,001	-	LQ =< NQE/2	0,0002	0,0005		Satisfaisante
91-20-3	Naphtalène	2	0,01	0,02		Satisfaisante	0,0015	0,005		Satisfaisante
84852-15-3	Nonylphénols (4-nonylphénol)	0,3	0,05	0,1		Satisfaisante	0,0003	0,001		Satisfaisante
140-66-9	Octylphénols (4-(1,1',3,3'- tétraméthylbutyl)-phénol)	0,01	0,001	0,03	Satisfaisante	Insuffisante	0,0015	0,005		LQ =< NQE/2
608-93-5	Pentachlorobenzène	0,0007	-	0,01	-	Insuffisante	0,0015	0,005		Insuffisante
87-86-5	Pentachlorophénol	0,4	0,005	0,01		Satisfaisante	-	-	-	
36643-28-4	Composés du tributylétain (tributylétain-cation)	0,0002	-	0,002	-	Insuffisante	0,0013	0,004		Insuffisante
12002-48-1	Trichlorobenzène	0,4	0,05	0,1		Satisfaisante	0,0002	0,0005		Satisfaisante
1582-09-8	Trifluraline	0,03	-	0,01	-	Satisfaisante	0,0003	0,001		Satisfaisante
124495-18-7	Quinoxifène	0,015	0,015	0,03		Insuffisante	0,0003	0,001		Satisfaisante
74070-46-5	Aclonifène	0,012	-	0,01	-	Insuffisante	-	-	-	
42576-02-3	Bifénox	0,0012	0,005	0,01		Insuffisante	-	-	-	
28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	0,0025	0,001	0,005	LD =< NQE/2	Insuffisante	-	-	-	
52315-07-8	Cyperméthrine	0,000008	-	0,01	-	Insuffisante	0,0003	0,001		Insuffisante
886-50-0	Terbutryne	0,0065	0,005	0,01		Insuffisante	-	-	-	

Tableau 15 : Substances analysées, performance des laboratoires pour les analyses sur biote (conversion p.s en p.h. (22)) indication des VGE mollusques (4,5).

N° CAS	Substance	VGE ($\mu\text{g.kg}^{-1}\text{p.h.}$)	Labo A	Laberca	LEAV	Labo A	Laberca	LEAV
			LQ ($\mu\text{g.kg}^{-1}\text{ps}$)			LQ ($\mu\text{g.kg}^{-1}\text{p.h.}$)		
120-12-7	Anthracène	173	1	0,2	-	0,19	0,038	
32534-81-9	PBDE	-	-	0,001	-		0,00019	
85535-84-8	Chloroalcanes, C10-13	382 (BCF QSAR)	10	10	-	1,9	1,9	
470-90-6	Chlorfenvinphos	30,9	10	-	1	1,9		0,19
2921-88-2	Chlorpyrifos	10,32	10	-	2	1,9		0,38
X	Pesticides cyclodiennes	0,4 (BCF QSAR)	-	-	1 - 2			0,19-0,38
X	DDT total	1282	-	-	1-5			0,19-0,95
117-81-7	DEHP		100	5	-	19	0,95	
115-29-7	Endosulfan	0,89 (BCF QSAR)	-	-	5			0,95
608-73-1	Hexachlorocyclohexane	0,28	-	-	1			0,19
91-20-3	Naphtalène	214	1	0,2	-	0,19	0,038	
84852-15-3	Nonylphénols	344	10	-	100	1,9		19
140-66-9	Octylphénols	2,29	10	-	5	1,9		0,95
608-93-5	Pentachlorobenzène	2,29	-	1	1		0,19	0,19
87-86-5	Pentachlorophénol	41,6	-	-	10			1,9
36643-28-4	Composés du tributylétain	0,013 (BCF QSAR)	2	0,2	-	0,38	0,038	
12002-48-1	Trichlorobenzène	100,4	-	-	10			1,9
1582-09-8	Trifluraline	116	-	-	5			0,95
124495-18-7	Quinoxifène	24,88 (BCF QSAR)	-	-	2			0,38
74070-46-5	Aclonifène	10,94 (BCF QSAR)	10	-	10	1,9		1,9
42576-02-3	Bifénox	0,24 (BCF QSAR)	-	-	10			1,9
28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	0,95 (BCF QSAR)	-	-	1			0,19
52315-07-8	Cyperméthrine	-	10	-	10	1,9		1,9
886-50-0	Terbutryne	0,94 (BCF QSAR)	10	-	1	1,9		0,19

2.3. Résultats par substance

Les analyses d'eau ont été réalisées sur eau brute (EB) et sur eau filtrée (EF) (0,45µm) par le Laboratoire A et par le Cedre via SBSE. Le bilan des résultats par substance sur la matrice eau marine : eau Brute (EB) et eau filtrée (EF) est fait tableau 16.

Au total, sur les 24 substances (ou groupes de substances) recherchées, 16 substances ont été détectées ou quantifiées dans l'eau marine au moins une fois, avec par fréquence de détection/quantification décroissante : PBDE (16), DEHP (8), naphthalène (7), octylphénols (7), hexachlorocyclohexane (7), nonylphénols (4), anthracène (4), trichlorobenzène (3), cyperméthrine (3), pesticides cyclodienes (2), TBT (2), DDT (1), endosulfan (1), pentachlorobenzène (1), trifluraline (1) et quinoxifène (1),

Trois substances sont détectées ou quantifiées par le Laboratoire A (DEHP, anthracène, naphthalène, octylphénols), et 15 substances sont détectées ou quantifiées par le Cedre.

Concernant le DEHP, il faut souligner la difficulté analytique pour obtenir des résultats fiables, du fait de problème fréquent de contamination des blancs analytiques. Aussi, ces résultats sur eau qui sont exclusivement obtenus par seront considérés avec prudence et ne seront pas intégrés dans la suite de document au calcul des BAF.

On remarque que les substances sont généralement plus fréquemment détectées ou quantifiées en eau filtrée qu'en eau brute exception faite du naphthalène et de l'anthracène.

Les résultats par point de suivi et par prélèvement (CI, P1, P2, P3) sont présentés tableau 17. Le nombre de substances détectées (ou quantifiées) varie suivant les points de suivi considérés : sur les 24 substances recherchées 12 sont identifiées au Lazaret, 6 à Thau, Saumonard et Sillon des Anglais (où seules 17 substances ont pu être recherchées), 5 à Antifer et 4 au Croisic.

Pour le calcul des BAF, les résultats du Cedre sont privilégiés lorsqu'ils sont disponibles par rapport à ceux du Laboratoire A.

Tableau 16 : Bilan des résultats exprimés (détecté ou quantifié) par laboratoire pour les analyses réalisées sur eau brute (EB) et eau filtrée (EF)

N° CAS	Substance	Log Kow	Koc (L.kg ⁻¹)	Laboratoire A		Cedre	
				EB	EF	EB	EF
120-12-7	Anthracène	4,45	29512	2	0	3	0
32534-81-9	Diphényléthers bromés	7,88	556801	0	0	15 + 1 détecté	15 + 1 détecté
85535-84-8	Chloroalcanes, C10-13	4,48 - 8,69	199500	0	0	-	-
470-90-6	Chlorfenvinphos	3,85 ; 4,22	479	0	0	0	0
2921-88-2	Chlorpyrifos	4,69 - 5,30	15500	0	0	0	0
X	Pesticides cyclodiennes			0	0	0	1 + 1 détecté
X	DDT total			0	0	0	1
117-81-7	DEHP	7,5	165000	2 + 5 détectés	2 + 6 détectés	-	-
115-29-7	Endosulfan	4,7	7969-21347	0	0	0	1
608-73-1	Hexachlorocyclohexane	3,77 ; 3,85	1680-3800	0	0	4	7
91-20-3	Naphtalène	3,7	1250	1 + 1 détecté	1	7	2
84852-15-3	Nonylphénols	4,48	5360	0	0	0	3 + 1 détecté
140-66-9	Octylphénols	3,96 - 4,5	2740 - 18500	0	0	2	5 + 2 détectés
608-93-5	Pentachlorobenzène	5,18	25120-125900	0	0	0	1
87-86-5	Pentachlorophénol	3,32	145 - 290000	0	0	-	-
36643-28-4	Composés du tributylétain	3,1 - 4,1	-	-	-		2
12002-48-1	Trichlorobenzène	3,93 - 4,49	1400 - 5129	0	0	0	3
1582-09-8	Trifluraline	5,07 - 5,34	8511	0	0	0	1
124495-18-7	Quinoxifène	4,66	18339 - 28897	0	0	0	1
74070-46-5	Aclonifène	4,37	5318-10612	0	0	-	-
42576-02-3	Bifénox	3,64	500-23000	0	0	-	-
28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	3,95	472-2590	0	0	-	-
52315-07-8	Cypermethrine	6,6	350000	0	0	2	3
886-50-0	Terbutryne	3,65	2000	0	0	-	-

Tableau 17 : Bilan par substance des résultats sur eau marine ($\mu\text{g.L}^{-1}$) acquis sur les points de suivi (EB : Eau Brute ; EF : Eau Filtrée)
Fond jaune : substance détectée, Fond vert ou bleu : substance quantifiée respectivement par le Laboratoire A et le Cedre

N° CAS	Substance	2017												2018											
		Antifer P1				Antifer P2				Antifer P3				Antifer P1				Antifer P2				Antifer P3			
		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre	
EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF		
120-12-7	Anthracène	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
32534-81-9	Diphényléthers bromés	<LQ	<LQ	0,002	0,003	<LQ	<LQ	0,0008	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	0,0012	0,0006	<LQ	<LQ	0,0009	0,0009	<LQ	<LQ	0,0008	0,0008
85535-84-8	Chloroalcanes, C10-13	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
470-90-6	Chlorfenvinphos	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
2921-88-2	Chlorpyrifos	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
X	Pesticides cyclo-diennes	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
X	DDT total	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
117-81-7	DEHP	<LD	0,15	-	-	0,16	0,27	-	-	3,77	3,76	-	-	0,41	0,16	-	-	0,154	0,113	-	-	<LD	<LD	-	-
115-29-7	Endosulfan	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
608-73-1	Hexachlorocyclohexane	<LQ	<LQ	0,006	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LQ	0,0006	<LQ	<LQ	0,0009	0,0011	<LQ	<LQ	0,0009	0,0006
91-20-3	Naphtalène	<LD	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,062	-	-	<LD	<LD	0,092	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ
84852-15-3	Nonylphénols	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LD
140-66-9	Octylphénols	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-	-	<LD	0	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,0097	<LD	<LD	0,0762	<LD
608-93-5	Pentachlorobenzène	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
87-86-5	Pentachlorophénol	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
36643-28-4	Composés du tributylétain	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-
12002-48-1	Trichlorobenzène	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
1582-09-8	Trifluraline	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
124495-18-7	Quinoxifène	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
74070-46-5	Acionifène	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-
42576-02-3	Bifénox	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
52315-07-8	Cyperméthrine	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,0094	0,3584
886-50-0	Terbutryne	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-

N° CAS	Substance	Thau P1				Thau P2				Thau P3				Lazaret P1				Lazaret P2				Lazaret P3			
		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre	
		EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF
120-12-7	Anthracène	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
32534-81-9	Diphényléthers bromés	<LQ	<LQ	0,004	0,001	<LQ	<LQ	<LD	0,001	<LQ	<LQ	0,0037	0,0014	<LQ	<LQ	0,0019	0,0009	<LQ	<LQ	0,0011	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
85535-84-8	Chloroalcanes, C10-13	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
470-90-6	Chlorfenvinphos	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
2921-88-2	Chlorpyrifos	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
X	Pesticides cyclodiennes	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	0,0006	<LQ	<LQ	<LD	0,0008	<LQ	<LQ	<LD	<LD
X	DDT total	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	0,0016	<LQ	<LQ	<LD	<LD
117-81-7	DEHP	<LD	<LD	-	-	0,186	<LD	-	-	0,277	0,209	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
115-29-7	Endosulfan	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	0,0015	<LQ	<LQ	<LD	<LD
608-73-1	Hexachlorocyclohexane	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	0,0068	<LQ	<LQ	<LD	0,0008	<LQ	<LQ	<LD	<LD
91-20-3	Naphtalène	<LD	<LD	<LD	0,028	<LD	<LD	0,0088	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0104	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0773
84852-15-3	Nonylphénols	<LD	<LD	<LD	0,016	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0072	<LD	0,06	<LD	0,0032	<LD	<LD	<LD	<LD
140-66-9	Octylphénols	<LD	<LD	<LD	0,047	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0462	<LD	0,002	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
608-93-5	Pentachlorobenzène	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	0,1808
87-86-5	Pentachlorophénol	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
36643-28-4	Composés du tributylétain	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-
12002-48-1	Trichlorobenzène	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0026	<LD	<LD	<LD	0,002	<LD	<LD	<LD	0,0378
1582-09-8	Trifluraline	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	0,0013	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
124495-18-7	Quinoxifène	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	0,0067	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD
74070-46-5	Acionifène	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-
42576-02-3	Bifénox	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-
52315-07-8	Cyperméthrine	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD	<LQ	<LQ	<LD	<LD
886-50-0	Terbutryne	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-	<LD	<LD	-	-

N° CAS	Substance	Saumonard P1				Saumonard P2				Saumonard P3				Le Croisic P1				Le Croisic P2				Le Croisic P3				SdA-P2		SdA-P3		
		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Labo A		Cedre		Cedre		Cedre		
		EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EF	EB	EB	EF	EB	EF	
120-12-7	Anthracène	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	7E-04	<LQ	0,009	<LQ	<LQ	<LQ	0,01	<LQ	0,003	<LQ	<LQ	<LQ	0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
32534-81-9	Diphényléthers bromés	<LQ	0	0,002	<LQ	<LQ	6E-04	0,0009	<LQ	<LQ	7E-04	0,0006	<LQ	<LQ	0	0,0008	<LQ	<LQ	0,001	0,0009	<LQ	<LQ	0	0,001	0,0007	0,0009	<LQ	0,0008	<LQ	0,0008
85535-84-8	Chloroalcanes, C10-13	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	
470-90-6	Chlorferwinphos	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
2921-88-2	Chlorpyrifos	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
X	Pesticides cyclodiéniens	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
X	DDT total	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
117-81-7	DEHP	<LQ	-	-	<LQ	0,13	-	-	0,138	0,38	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	
115-29-7	Endosulfan	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
608-73-1	Hexachlorocyclohexane	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0007	<LQ	0,0008	0,0023	<LQ	<LQ		
91-20-3	Naphtalène	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,002	<LQ	0,023	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,01	<LQ	0,0066	<LQ	0,0267	<LQ	<LQ	
84852-15-3	Nonylphénols	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
140-66-9	Octylphénols	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,009	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0267	0,0514	<LQ	
608-93-5	Pentachlorobenzène	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
87-86-5	Pentachlorophénol	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	
36643-28-4	Composés du tributylétain	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	
12002-48-1	Trichlorobenzène	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
1582-09-8	Trifluraline	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
124495-18-7	Quinoxylène	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
74070-46-5	Aclonifène	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	
42576-02-3	Bifénox	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	
28159-98-0	Cybutryne (Irgarol)	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	
52315-07-8	Cyperméthrine	<LQ	<LQ	0,002	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0096	0,0171	<LQ	
886-50-0	Terbutryne	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	<LQ	<LQ	-	-	-	-	-	-	-	

Les analyses mollusques ont été réalisées en triplicat à chaque prélèvement (triplicat d'échantillons). Néanmoins, suite aux difficultés rencontrées lors de la sous-traitance analytique, certains prélèvements ne disposent pas de résultats sur les 3 échantillons prévus, et deux laboratoires différents sont intervenus dans les analyses. Un bilan des résultats quantifiés sur les échantillons analysés est fait tableau 18 par substance, point de suivi et laboratoire.

Parmi les substances (ou groupe de substances) recherchées :

- 10 ont été quantifiées : anthracène, PBDE, pesticides cyclodiennes, DDT total, chloroalcanes, DEHP, HCH, naphthalène, octylphénols, composés du tributylétain (TBT) ;
- 14 n'ont pas été quantifiées : chlorfenvinphos, chlorpyrifos, endosulfan, nonylphénols, pentachlorobenzène, pentachlorophénol, trichlorobenzène, trifluraline, quinoxyfène, acetonifène, bifénox, cybutryne, cyperméthrine et terbutryne.

A noter que certains échantillons mollusques n'ont pu être analysés par le Laberca / Leav, aussi dans ce cas, si disponible, certains résultats du Laboratoire A sont utilisés dans les résultats présentés, c'est alors précisé dans les tableaux.

Il faut souligner que certaines substances sont quantifiées en eau marine et non quantifiées dans les mollusques (avec les performances analytiques utilisées) : pentachlorobenzène, nonylphénols, trichlorobenzène, trifluraline, quinoxyfène et cyperméthrine. L'inverse ne concerne que les chloroalcanes qui sont quantifiés dans les mollusques et non quantifiées en eau marine ou très peu.

Néanmoins on note que la fréquence de quantification est bien plus importante dans les mollusques que dans l'eau marine.

Tableau 18 : Bilan par substance du nombre de résultats quantifiés sur le nombre d'échantillons mollusque analysé par point de suivi en 2017 et 2018. Fond jaune : substance quantifiée

N° CAS	Substance	Antifer2017					Thau						Lazaret							
		ME		MS			ME		MS		HE		HS		ME		MS		HE	
		Laberca	Labo A	Laberca	Labo	Laberca	Labo A	Laberca	Labo A	Laberca	Labo A	Laberca	Labo A	Laberca	Labo A	Laberca	Labo A	Laberca	Labo A	Laberca
120-12-7	Anthracene	5 / 7	3 / 3	3 / 3	9 / 10	0 / 10	1 / 3	1 / 3	8 / 10	0 / 9	0 / 3	0 / 3	1 / 10	6 / 9	0 / 1	0 / 1	1 / 8	6 / 6		
32534-81-9	PBDE																			
85535-84-8	Chloroalcane		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8			
470-90-6	Chlorfenvinphos	0 / 7	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 9	0 / 9	0 / 1	0 / 1	0 / 7	0 / 7		
2921-88-2	Chlorpyrifos	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 1	0 / 1	0 / 8	0 / 8		
X	Pesticides_cyclodienes	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8		
X	DDT_total	6 / 10		3 / 3		10 / 10		3 / 3		10 / 10		3 / 3		9 / 10		1 / 1		7 / 8		
117-81-7	DEHP		3 / 3		5 / 10		1 / 3		5 / 10		0 / 3		0 / 9		0 / 1		4 / 7			
115-29-7	Endosulfan	0 / 7		0 / 3		0 / 10		0 / 3					0 / 9		0 / 1					
608-73-1	HCH_tot	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		1 / 8		
91-20-3	Naphtalene		3 / 3		10 / 10		3 / 3		8 / 10		0 / 3		7 / 10		0 / 1		7 / 8			
84852-15-3	Nonylphenol	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 1	0 / 1	0 / 8	0 / 8		
140-66-9	Octylphenols	0 / 10	3 / 3	0 / 3	10 / 10	3 / 10	3 / 3	1 / 3	7 / 10	0 / 10	0 / 3	1 / 3	1 / 10	0 / 10	0 / 1	0 / 1	1 / 8	1 / 8		
608-93-5	Pentachlorobenzene	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8		
87-86-5	Pentachlorophenol	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8		
36643-28-4	TBT		3 / 3		1 / 10		0 / 3		2 / 10		1 / 3		9 / 10		1 / 1		7 / 8			
12002-48-1	Trichlorobenzene	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8		
1582-09-8	Trifluraline	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8		
124495-18-7	Quinoxifene	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8		
74070-46-5	Aclonifen	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 1	0 / 1	0 / 8	0 / 8		
42576-02-3	Bifenox	0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 3		0 / 10		0 / 1		0 / 8		
28159-98-0	Cybutryne	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 1	0 / 1	0 / 8	0 / 8		
52315-07-8	Cypermethrine	0 / 7	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 9	0 / 9	0 / 1	0 / 1	0 / 7	0 / 7		
886-50-0	Terbutryne	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 3	0 / 3	0 / 10	0 / 10	0 / 1	0 / 1	0 / 8	0 / 8		

N° CAS	Substance	Antifer 2018				Le Croisic		Saumonard		Sillon des Anglais	
		ME		MS		Laberca	LEAV	Laberca	LEAV	MS	
		Laberca	LEAV	Laberca	LEAV					Laberca	LEAV
120-12-7	Anthracene	10 / 10		3 / 3		6 / 6		3 / 8		1 / 2	
32534-81-9	PBDE	10 / 10		3 / 3		6 / 8		8 / 8		2 / 2	
85535-84-8	Chloroalcane	10 / 10		3 / 3		6 / 8		8 / 8		2 / 2	
470-90-6	Chlorfenvinphos		0 / 10		0 / 3		0 / 6		0 / 8		0 / 2
2921-88-2	Chlorpyrifos		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
X	Pesticides_cyclodienes		0 / 10		0 / 3		0 / 8		7 / 8		1 / 2
X	DDT_total		10 / 10		3 / 3		3 / 8		6 / 8		2 / 2
117-81-7	DEHP	10 / 10		3 / 3		6 / 6		8 / 8		2 / 2	
115-29-7	Endosulfan		0 / 10		0 / 3		0 / 6		0 / 8		0 / 2
608-73-1	HCH_tot	8 / 10	0 / 10	3 / 3	0 / 3	6 / 8	0 / 8	8 / 8	0 / 8	2 / 2	0 / 2
91-20-3	Naphtalene	10 / 10		3 / 3		6 / 8		8 / 8		2 / 2	
84852-15-3	Nonylphenol		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
140-66-9	Octylphenols		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
608-93-5	Pentachlorobenzene		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
87-86-5	Pentachlorophenol		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
36643-28-4	TBT	10 / 10		3 / 3		6 / 8		8 / 8		2 / 2	
12002-48-1	Trichlorobenzene		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
1582-09-8	Trifluraline		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
124495-18-7	Quinoxifene		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
74070-46-5	Aclonifen		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
42576-02-3	Bifenox		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
28159-98-0	Cybutryne		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2
52315-07-8	Cypermethrine		0 / 10		0 / 3		0 / 6		0 / 8		0 / 2
886-50-0	Terbutryne		0 / 10		0 / 3		0 / 8		0 / 8		0 / 2

Calcul des BAF :

Dans la suite du document, nous ciblerons les substances quantifiées (eau et mollusques) pour lesquelles il est possible de calculer les BAF : anthracène, PBDE, pesticides cyclodiennes, DDT total, HCH, naphthalène, octylphénols, TBT.

Concernant les mollusques, les résultats des triplicats sont agrégés par prélèvement. Une moyenne géométrique des résultats quantifiés des répliquats mollusques est faite pour chaque prélèvement. Lorsque des résultats par répliquat ne sont pas quantifiés (< LQ), ils ne sont pas intégrés au calcul de la moyenne.

Cette concentration moyenne dans les mollusques par prélèvement est divisée par la concentration dans l'eau pour calculer le BAF. Le calcul de BAF est fait par défaut sur la fraction eau brute (EB) (fraction utilisée dans le cadre de la surveillance pour les substances organiques) et si disponible sur la fraction eau filtrée (EF).

Dans notre contexte d'adaptation des $NQE_{\text{eau marine}}$ aux mollusques, la relation est la suivante :

$$VGE_{\text{mollusque}} = NQE_{\text{eau marine}} \times \text{BAF}$$

En complément, lorsque ce sera possible, un BAF « référence », normalisé sur les lipides (1% de lipide) et mesuré sur la fraction eau filtrée sera calculé et présenté dans les tableaux de résultats.

- Anthracène - n° DCE : 2

Détermination des BAF Anthracène (Tableau 19) : deux sites disposent de résultats quantifiés à la fois sur eau marine et sur mollusques (*Mytilus edulis*) : Le Croisic et Saumonard. A noter, les résultats sont quantifiés sur la fraction eau brute (EB) et non sur l'eau filtrée (EF). Concernant les mollusques, seul le P3 – Le Croisic dispose de 3 résultats quantifiés sur mollusques avec des résultats variant de 820 à 1600 ng.kg⁻¹ p.h. Une moyenne géométrique des résultats des répliqués mollusques est faite pour chaque prélèvement. Cette concentration moyenne mollusque par prélèvement est rapprochée de la concentration dans l'eau pour calculer le BAF. Trois BAF ont pu être mesurés : 214, 352, 1420 L.kg⁻¹ p.h.. Le BAF le plus bas est observé sur moules sauvages (ou d'élevage), les deux autres concernent les moules encagées.

La médiane des BAF est de : 352 L.kg⁻¹ p.h.

La moyenne géométrique est de : 474,70 L.kg⁻¹ p.h.

Tableau 19 : Anthracène, calcul des BAF mollusques

Site	Taxon	Prélèvement	Répliquat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C eau brute (ng.L ⁻¹)	C mollusque / C Eau Brute (L.kg ⁻¹ p.h.)	BAF (L.kg ⁻¹ p.h.) Moyenne par prélèvement
Le Croisic	ME	P1	1	610,00	<LD		
			ND	ND	<LD		
		P2	1	950,00	2,70	351,85	352
		P3	1	820,00	0,90	911,11	1420
			2	1590,00	0,90	1766,67	
		3	1600,00	0,90	1777,78		
Saumonard	MS	P1	1	340,00	<LQ		
			2	370,00	<LQ		
		P2	1	<LQ	<LD		
			2	<LQ	<LD		
		P3	1	<LQ	0,70	214,29	214
			2	150,00	0,70		
		3	<LQ	0,70			

- **PBDE - n° DCE : 5**

Quatre sites disposent de résultats quantifiés en parallèle sur l'eau et les mollusques et sur tous les prélèvements (tableau 20). Les résultats obtenus sur les répliqués de mollusques sont relativement homogènes au niveau des prélèvements et évoluent relativement peu entre les trois prélèvements consécutifs. Les résultats sur eau sont quantifiés sur eau brute et eau filtrée à chacun des prélèvements, ce qui permet de disposer de 11 couples de données EB – Concentration dans mollusques et EF – concentration dans mollusques. Ces résultats ont été obtenus sur les échantillons de 2018 pour lesquels les analyses ont été réalisées par le Laberca et le Cedre. En 2017, le Laboratoire A n'a pas réalisé les analyses PBDE sur mollusques toutefois les analyses sur la matrice eau réalisées par le Cedre mettent en évidence des résultats quantifiés sur l'ensemble des sites étudiés (Thau et Lazaret présentent les plus fortes concentrations avec $3,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ à Thau et $1,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ au Lazaret et Antifer 2017).

Les moyennes géométriques et médianes de BAF sont présentées tableau 21, BAF obtenus sur les moules encagées (ME) et les moules sauvages (ou d'élevage) (MS) et obtenus en considérant la fraction eau brute ou eau filtrée.

Le BAF (moyenne géométrique) mesuré sur les moules sauvages (ou d'élevage) est plus bas que le BAF obtenu sur moules encagées : 47,97 contre 69,74 $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ p.h. sur eau brute (EB) et 33,72 contre 89,61 $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ p.h. sur eau filtrée (EF).

La moyenne géométrique de l'ensemble des résultats (ME et MS) s'établit à 58,14 $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ p.h. en considérant le BAF mesuré sur eau brute : 58,83 et le BAF mesuré sur eau filtrée : 57,46 ; BAF qui sont très proches.

Un BAF référence est calculé, la moyenne est de 3 560,97 $\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ p.h. On observe également une différence de BAF ref entre moules sauvages et moules encagées, avec un BAF plus faible pour les moules sauvages que pour les moules encagées.

A noter que les PBDE disposent d'une NQE biote applicable aux poissons, aussi l'objectif ici n'est pas d'adapter la NQE _{eau marine} à un seuil mollusque.

Tableau 20 : PBDE - calcul des BAF mollusques

Site	Taxon	Prélevement	Réplicat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C mollusque moyenne par prélèvement (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau brute} (ng.L ⁻¹)	BAF :	C _{eau filtrée} (ng.L ⁻¹)	BAF :	BAF référence (L.kg ⁻¹ p.l.)	
							C _{mollusque} / C _{Eau Brute} (L.kg ⁻¹ p.h.)		C _{mollusque} / C _{Eau Filtrée} (L.kg ⁻¹ p.h.)		
Antifer 2018	ME	CI	0	64,92	64,92					-	
			P1	27	170,02	153,76	1,2	128,13	0,6	256,27	12890,46
				29	133,51						
		32		160,14							
		P2	27	139,67	139,64	0,9	155,15	0,9	155,15	8373,20	
			29	161,02							
			32	121,07							
		P3	27	134,24	127,80	0,8	159,75	0,8	159,75	9185,31	
			29	131,55							
	32		118,19								
	MS	P3	1	165,92	182,88	0,8	228,60	0,8	228,60	11652,08	
			2	189,31							
3			194,72								
SdA	MS	P3	1	26,90	28,26	0,6	47,10	0,8	35,33	-	
			2	29,69							
Le Croisic	ME	CI	0	14,75	14,75					-	
			P1	1	25,58	25,58	1,8	14,21	0,8	31,98	3853,11
		2		ND							
		P2	1	46,88	46,88	1	46,88	0,9	52,08	2540,68	
			2	ND							
		P3	1	46,28	48,93	0,9	54,37	1	48,93	2533,45	
	2		47,86								
	3		52,89								
	Saumonard	MS	CI	0	19,23	19,23					-
P1				1	18,03	19,03	0,5	38,06	1,70	11,19	755,75
			2	20,08							
P2		1	20,89	18,70	0,6	31,17	0,90	20,78	1319,61		
		2	16,75								
P3		1	12,15	13,91	0,7	19,88	0,60	23,19	1147,42		
		2	15,90								
			3	13,94							

Tableau 21 : PBDE - BAF médiane et moyenne géométrique mesuré par taxon et laboratoire d'analyse

BAF - Médiane (L.kg ⁻¹ p.h.)	nb données	BAF EB	BAF EF	BAF	BAF ref (L.kg ⁻¹ p.l.)
ME	6 ME-6 EB- 6 EF	91,25	103,62		6113,16
MS	5 MS-5 EB- 5 EF	38,06	23,19		1233,52
BAF (ME et MS)	11 M-11 EB-11 EF	47,10	48,93		3196,90
BAF (ME et MS, EB et EF)	11 M-11 EB-11 EF- 11 EB			48,02	

BAF - Moyenne géométrique (L.kg ⁻¹ p.h.)	nb données	BAF EB	BAF EF	BAF	BAF ref (L.kg ⁻¹ p.l.)
ME	6 ME-6 EB- 6 EF	69,74	89,61		5392,47
MS	5 MS-5 EB- 5 EF	47,97	33,72		1910,90
BAF (ME et MS)	11 M-11 EB-11 EF	58,83	57,46		3560,97
BAF (ME et MS, EB et EF)	11 M-11 EB-11 EF- 11 EB			58,14	

- **Pesticides cyclodiènes - n° DCE : 9 bis**

Parmi les pesticides cyclodiènes recherchés (aldrine, dieldrine, endrine, isodrine), trois sites disposent de résultats quantifiés dans la matrice eau marine ou dans les mollusques, néanmoins aucun site ne dispose de résultats quantifiés sur les deux matrices (Tableau 22). Au Lazaret, l'endrine et l'aldrine sont quantifiés dans l'eau filtrée respectivement lors de P1 et P2, malheureusement nous ne disposons pas de résultats d'analyses sur les mollusques pour ces échantillons par le Laboratoire A. Sur mollusques, la dieldrine est quantifiée à Saumonard à P1, P2 et P3 et Sillon des Anglais (analyses Laberca/LEAV).

Aucun BAF n'est donc mesurable.

Tableau 22 : Pesticides cyclodiènes – résultats quantifiés par point, prélèvement et matrice.

Site	Taxon	Prélèvement	Réplikat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	c mollusque moyenne par prélèvement (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau brute} (ng.L ⁻¹)	C _{eau filtrée} (ng.L ⁻¹)
SdA	MS	P3	1	<LQ			
			2	661,32			
Saumonard	MS	CI	-	<LQ	<LQ		
			P1	1	443,36	523,33	
		2		617,73			
		P2	1	552,66	337,28		
			2	205,84			
		P3	1	364,5	422,45		
			0	556,08			
			3	371,95			
Lazaret (Alpa- Cedre)	ME	CI	-	-			
			P1	1	-		0,6
				2	-		
		3		-			
		P2	1	-		0,8	
			2	-			
			3	-			
		P3	1	-			
			2	-			
			3	-			
		MS	P3	1	-		

- **DDT total - n° DCE : 9 ter**

Tous les sites (Antifer 2017, Antifer 2018, Sillon des Anglais, Le Croisic, Saumonard, Thau, Lazaret) disposent de résultats quantifiés sur les mollusques et ce à chaque prélèvement pour le DDT Total ; alors qu'un seul résultat est quantifié dans l'eau, au Lazaret sur eau filtrée.

Les résultats obtenus sur le Lazaret sont présentés tableau 23. Un BAF peut être calculé sur eau filtré : **377,77 L.kg⁻¹**. Le BAF calculé est plus bas pour les moules engagées que pour les huîtres engagées, par conséquent la prise en compte de ce BAF déterminé sur moules engagées apparaît protecteur dans le cadre de son utilisation pour adapter la NQE_{eau marine} aux mollusques. Soulignons toutefois que ce calcul de BAF repose sur une seule mesure de concentration dans l'eau.

Tableau 23 : DDT total - calcul des BAF mollusques

Site	Taxon	Prélèvement	Réplicat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C mollusque moyenne par prélèvement (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau brute} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Brute} (L.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau filtrée} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Filtrée} (L.kg ⁻¹ p.h.)
Lazaret	ME	CI	-	1133,73	1133,73				
				1110,9	699,46				
		P1		602,7					
				511,1					
				596,4	604,44	< LD		1,6	377,77
		P2		532					
				696					
				1	207,9	398,28			
		P3		2	617,66				
				3	492				
	MS	P3	-	1080	1080				
	HE	CI	-	4303,5	4303,5				
				2282,5	2642,42				
		P1		3059,1					
				2845,8	1646,92	< LD		1,6	1029,32
P2			953,1						
			1	1584,57	1470,16				
			2	1616,22					
P3		3	1240,74						

- **HCH - n° DCE : 18**

Détermination des BAF HCH : 3 sites disposent de résultats quantifiés à la fois sur eau marine et sur mollusques, et représentent 4 couples de résultats (EB - C mollusque par prélèvement) et 5 couples (EF – C mollusque par prélèvement).

Le tableau 24 présente les résultats par site, prélèvement, taxon (ME, MS) et permet de calculer chaque ratio C mollusque / C_{EB} , correspondant à des BAF sur la fraction eau brute et la fraction eau filtrée (exprimé en $L \cdot kg^{-1}$ p.h. ou des BAF référence exprimé en $L \cdot kg^{-1}$ p.l.).

Le tableau 25 permet de visualiser les médianes et moyenne géométrique des BAF pour les différents taxons.

La moyenne géographique des BAF intégrant les 4 résultats moules (ME et MS) sur fraction eau brute est de **58,57 $L \cdot kg^{-1}$ p.h.**. Si l'on considère la fraction eau filtrée (5 résultats), le BAF est légèrement supérieur à **113,10 $L \cdot kg^{-1}$ p.h.**. La moyenne de l'ensemble des 9 résultats est de **84,42 $L \cdot kg^{-1}$ p.h.** (ME, MS sur EB et EF). Le BAF minimum est mesuré à **27,04 $L \cdot kg^{-1}$ p.h.** (MS) sur EB.

Un BAF référence peut être calculé sur la base de 5 résultats (moyenne géométrique) : 4484,19 $L \cdot kg^{-1}$ p.l.

Tableau 24 : HCH, calcul des BAF mollusques

Site	Taxon	Prélèvement	Réplikat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C mollusque moyenne par prélèvement (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau brute} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Brute} (L.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau filtrée} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Filtrée} (L.kg ⁻¹ p.h.)	BAF référence (L.kg ⁻¹ p.l.)
Antifer 2018 (Laberca - Cedre)	ME	P1	27	14,84	172,56	<LQ	-	0,6	287,60	16535,96
			29	ND						
			32	2006,29						
		P2	27	ND	212,27	0,9	235,86	1,1	192,97	3207,13
			29	63,50						
			32	709,57						
	P3	27	55,39	30,21	0,9	33,57	0,6	50,35	2894,93	
		29	35,11							
		32	14,18							
	MS	P3	1	98,31	49,48	0,9	54,98	0,60	82,47	2840,48
			2	31,40						
			3	39,25						
SdA (Laberca-)	MS	P3	1	46,69	62,20	2,3	27,04			
			2	82,86						
Le Croisic (Laberca - Cedre)	ME	P3	1	25,77	56,21	<LQ	-	0,7	80,30	4157,59
			2	116,83						
			3	58,98						

Tableau 25 : HCH - BAF médiane et moyenne géométrique mesuré par taxon et laboratoire d'analyse

BAF - Médiane (L.kg ⁻¹ p.h.)	nb données	BAF EB	BAF EF	BAF	BAF ref (L.kg ⁻¹ p.l.)
ME (n=2) (Laberca-Cedre)	2 EB- 4 EF	134,71	136,64		3682,36
MS (n=2)	2 EB- 1 EF	41,01	82,47		2840,48
BAF (ME et MS)	4 EB- 5 EF	44,27	82,47		3207,13
BAF (ME et MS, EB et EF)	9			80,30	

BAF - Moyenne Géométrique (L.kg ⁻¹ p.h.)	nb données	BAF EB	BAF EF	BAF	BAF ref (L.kg-1 p.l.)
ME (n=2) (Laberca-Cedre)	2 EB- 4 EF	88,98	122,39		5026,40
MS (n=2)	2 EB- 1 EF	38,56	82,47		2840,48
BAF (ME et MS)	4 EB- 5 EF	58,57	113,10		4484,19
BAF (ME et MS, EB et EF)	9			84,42	

- **Naphtalène - n° DCE : 22**

Détermination des BAF Naphtalène : 7 sites disposent de résultats quantifiés à la fois sur eau marine et sur mollusques, et représentent 10 couples de résultats (EB - C moyenne mollusque par prélèvement).

Le tableau 26 présente les résultats par site, prélèvement, taxon (ME, MS, HE) et permet de calculer chaque ratio C mollusque / C_{EB} , correspondant à des BAF. Les laboratoires d'analyses sont précisés. Un seul résultat a été quantifié dans l'eau filtrée.

Le tableau 27 permet de visualiser les médianes et moyennes géométriques des BAF pour les différents taxons et selon que l'on intègre ou non les résultats du Laboratoire A.

Le BAF minimum est mesuré sur le site d'Antifer 2018 sur les moules engagées avec un BAF à **1,52 L·kg⁻¹ p.h.**

Au niveau des moyennes, on note une différence de BAF entre les moules sauvages (ou d'élevage) et les moules engagées, le BAF (moyenne BAF) le plus bas est obtenu sur moules sauvages (ou d'élevage), avec **BAF MS= 4 L·kg⁻¹ p.h.** contre un BAF ME à 15,84 L·kg⁻¹ p.h.

En Méditerranée, pour une exposition similaire, une différence de BAF d'un facteur 3 est mis en évidence entre les moules et les huîtres, BAF de 38,43 est obtenu pour les moules engagées et 114 pour les huîtres engagées.

La moyenne (géométrique) des BAF intégrant tous les résultats sur moules (ME et MS) issus de tous les laboratoires (analyses d'eau : Alpa, Laberca et Cedre) est à **19,98 L·kg⁻¹ p.h.**, en ne prenant que les résultats Laberca - Cedre, le **BAF (ME et MS)** s'établit à **9,83 L·kg⁻¹ p.h.** Comme indiqué précédemment, pour le calcul des BAF, les résultats du Cedre sont privilégiés lorsqu'ils sont disponibles par rapport à ceux du Laboratoire A, aussi le **BAF (ME et MS)** retenu est celui à **9,83 L·kg⁻¹ p.h.**

Enfin, on souligne que pour le naphtalène, le BAF mesuré sur huîtres engagées est bien supérieur aux BAF mesurés sur moules engagées et sauvages (ou d'élevage), aussi le BAF déterminé sur moule est bien protecteur pour les huîtres dans son utilisation pour adapter une VGE mollusque.

Tableau 26 : Naphtalène, calcul des BAF mollusques

Site	Taxon	Prélevement	Réplicat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C mollusque moyenne par prélèvement (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau brute} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Brute} (L.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau filtrée} (ng.L ⁻¹)	C _{mollusque} / C _{Eau Filtrée} (L.kg ⁻¹ p.l.)	BAF référence (L.kg ⁻¹ p.l.)
Antifer 2017 (Labo A)	ME	P3	1	3657,00	3539,67	70,00	50,57	60,00	2184,59	2210,60
			2	3940,00						
			3	3078,00						
	MS	P3	1	2700,00	3903,44	70,00	55,76	60,00		
			2	3390,00						
			3	6498,00						
Antifer 2018 (Laberca - Cedre)	ME	P1	27	178,63	140,24	92	1,52	<LD		
			29	90,75						
			32	170,16						
SdA (Laberca-Cedre)	MS	P3	1	102,29	93,56	26,7	3,50	<LQ		
			2	85,58						
Le Croisic (Laberca - Cedre)	ME	P3	1	148,53	167,97	6	28,00	<LQ		
			2	162,67						
			3	196,16						
Saumonard (Laberca - Cedre)	MS	P3	1	99,42	94,77	23,2	4,09	<LD		
			2	76,96						
			3	111,26						
Etang-de-Thau (Labo A-Cedre)	ME	P2	1	408,00	378,53	8,8	43,02	<LD		
			2	391,00						
			3	340,00						
	HE	P2	1	592,00	576,75	8,8	65,54	<LD		
			2	416,00						
			3	779,00						
Lazaret (Labo A-Cedre)	ME	P2	1	357,00	357,00	10,4	34,33	<LD		
			2	<LQ						
			3	<LQ						
	HE	P2	1	2079,00	2083,53	10,4	200,34	<LD		
			2	1872,00						

Tableau 27 : Naphtalène - BAF médiane et moyenne géométrique mesuré par taxon et laboratoire d'analyse

BAF - Médiane (L.kg ⁻¹ p.h.)	nb données	BAF EB	BAF ref
ME (Laboratoire A – Laberca – Cedre)	5 ME- 5 EB- 1 EF	34,33	2201,6
ME (Laberca Cedre)	4 ME-4 EB- 0 EF	31,16	-
MS (Laberca Cedre)	2 MS-2 EB- 0 EF	3,79	-
HE (Laberca Cedre)	2 HE-2 EB- 0 EF	132,94	-
MS et ME (Laberca Cedre)	6 ME et MS - 4EB	16,04	-
BAF - Moyenne géométrique (L.kg ⁻¹ p.h.)	nb données	BAF EB	BAF ref
ME (Laboratoire A – Laberca – Cedre)	5 ME- 5 EB- 1 EF	19,98	2201,6
ME (Laberca Cedre)	4 ME-4 EB- 0 EF	15,84	-
MS (Laberca Cedre)	2 MS-2 EB- 0 EF	3,78	-
HE (Laberca Cedre)	2 HE-2 EB- 0 EF	114,59	-
MS et ME (Laberca Cedre)	6 ME et MS - 4EB	9,83	-

• **Octylphénols - n° DCE : 25**

Des résultats ont été quantifiés dans la matrice eau marine et dans les mollusques, mais peu l'ont été sur les mêmes sites aux mêmes périodes. Les résultats sont présentés tableau 28, certains résultats dans l'eau sont supérieurs à la NQE eau marine (0,01 µg.L⁻¹ soit 10 ng.L⁻¹).

Un seul BAF sur eau filtrée peut être mesuré à **145,32 L.kg⁻¹ p.h.**

Tableau 28 : Octylphénol - calcul des BAF mollusques

Site	Taxon	Prélevement	Réplicat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C mollusque moyenne par prélèvement (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau brute} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Brute} (L.kg ⁻¹ p.h.)	C _{eau filtrée} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Filtrée} (L.kg ⁻¹ p.h.)
Antifer 2018	ME	P2	27					9,70	
		P3	27			76,20		3,00	
	MS	P3	1			76,20		3,00	
SdA	MS	P3	1			26,8		51,4	
Saumonard	MS	P3	1			9,2			
Etang-de-Thau	ME	CI	0	6069,00					
			1	23000,00	6757,17			46,50	145,32
			2	5868,00					
		P1	3	2286,00					
			1	9911,00	14171,28				
			2	12240,00					
		P2	3	23460,00					
			4	<LQ	824,25				
			5	<LQ					
		P3	6	824,25					
			4	<LQ	21523,71				
			5	<LQ					
	MS	6	21523,71						
		CI	0	3560,00					
			P1	1	30060,00				
	2			18240,00					
	P2	3	77750,00						
		1	52640,00						
		2	72480,00						
	P3	3	47690,00						
		4	<LQ	1203,96					
5		1203,96							
HS	6	<LQ							
	ME	CI	0	6069,00	6069,00				
			1				46,20		
P1		1	<LQ	62260,00					
	2	<LQ							
P3	3	62260,00							
	HE	CI	0	3560,00	3560,00				
1			63450,00	32025,00					
2		<LQ							

- **TBT - n° DCE : 30**

Les résultats disponibles pour les mollusques sont les résultats sur les différents organo-étains (Mono, Di et Tri butyl étain), mais seul les résultats TBT sont mesurés dans l'eau par SBSE. Aussi le calcul de BAF concerne uniquement le TBT.

Tous les sites (Antifer 2017, Antifer 2018, Sillon des Anglais, Le Croisic, Saumonard, Thau, Lazaret) disposent de résultats quantifiés sur les mollusques et ce à chaque prélèvement pour le TBT hormis Thau pour lequel seul le P3 a un résultat quantifié sur huître, les autres résultats étant inférieurs à la LQ. Certains sites présentent des concentrations élevées, le plus élevé étant le port d'Antifer 2018 ($59 \mu\text{g.kg}^{-1}$ p.h.). Des résultats sont quantifiés dans l'eau sur un seul site : sur Thau, lors du P2 et du P3, ils dépassent la NQE_{eau marine} ($0,02 \text{ ng.L}^{-1}$), et c'est le seul site pour lesquels les résultats ne sont pas quantifiés dans les moules. Rappelons que ces analyses mollusques ont été faites par le Laboratoire A, avec une performance analytique moindre que le Laberca (LQ $0,38$ contre $0,038 \text{ ng.kg}^{-1}$ ph). Les résultats sont présentés dans le tableau 29.

Un BAF de $169,88 \text{ L.kg}^{-1}$ p.h. peut être calculé sur les huîtres engagées.

La mesure de TBT par SBSE a fait l'objet d'un récent développement de méthode Ifremer-Cedre (23). Il est effectivement possible de quantifier le TBT à de faibles niveaux par SBSE, néanmoins des adaptations et des consolidations de la méthode restent nécessaires.

Tableau 29 : TBT - calcul des BAF mollusques

Site	Taxon	Prélevement	Réplikat	C mollusque (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C mollusque moyenne par prélèvement (ng.kg ⁻¹ p.h.)	C _{Eau brute} (ng.L ⁻¹)	BAF : C _{mollusque} / C _{Eau Brute} (L.kg ⁻¹ p.h.)	
Thau	ME	CI	-	459				
			P1	1	<LQ			
				2	<LQ			
		3		<LQ				
		P2	1	<LQ		1,59		
			2	<LQ		2,85		
			3	<LQ		<0,1		
		P3	4	<LQ		<0,1		
			5	<LQ		2,20		
	6		<LQ		<0,1			
	MS	P3	4	<LQ		<0,1		
			5	<LQ		2,20		
			6	<LQ		<0,1		
	HE	CI	-	820				
			P1	1	<LQ			
				2	<LQ			
		3		<LQ				
		P2	1	<LQ		1,59		
			2	<LQ		2,85		
			3	<LQ		<0,1		
		P3	4	<LQ		<0,1		
			5	374	374	2,20	169,88	
			6	<LQ		<0,1		
		HS	P3	4	504		<0,1	
5				<LQ		2,20		
6	<LQ				<0,1			

3. Discussion et conclusion

Cette étude de détermination de BAF eau-mollusque, conduite sur 7 points entre 2017 et 2019 sur la base du protocole élaboré à cet effet (1), a permis d'acquérir en parallèle des échantillons sur les matrices eau et mollusques. Les analyses sur la matrice eau, ont été réalisées sur eau filtrée pour 3 contaminants métalliques et sur eau brute et eau filtrée pour 24 substances par technique « classique » et par SBSE. L'acquisition de données par DGT et membrane silicone était également prévue.

Suivant les sites considérés, les mollusques échantillonnés étaient soit des moules encagées soit des moules sauvages (ou d'élevage) soit les deux : moules encagées et moules sauvages (ou d'élevage), et des huîtres encagées étaient également exposées sur les sites de Méditerranée. Les poches de moules (ou huîtres) étaient immergées 3 mois avant échantillonnage (14), et à chacun des trois prélèvements, trois échantillons de moules (ou huîtres) étaient faits ; lors du prélèvement 3, des échantillons de moules sauvages (ou d'élevage) étaient également réalisés en triplicat.

De nombreux imprévus et difficultés ont été rencontrés lors de cette étude, se soldant par l'absence ou la perte d'échantillons (DGT, membrane silicone) et l'absence de certains résultats sur mollusques (contaminants organiques). Cela permet d'identifier des points particulièrement sensibles en termes d'organisation des campagnes d'acquisition de données. S'agissant d'analyses pour la recherche de substances présentes à l'état de traces ou d'ultra-traces dans le milieu marin, il est essentiel de pouvoir disposer de résultats d'analyses fiables obtenus avec une méthode d'analyse performante qui permettent d'atteindre de bas niveau de quantification. Cette étude met en évidence le fait que les résultats et les performances peuvent être très différents entre laboratoires. Au-delà des performances il faut aussi s'assurer de la fiabilité sur l'ensemble de la chaîne d'acquisition des données, la préparation de l'échantillon représentatif est une étape incontournable pour permettre l'obtention de résultats fiables, représentatifs, et reproductibles. Aussi, cette étape majeure d'acquisition de résultats nécessite un partenariat avec un ou plusieurs laboratoires d'analyses de recherche et un travail en continu qui s'inscrit dans la durée, sur plusieurs années.

Une des difficultés, qui était identifiée en amont de la réalisation de l'étude, était l'obtention de résultats quantifiés sur la matrice eau marine. C'est effectivement le cas pour les analyses réalisées par le Laboratoire A (3 substances quantifiées), mais l'usage de la SBSE par le Cedre permet de quantifier 15 substances sur les 24 recherchées. Au final, 16 substances sont quantifiées sur la matrice eau marine : PBDE, DEHP, naphthalène, octylphénols, HCH, nonylphénols, anthracène, trichlorobenzène, cyperméthrine, pesticides cyclodiennes, TBT, DDT, endosulfan, pentachlorobenzène, trifluraline et quinoxyfène. Il est à noter que certaines des substances quantifiées dans l'eau ne l'ont pas été dans les mollusques (avec les performances analytiques utilisées) : pentachlorobenzène, nonylphénols, trifluraline, quinoxyfène et cyperméthrine.

Par ailleurs, la DCE prévoit une surveillance basée sur la fraction eau brute pour la recherche des contaminants organiques ; or les analyses ayant été réalisées en parallèle sur les fractions eau brute et eau filtrée (0,45 µm), une différence de détection/quantification est observée selon la fraction considérée et les substances. Globalement, les quantifications sont observées en majorité sur la fraction eau filtrée (58 résultats quantifiés correspondant à 14 substances en eau filtrée, contre 47 résultats quantifiés pour

8 substances en eau brute). Le naphthalène et l'anthracène sont quantifiés exclusivement ou majoritairement sur la fraction eau brute. Les différences de quantification observées pour un même composé entre les fractions eau brute et filtrée pourraient s'expliquer par le coefficient octanol - eau (K_{ow}) qui contrôle les équilibres : phase adsorbante (SBSE)/ particule (matière organique notamment) / phase "dissoute".

Dans le cadre de cette acquisition de données sur la matrice eau, il faut également souligner le fait que six substances présentent des résultats supérieurs à la $NQE_{\text{eau marine}}$: endosulfan (EF) (Lazaret - 0,15 $\mu\text{g.L}^{-1}$), HCH (EB) (Sillon des Anglais - 0,023 $\mu\text{g.L}^{-1}$; Antifer 2017 - 0,006 $\mu\text{g.L}^{-1}$) malgré une performance analytique insuffisante au regard des critères QOQC : octylphénols (EB et EF) (Sillon des Anglais - 0,027 $\mu\text{g.L}^{-1}$; Antifer 2018 - 0,076 $\mu\text{g.L}^{-1}$), pentachlorobenzène (EF) (Lazaret - 0,18 $\mu\text{g.L}^{-1}$), TBT (EB) (Thau - 2,25 et 2,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$) et cyperméthrine (EF) (Saumonard - 0,02 $\mu\text{g.L}^{-1}$ - Sillon des Anglais - 0,027 $\mu\text{g.L}^{-1}$; Antifer 2018 - 0,076 $\mu\text{g.L}^{-1}$).

Ainsi ces résultats soulignent l'intérêt de la SBSE pour la recherche de certaines substances et mettent en évidence l'importance de la fraction analysée à considérer dans les analyses (EB et EF). L'intérêt d'associer la matrice eau au dispositif de surveillance ROCCH via des analyses SBSE sur EB et sur EF mériterait d'être étudié pour son apport complémentaire de données pour certaines substances.

Certaines substances n'ont pas été quantifiées ni dans les mollusques, ni dans l'eau marine : chlorfenvinphos, chlorpyrifos, pentachlorophénol, aclonifène, bifénox, cybutryne, terbutryne.

La présente étude permet de déterminer des BAF pour 10 substances. Le nombre de données varie suivant les substances (BAF par prélèvement par site) ; il est plus important pour les composés métalliques Cd, Ni, Pb que pour les substances organiques. Lorsque les données le permettaient, les BAF ont été calculés pour les moules engagées, les moules sauvages (ou d'élevage), voire les huîtres engagées.

Le tableau 30 présente par substance les BAF calculés dans le cadre de cette étude : BAF (moyenne géométrique ME et MS) et BAF minimum mesuré. Le choix de retenir le BAF moyenne géométrique moules (sauvages / d'élevage et engagées) ou BAF minimum pour adapter la $NQE_{\text{eau marine}}$ en VGE mollusques dépend de la volonté d'être plus ou moins protecteur. Une projection des VGE mollusques est faite suivant les deux options : en utilisant le BAF minimum et le BAF moyenne géométrique (ME et MS). Les facteurs de conversion (BAF ou BCF) et VGE mollusques correspondantes, précédemment déterminés (4,5) sont indiqués à titre de comparaison (tableau 30) tandis que l'ensemble des BAF, BCF expérimentaux et des BCF_{QSAR} identifiés lors de l'étude de 2016 est présenté tableau 31.

Pour les métaux, le BAF cadmium (moyenne géométrique à 13 528 L.kg^{-1} p.h.) est cohérent avec ce qui a été mesuré en Méditerranée dans une étude sur la bioaccumulation (12 350 L.kg^{-1} p.h.) (24), il est supérieur à ce qui a été calculé sur la base des données acquises via le programme Seine Aval (4,25) (2 861 L.kg^{-1} p.h.), Toutefois les données Seine Aval n'avait pas pour objet la détermination de la bioaccumulation, il s'agissait d'un rapprochement des données existantes. L'acquisition de données en estuaire pour la détermination de BAF est très délicate, puisqu'il est difficile de considérer qu'un équilibre est atteint (organisme - eau environnante) dans un environnement soumis à d'importantes et continues variations de conditions d'exposition.

Pour le plomb, le BAF mesuré (BAF moyenne géométrique : 3 326 L.kg⁻¹ p.h.) est inférieur à ce qui a été publié et mesuré par S. Casas en Méditerranée (7 473 L.kg⁻¹ p.h.) (24). L'utilisation de ce BAF (moyenne géométrique) pour calculer une VGE mollusques aboutit à un seuil à 4 324 µg.kg⁻¹ p.h., soit un seuil bien supérieur au seuil sanitaire existant (1 500 µg.kg⁻¹ p.h.), ce qui n'apparaît pas cohérent (21). L'utilisation du BAF minimum permet de déterminer une VGE mollusques à 829,4 µg.kg⁻¹ p.h., qui est ainsi en dessous du seuil sanitaire.

Le nickel n'était pas inclus dans l'étude initiale.

Pour 5 des 7 substances organiques, les BAF sont bien inférieurs aux facteurs de conversion préalablement identifiés (BAF, BCF expérimental ou même BCF_{QSAR}) (4,5) : l'anthracène (BAF est à 474,7 contre un BCF_{QSAR} à 1 738 L.kg⁻¹ p.h.) ; le naphthalène (BAF à 19,98 contre un BCF_{QSAR} à 107 L.kg⁻¹ p.h.) ; octylphénol, le HCH, DDT total (BAF à 378 bien inférieur au BAF mesuré précédemment en Méditerranée à 51 300 L.kg⁻¹ p.h.) (4), ce qui aboutit à une VGE_{mollusques} proposée bien plus basse. Pour le TBT, un BAF a été mesuré sur huître, il est légèrement supérieur au BCF_{QSAR}.

Toutefois pour l'octylphénol, le DDT total, le TBT, le calcul de BAF ne repose que sur une seule valeur quantifiée dans la matrice eau marine, ce qui nécessiterait d'acquérir des données complémentaires pour consolider les valeurs proposées.

Enfin pour les PBDE, il ne s'agit pas ici de proposer une VGE mollusques adaptée d'une NQE_{eau marine} car une NQE biote existe déjà pour cette famille de substances. Cette NQE biote est applicable aux poissons et son adaptation aux mollusques nécessite d'utiliser un autre facteur de conversion (TMF), qui n'est pas étudié ici.

S'agissant des taxons considérés, la majorité des BAF minimum est obtenue pour les moules (4 moules sauvages (ou d'élevage) et 4 moules encagées), et 2 sur les huîtres encagées. Ainsi, sur la base des données obtenue un seuil déterminé sur les moules est protecteur vis-à-vis des huîtres, à l'exception du nickel, pour lequel le BAF huître encagées est plus bas.

Pour le TBT comme indiqué précédemment, nous ne disposons que d'une seule mesure de BAF, mesure faite sur huîtres encagées, a priori le BAF moule n'ayant pas été déterminé pour une même exposition, il semblerait que le BAF moule soit plus bas. Toutefois, la méthode SBSE pour la quantification du TBT étant en développement et compte tenu des problèmes analytiques rencontrés, il pourrait être envisagé d'acquérir des données complémentaires. Cette étude pourrait concerner le TBT mais aussi les substances précédemment mentionnées : DDT total, octylphénol ainsi que la cyperméthrine et les pesticides cyclodiènes, substances pour lesquelles aucune VGE mollusques n'avaient pu être proposée précédemment. Ces substances ont été quantifiées dans les mollusques et dans l'eau, mais pas sur les mêmes sites, par conséquent, il serait intéressant de compléter les BAF manquants avec la collaboration de laboratoire d'analyses experts.

Tableau 30 : Bilan des BAF proposés par substance et projection des VGE mollusques

Substances	Fraction	BAF proposé (L.kg ⁻¹ p.h.)		Facteur de conversion BAF - BCF L. kg ⁻¹ p.h.	VGE mollusque µg.kg ⁻¹ p.h.	NQE eau marine µg.L ⁻¹	Projection VGE mollusques µg.kg ⁻¹ p.h.	
		BAF minimum	BAF (moyenne géométrique)	(Sire, Amouroux 2016 ; Amouroux, Brun, 2018)			BAF mini	BAF (moyenne géométrique)
Cadmium	EF	9852 (ME)	EF : 13 528 (ME et MS) (n=9)	[2 861-20 091] (BAF)	572,2	0,2	1970,4	2705,6
	DGT	7117 (MS)	10 557 (ME et MS) (n=7)					
Nickel	EF	430 (HE)	1009 (ME et MS) (n=9)	-	-	8,6	3698	8677,4
	DGT	617 (MS)	1108 (ME et MS) (n=7)					
Plomb	EF	638 (ME)	3326 (ME et MS) (n=8)	[4 341- 21432] (BAF)	5643* (1500 EC)	1,3	829,4	4323,8
	DGT	2853 (MS)	9692 (ME et MS) (n=6)					
Anthracène	EB	214 (MS) (EB)	474,70 (ME et MS) (EB) (n=3)	1 738 (BCF ^{QSAR}) 3065 (BAF)	173,8	0,1	21,4	47,47
PBDE	EB et EF	11,19 (MS) (EF)	58,14 (ME et MS) (EB et EF) (n=11)	-	-	(NQE biote)	-	-
DDT Total	EF	378 (ME) (EF) (n=1 ME)		51 300 (BAF)	1282,5	0,025	9,45	
HCH	EB	27 (MS) (EB)	84,42 (ME et MS) (EB et EF) (n=4)	141 (BCF expérimental)	0,28	0,002	0,054	0,17
Naphtalène	EB	1,52 (ME)	9,83 (ME et MS) (EB) (n=6)	107 (BCF ^{QSAR}) 5671 (BAF)	214	2	3,04	19,66
Octylphénol	EF	145 (ME) (EF) (n=1)		229-6166 (BCF ^{QSAR})	2,29	0,01	1,45	
TBT	EB	170 (HE) (EB) (n=1 sur HE)		66-525 (BCF ^{QSAR})	0,013*	0,0002	0,034	

En gras : facteur de conversion retenu pour la proposition de VGE mollusques 2018

* : VGE déterminée mais non proposé Guide REEL 2019 (5)

Tableau 31 : Comparaison des BAF proposés via l'étude BAF (minimum et moyenne géométrique) aux BAF et BCF issus de la bibliographie (4)

Substance	BCF (L.Kg ⁻¹ P.H.) (médiane)	BCF (L.Kg ⁻¹ P.H.)				Biomonitorage passif BAF (L.Kg ⁻¹ P.H.) (médiane)		Biomonitorage actif BAF (L.Kg ⁻¹ P.H.) (médiane)			BAF (L.kg-1 p.h.)
	Expérimental	QSAR				Publications BAF dissous (nombre de données)	Programme Seine-Aval BAF dissous	RINBIO BAF dissous	Post-doctorat S. Casas BAF dissous + particulière	Thèse S. Casas BAF dissous	Etude BAF mollusques 2016-2019
		Equation 1	Equation 2	Equation 3	Equation 4						
Anthracène	-	513	1622	1738	1259	3065 (n = 2)	-	-	-	-	BAF minimum : 214 (MS) BAF moyenne : 475 (n=3)
Cadmium et ses composés	-	-	-	-	-	12350 (n = 5)	2861 (novembre - 1993/2002) (n = 10)	8560 - 20091 (exposition 3 mois fin en juillet) (n = 6)	-	10260 - 14250 (exposition 3 mois fin en décembre) (n = 2)	BAF minimum : 9852 - (MS) BAF (moyenne) : 13528 - (ME et MS) (n=9)
DDT Totaux	-	-	-	-	-	-	-	-	51300 - 64600 (exposition 3 mois fin en décembre) (n = 2)	-	378 (ME)
Alpha HCH	-	89	269	263	151	-	-	-	361 - 380 (HCH totaux) (exposition 3 mois fin en décembre) (n = 2)	-	BAF minimum : 27 (MS) BAF (moyenne) : 84 (HCH total)
Beta HCH	-	102	316	309	182	-	-	-		-	
Delta HCH	-	182	550	562	355	-	-	-		-	
Gama HCH (Lindane)	141	52	157	150	79	-	-	-		-	
Plomb et ses composés	-	-	-	-	-	7473 (n = 4)	-	4341 - 21432 (exposition 3 mois fin en juillet) (n = 6)	-	9880 - 12730 (exposition 3 mois fin en décembre) (n = 2)	BAF minimum : 638 - (ME) BAF moyenne : 3326 - (ME et MS) (n=8)
Naphtalène	-	38	219	107	55	5671 (n = 1)	-	-	-	-	BAF minimum : 1,5 (MS, n=3) ; BAF moyenne : 10 (MS, ME, n=8) ; 129 (HE, n=2)
4-tert-octylphénol	-	78 - 1738	234 - 5495	229 - 6166	126 - 5495	-	-	-	-	-	145 (ME) (EF) (n=1)
Composés du TBT	-	24 - 170	71 - 513	66 - 525	31 - 324	-	-	-	-	-	170 (HE) (EB) (n=1)
Tributyletain cation	-	24 - 170	701 - 513	66 - 525	31 - 324	-	-	-	-	-	
Nickel											BAF minimum : 430 - (HS) BAF médian : 1009 (ME et MS) (n=9)

Bibliographie

1. Amouroux I, Sire A. Méthodologie de détermination d'un facteur de bioaccumulation (BAF) sur les mollusques en milieu marin. BAF opérationnel déterminé dans un contexte DCE. Ifremer, RBE/BE/ARC : 2016.10, programme Onema, juillet 2016, 43 p. 2016.
2. E.C. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Union L327/1, 22.12.2000.
3. U.E. Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. Official journal of the European Union. 24.8.2013. L 226/1.
4. Sire A, Amouroux I. Détermination de Valeurs Guides Environnementales (VGE) mollusques alternatives aux Normes de Qualités Environnementales (NQE) eau définies dans la DCE. Rapport Ifremer, RBE/BE/ARC/16.01, programme ONEMA, janvier 2016, 81p. 2016.
5. Amouroux I, Brun M. Substances prioritaires DCE : Cohérence et applicabilité des seuils mollusques existants en milieu marin : DCE (NQE, VGE) et OSPAR (EAC, BAC). Ifremer, RBE/BE/ARC : 2018.01-v2, programme AFB, mai 2018, 62 p. 2018.
6. MTES/DGALN/DEB/ELM3. Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE. Février 2018, 277 p.
7. Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'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 [Internet]. JORF n°0199 du 30 août 2018. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/7/27/TREL1819388A/jo/texte>
8. ASTM I. Standard Guide for Conducting In-situ Field Bioassays With Caged Bivalves. Designation: E2122 – 02 (Reapproved 2013). 30 p. 2013.
9. Sire A, Amouroux I. Note de position : Avantages et limites du recours aux BCF - BAF pour produire des VGE mollusques équivalentes aux NQE définies dans l'eau (DCE 2013/39/UE). Ifremer, RBE/BE/ARC – 12.02, février 2016, 9 p. 2016.
10. E.C. CIS Guidance Document n°27 for deriving Environmental Quality Standards. Updated version 2018. 2018;210.
11. US EPA. Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health (2000). Technical Support Document. Volume 2: Development of National Bioaccumulation Factors. United States Environmental Protection Agency. Office of Water. Office of Science and Technology. EPA-822-R-03-030, December 2003. :210.
12. US EPA. Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health (2000). United States Environmental Protection Agency. Office of Water. Office of Science and Technology. EPA-822-B-00-004, October 2000. :185.

13. Arnot JA, Gobas F. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews* 14. 2006;257-97.
14. ASTM International. Standard Guide for Conducting In-situ Field Bioassays With Caged Bivalves-- E21211-02 (Reapproved 2013). 30 p. [Internet]. ASTM International; [cité 27 août 2019]. Disponible sur: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E2122-02R13>
15. Amouroux I, Claisse D. AQUAREF - Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE (matrices : eau, sédiment et biote) - Recommandations techniques – Edition 2015, 24 p. 2015.
16. OSPAR Commission. Lignes directrices JAMP de la surveillance des contaminants dans le milieu vivant. Référence No. 1999-02, révision en 2012, 132 p. 2012.
17. Andral B, Stanisiere J-Y, Sauzade D, Damier E, Thebault H, Galgani F, et al. Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Marine Pollution Bulletin*. 2004;(n°49):704-12.
18. Claisse D. RNO 2006 - Surveillance du Milieu Marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Edition 2006. Ifremer et Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. ISSN 1620-1124.
19. Martincié D, Nürnberg HW, Stoepler M, Branica M. Bioaccumulation of heavy metals by bivalves from Lim Fjord (North Adriatic Sea). *Marine Biology* 81. 1984;177-88.
20. Commission Européenne. DIRECTIVE 2009/90/CE DE LA COMMISSION du 31 juillet 2009 établissant, conformément à la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil, des spécifications techniques pour l'analyse chimique et la surveillance de l'état des eaux.
21. Commission Européenne. Règlement (CE) n o 1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. p. 20.
22. OSPAR Commission. Meeting of the Hazardous Substances and Eutrophication Committee (HASEC). Correction of OSPAR EACs for CBs. Bonn (Germany), 17-21 March 2014; HASEC 14/14/1-E, Annex 5, 2 p. 2014.
23. Gonzalez J-L, Guyomarch J. Quantification des contaminants organiques dissous par échantillonnage passif intégratif (SBSE in situ).– Action G2b1 - Rapport final AQUAREF 2019 – 26p. 2020.
24. Casas S. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat. Université du sud –Toulon – Var (France) : 314 pp. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/356/>. 2005;
25. Boutier B, Chiffolleau J-F, Auger D, Truquet I. Influence of the Loire river on dissolved lead and cadmium concentrations in coastal waters of brittany. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 36, 133-145. 1993;



Office Français de la Biodiversité
Hall C – Le Nadar
5 square Félix Nadar
94300 Vincennes
<https://www.afbiodiversite.fr/>

Ifremer
Rue de l'Île d'Yeu
BP 21105
44311 Nantes cedex 3
www.ifremer.fr/