

# PROGRAMMES DE SURVEILLANCE DCSMM « POISSONS ET CEPHALOPODES, CONTAMINANTS, QUESTIONS SANITAIRES » SUR LES PLATEAUX CONTINENTAUX

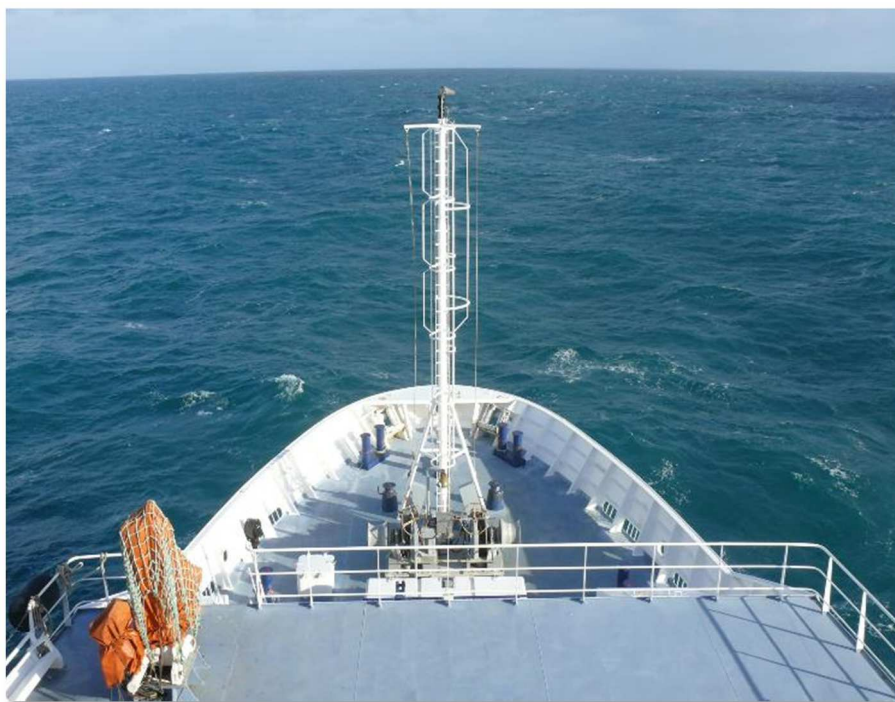
-

## BILAN DES ESSAIS ET OPTIMISATION DU SUIVI MUTUALISE « RESEAUX TROPHIQUES ET CONTAMINANTS » SUR LES CAMPAGNES HALIEUTIQUES DCF 2014-2015

*Benoit Mialet (CNRS-INEE, La Rochelle), Daniela Banaru (UMR MIO, Marseille), Jérôme Baudrier (Ifremer, Nantes), Paco Bustamante (Université de La Rochelle), Rachida Chekri (ANSES, Maisons Alfort), Pierre Cresson (Ifremer Boulogne), Mireille Harmelin-Vivien (UMR MIO, Marseille), François Le Loc'h (UMR LEMAR, Brest), Aourell, Mauffret (Ifremer, Nantes) Philippe Marchand (LABERCA, Nantes), Laëtitia Petit (CNRS-INEE, Caen), Solène Prieur (CNRS, La Rochelle), Lynda Saibi-Yedjer (ANSES, Maisons Alfort), Sandrine Serre (CNRS-INEE, Marseille), Jérôme Spitz (Université de La Rochelle), Charles-André Timmerman (Ifremer Boulogne), Pauline Vouriot (CNRS-INEE, Marseille), Nathalie Wessel (Ifremer, Nantes)*

Contact : [benoit.mialet@hotmail.fr](mailto:benoit.mialet@hotmail.fr)

2 mars 2017





# PREFACE

Ce document s'adresse à un public large, familier ou non avec les problématiques couvertes par la Directive Cadre "Stratégie pour le Milieu Marin" (DCSMM). Ce public inclut donc le personnel intervenant sur la mise en œuvre de la DCSMM, les scientifiques, et toute personne concernée par la surveillance de l'état de santé du milieu marin.

L'objectif du document est de valoriser les travaux menés lors des essais du Programme de Surveillance de la DCSMM. Ces essais ont consisté à tester des protocoles visant à utiliser les campagnes océanographiques benthodémersales et pélagiques existantes pour collecter les données indispensables à la construction et au renseignement d'indicateurs du Bon État Écologique. Cette collecte de données implique la participation de plusieurs laboratoires de recherche pour la prise en charge du traitement et de l'analyse des échantillons. Cette participation n'aurait pas été possible sans la prise en compte dans la conception même du programme de surveillance de la plus-value importante qu'apportent ces données à la recherche fondamentale, socle indispensable à la mise en place de programme de surveillance pertinent. Les données ainsi récoltées sur les réseaux trophiques et sur les concentrations en contaminants dans les organismes serviront à la fois des objectifs de surveillance et d'acquisition de connaissance sur le fonctionnement des écosystèmes marins. Ce document traitera donc aussi bien des objectifs opérationnels pour la mise en œuvre de la DCSMM (avec la proposition d'un suivi optimisé et le renseignement d'indicateurs DCSMM actuels) que des apports pour la connaissance.

Pour faciliter la lecture, des encadrés synthétiques en début de chapitres résument leur contenu et les points essentiels.

# REMERCIEMENTS

Nous tenons en premier lieu à remercier le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer pour avoir cru en ce projet ambitieux et apporté son soutien financier.

La conception d'un tel suivi a nécessité une mobilisation importante d'experts et de pilotes scientifiques DCSMM, sur tout le territoire national, notamment au sein des UMR LIENSs, MIO, LEMAR, de l'UMS PELAGIS, de l'ANSES, des centres Ifremer de Boulogne, Sète et Nantes. Ces experts sont trop nombreux pour être tous cités, mais nous tenons à les remercier chaleureusement pour leurs contributions souvent bénévoles.

Le soutien des chefs de mission des campagnes halieutiques PELGAS, PELMED, EVHOE, IBTS, et MEDITS a permis la réalisation des échantillonnages. Nous les remercions pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce projet.

Ce travail n'aurait pas pu aboutir sans la participation bénévole de l'Association pour l'Etude et la Conservation des Sélaciens (APECS), sans qui nous n'aurions pu obtenir d'échantillons sur la campagne EVHOE 2014 : <http://www.asso-apecs.org/>. Ce travail n'aurait également pas pu aboutir sans le travail des laboratoires prestataires, qui ont fait preuve d'une persévérance à toute épreuve face aux nombreuses contraintes administratives (centre Ifremer de Boulogne, UMR LEMAR, UMR LIENSs, UMR MIO, UMS PELAGIS, LABERCA, ANSES).

Merci enfin à la coordination DCSMM Ifremer (Nantes) pour les nombreux coups de mains apportés tout le long de cette aventure.



*Journée scientifique pour la valorisation des données des essais du suivi DCSMM « Réseaux tropiques et contaminants », 16 décembre 2016, Centre CNRS Paris Michel Ange*

# TABLE DES MATIERES

I. Bref historique et objectifs de ces essais .....	5
II. Méthodologie du suivi mutualisé .....	9
1. Approche générale du suivi mutualisé.....	11
2. Limites et recommandations associées à ce suivi.....	13
3. Déroulement des essais du suivi mutualisé (2014-2016).....	15
4. Optimisation du protocole pour le suivi mutualisé (terrain et laboratoire).....	17
III. Renseignement des indicateurs du BEE (évaluation 2018) par le suivi mutualisé.....	21
1. Descripteur 4 (réseaux trophiques).....	24
2. Descripteur 8 (contaminants dans le milieu) .....	33
3. Descripteur 9 (questions sanitaires) :.....	47
IV. Analyse et interprétation des données issues des essais .....	49
1. Résultats obtenus sur la façade Manche (IBTS 2015).....	52
2. Résultats obtenus sur la façade Atlantique (EVHOE 2014 et PELGAS 2015) .....	67
3. Résultats obtenus sur la façade Méditerranéenne (MEDITS et PELMED 2015).....	83
V. Références bibliographiques.....	101

Pour citer ce document :

Mialet, B., D. Banaru, J. Baudrier, P. Bustamante, R. Chekri, P. Cresson, M. Harmelin, F. Le Loc'h, A. Mauffret, P. Marchand, L. Petit, S. Prieur, L. Saibi-Yedjer, S. Serre, J. Spitz, C.-A. Timmerman, P. Vouriot & N. Wessel, 2017. Bilan des essais et optimisation du suivi mutualisé « réseaux trophiques et contaminants » sur les campagnes halieutiques DCF 2014-2015. (Rapport pour le projet DCSMM). 108 pp.

## Liste des abréviations

BAC : Background Assessment Concentrations  
BC : Background Concentration  
BEE : Bon État Écologique  
D4, D8, D9 : Descripteurs DCSMM 4, 8 et 9  
DCE : Directive Cadre sur l'Eau  
DCF : Data Collection Framework  
DCSMM : Directive Cadre "Stratégie pour le Milieu Marin"  
DEB : Direction Eau et Biodiversité  
EAC : Environmental Assessment Criteria  
ETM : Eléments traces Métalliques  
EVHOE : Évaluation des ressources Halieutiques de l'Ouest de l'Europe  
IBTS : International Bottom Trawl Survey  
IRI : Indice d'Importance Relative  
LD : Limite de Détection  
LQ : Limite de Quantification  
N/O : Navire océanographique  
NQE : Norme de qualité Environnementale  
MEDITS : International bottom trawl survey in the Mediterranean  
MEEM : Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer  
OSPAR : Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (Oslo-Paris)  
PAMM : Plan d'Action pour le Milieu Marin  
PCB : Biphényles polychlorés  
PCDD : Dioxines  
PCDF : Furanés  
PdS : Programme de Surveillance DCSMM  
PELGAS : PELagiques golfe de GAScogne  
PELMED : PELagiques MEDiterranée  
POP : Polluants Organiques Persistants  
ZEE : Zone Economique Exclusive



## **I. BREF HISTORIQUE ET OBJECTIFS DE CES ESSAIS**

---

Photo en page précédente : vue sur du N/O Thalassa (IBTS 2015) © Jérôme Baudrier - Ifremer



L'élaboration du Programme de Surveillance (PdS) de la Directive Cadre "Stratégie pour le Milieu Marin" (DCSMM) s'est déroulée entre 2012 et 2014, sous la direction de la Direction Eau et Biodiversité (DEB) du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) et sous la coordination de l'Agence des Aires Marines Protégées et de l'Ifremer. Les données issues de ce PdS doivent répondre à deux besoins principaux : l'évaluation de l'atteinte des objectifs fixés par la directive (notamment maintien ou atteinte du bon état écologique, atteinte des objectifs environnementaux et efficacité des mesures mises en place) via des indicateurs existants, ainsi que la construction de nouveaux indicateurs.

Les pilotes scientifiques (des descripteurs DCSMM 1 à 11) ont coordonné les travaux relatifs à la mise en œuvre du programme de surveillance DCSMM. En 2012, chacun des pilotes a proposé un certain nombre de suivis du milieu marin en vue de compléter les suivis existants et de répondre aux besoins de la DCSMM en matière de collecte de données<sup>1</sup>. Ils ont à cette occasion identifié les campagnes halieutiques comme support potentiel de suivis complémentaires à la surveillance actuelle, essentiellement ciblée vers les expertises halieutiques. Suite aux propositions de 2012, l'optimisation des campagnes pour la DCSMM a été jugée prioritaire car elle permettait de collecter à des coûts modérés des données au large (coûts bateau financés par la DCF – accord DG-Mare / DG-Env). Une étude de faisabilité a donc été lancée dès octobre 2013 pour juger de la compatibilité des suivis proposés par les pilotes scientifiques avec les opérations liées à l'évaluation des stocks halieutiques.

L'étude a débouché sur le déploiement d'essais sur le terrain entre septembre 2014 et août 2015 (Baudrier et al., 2015). L'Ifremer a ainsi coordonné les travaux d'adaptation des protocoles existants de surveillance halieutique aux besoins de la DCSMM et la mise en place des protocoles dans le cadre de tests d'opérationnalité. L'objectif de ces essais était de vérifier la compatibilité des protocoles proposés avec ceux des campagnes d'évaluations des stocks halieutiques et, sous réserve de leur faisabilité, de les ajuster afin de les rendre totalement opérationnels pour la mise en place définitive du PdS.

Cette étape préliminaire a été une nécessité dans l'élaboration du PdS, car il n'est techniquement pas possible d'appliquer un protocole théorique en routine sans qu'il n'ait été confronté au préalable aux réalités de terrain et de laboratoire. Un rapport de synthèse a été diffusé aux principaux partenaires en novembre 2015 (Baudrier, 2015). Il a été accompagné d'une note présentant l'évaluation des coûts (équipement, fonctionnement et ressources humaines) pour les suivis DCSMM proposés à bord des campagnes halieutiques.

Depuis le début 2016, les suivis sont inscrits dans les programmes de surveillance et déployés de manière opérationnelle à bord des campagnes DCF. Ils permettent l'acquisition de données sur les oiseaux, les mammifères marins, les déchets (macrodéchets flottants ou de fond, microplastiques), le zooplancton gélatineux, le bruit, les paramètres physico-chimiques, le phytoplancton et le zooplancton...

Certaines propositions de suivis, adaptées aux campagnes, ciblaient les mêmes espèces de poissons et de céphalopodes sur les plateaux continentaux. La récolte d'échantillons de façon indépendante pour chaque descripteur n'étant pas envisageable en terme de moyens humains et matériels, une réflexion portée par le CNRS sur un suivi mutualisé pour plusieurs descripteurs est née. Ce suivi concerne les descripteurs suivants :

---

<sup>1</sup> « Proposition scientifique et technique de paramètres et dispositifs de suivi par thématique ».

- Descripteur 4 « Réseau trophique » : tous les éléments constituant le réseau trophique marin, dans la mesure où ils sont connus, sont présents en abondance et diversité normales et à des niveaux pouvant garantir l'abondance des espèces à long terme et le maintien total de leurs capacités reproductives ;
- Descripteur 8 « Contaminants » : le niveau de concentration des contaminants ne provoque pas d'effets dus à la pollution ;
- Descripteur 9 « Questions sanitaires » : Les quantités de contaminants présents dans les poissons et autres fruits de mer destinés à la consommation humaine ne dépassent pas les seuils fixés par la législation communautaire ou les autres normes applicables.

La coordination DCSMM a donc mandaté le CNRS, déjà en charge du pilotage scientifique du descripteur 4 "Réseaux trophiques", d'organiser la création d'un protocole de suivi mutualisant les demandes des descripteurs 4, 8 ("Contaminants") et 9 ("Questions sanitaires") prévus sur les mêmes campagnes DCF, en collaboration avec les pilotes scientifiques concernés et avec la communauté scientifique<sup>1</sup>. Ce suivi mutualisé, élaboré en 2014, s'inscrit dans plusieurs programmes thématiques des PdS du Plan d'Action pour le Milieu Marin (PAMM) : "Surveillance des poissons et céphalopodes", "Surveillance des contaminants" et "Questions sanitaires". Un financement a été pourvu par la DEB pour permettre au CNRS et à l'Ifremer de superviser l'accomplissement de cette phase d'essais pour le suivi mutualisé du réseau trophique et des contaminants.

Les objectifs des essais relatifs au suivi mutualisé ont été les suivants :

1. Tester le protocole du suivi mutualisé sur le terrain et en laboratoire afin de proposer une méthodologie optimisée et commune aux descripteurs 4, 8 et 9 pour le PdS
2. Contribuer au développement des indicateurs du BEE
3. Contribuer à l'amélioration de la connaissance sur le milieu marin

Le présent rapport traitera les objectifs 1, 2 et 3 respectivement dans les chapitres II, III et IV.

---

<sup>1</sup> Pour faciliter la lecture, ce suivi sera désigné par "suivi mutualisé" dans le reste du document.



## **II. METHODOLOGIE DU SUIVI MUTUALISE**

---

Photo en page précédente : chaîne de tri (IBTS 2015) © Jérôme Baudrier - Ifremer

## 1. Approche générale du suivi mutualisé

Ce suivi se veut « mutualisé », c'est-à-dire ciblant en priorité des espèces présentant un centre d'intérêt commun aux trois descripteurs D4, D8, D9 et concentrant dans la mesure du possible les analyses sur les mêmes individus. Cette approche basée sur le traitement d'espèces et d'individus communs présente plusieurs avantages. Elle permet premièrement de limiter le travail à effectuer à bord en réduisant le nombre d'individus à prélever. Elle augmente ensuite la précision des indicateurs calculés, en réduisant la variabilité potentielle des paramètres entre les individus. Enfin, elle permet pour la première fois une observation simultanée (à l'échelle d'un cycle annuel) des phénomènes concernant les paramètres trophiques et des concentrations en contaminants sur l'ensemble des façades maritimes françaises pour des espèces communes. Ceci constitue une plus-value scientifique cruciale pour la connaissance du milieu marin et pour la caractérisation des disparités entre façades. En contrepartie, ce suivi mutualisé demande un important travail de planification et de coordination. Il a été effectué en grande partie par le D4 entre 2014 et 2016 pour le présent suivi et par l'Ifremer pour l'ensemble des suivis DCSMM. Il nécessite aussi que chaque intervenant respecte un protocole commun (Cf. chapitre II.3).

Les paramètres intéressant les différents descripteurs DCSMM sont les suivants :

**Descripteur 4 (réseaux trophiques) :** densité énergétique des petits poissons pélagiques (calorimétrie), contenus stomacaux et compositions isotopiques (en carbone et en azote) des espèces halieutiques dans les sous-régions marines françaises, couplé à un suivi isotopique des lignes de base trophiques<sup>1</sup>.

**Descripteur 8 (contaminants) :** contamination chimique des principales espèces halieutiques. Les paramètres à suivre sont une liste de contaminants sélectionnés pour leur toxicité, leur persistance, mais aussi sur l'existence de méthodes de mesure et l'existence de critères d'évaluation environnementale et/ou écotoxicologique (Environmental Assessment Criteria (EAC) d'OSPAR, Norme de Qualité Environnementale (NQE) de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), normes sanitaires...). Contaminants suivis *a minima* : métaux lourds (Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Mercure (Hg), Arsenic (As)), Dioxines et furanes (PCDD et PCDF), PCB dioxin-like et non dioxin-like.

**Descripteur 9 (questions sanitaires) :** contamination chimique des produits de la pêche (poissons dont poissons prédateurs, mollusques, céphalopodes et crustacés) destinés à la consommation humaine. La liste des paramètres à suivre se base sur le règlement portant sur la fixation des teneurs maximales pour les contaminants dans les denrées alimentaires (CE) n°1881/2006. Les contaminants suivis *a minima* sont identiques à ceux du descripteur 8.

Chaque sous-région marine a été découpée en une ou plusieurs zones d'évaluation. Chaque zone correspond à une gamme de valeurs des paramètres jugée homogène sur les groupes biologiques ciblés. Ces zones ont été délimitées de manière à pouvoir mutualiser le suivi d'un plus grand nombre de paramètres possible. La priorité a été donnée aux zones impactées et aux zones représentatives d'un

---

<sup>1</sup> Il est indispensable d'obtenir une ligne de base des compositions isotopiques (en carbone et en azote) des sources de nourriture, qui permettra d'évaluer les niveaux trophiques des espèces. Pour ce suivi, cette ligne de base sera basée sur les consommateurs primaires benthiques (filtreurs suspensivores et déposivores) ou sur le zooplancton.

écosystème. Sept zones d'évaluation sont ainsi retenues : Manche Est, Manche Ouest, mer Celtique, golfe de Gascogne Nord, golfe de Gascogne Sud, golfe du Lion Est, plateau corse Est.

Pour chaque zone, le choix des campagnes océanographiques a été fait de manière à pouvoir échantillonner des espèces pélagiques et démersales dans leur milieu de vie de manière simultanée dans la mesure du possible. Les campagnes de chalutages de fond IBTS et EVHOE ont été retenues pour permettre un échantillonnage couplé et simultané des espèces démersales et pélagiques en Manche, dans le golfe de Gascogne et en mer Celtique. La campagne pélagique PELGAS est venue compléter les prélèvements d'EVHOE dans le golfe de Gascogne, permettant de mettre en évidence la variabilité saisonnière de la densité énergétique des petits poissons pélagiques. Les périodes échantillonnées (automne, début d'hiver) correspondent à une certaine stabilité métabolique (repos sexuel pour une majorité d'espèces) et phytoplanctonique, permettant de comparer entre les années les valeurs pour les paramètres mesurés. Ce couplage benthopélagique n'était pas possible en Méditerranée occidentale étant donné la charge de travail limitée sur le navire océanographique (N/O) utilisé ((N/O) « L'Europe »), qui est un navire côtier, plus petit que les navires hauturiers utilisés sur la façade Atlantique (la campagne de chalutage de fond MEDITS et la campagne pélagique PELMED sont choisies pour permettre respectivement un échantillonnage des espèces démersales et pélagiques quasi simultané au printemps et en été).



*Chaîne de tri des poissons capturés sur le N/O Thalassa (IBTS 2015) © Jérôme Baudrier - Ifremer*

Le choix des espèces à prélever lors de ce suivi n'est pas fixé à l'avance, mais est opportuniste. Il repose sur une liste d'espèces classées par ordre de priorité. Cette approche tient compte du caractère

aléatoire des captures en milieu naturel et permet aux opérateurs d'adapter les prélèvements en fonction des espèces prélevées sur le terrain. Les critères d'intérêt de chaque descripteur ont été mutualisés pour dresser une liste par campagne de chalutage (Cf. chapitre II.3) :

- Espèces ubiquistes, pour une comparaison des paramètres mesurés entre les façades (D4, D8, D9)
- Espèces représentatives des réseaux trophiques, présentes en forte biomasse (D4, D8)
- Espèces majoritairement consommées par l'homme (D9)

Toutes les espèces d'intérêt ne pouvant être échantillonnées une même année, plusieurs échantillonnages sont nécessaires, pour obtenir une évaluation complète sur 6 ans.

Le choix du nombre d'espèces et d'individus à traiter est issu d'un compromis pragmatique entre la faisabilité technique sur le bateau et en laboratoire (en particulier pour les échantillons dédiés à l'analyse des contenus stomacaux), le coût d'analyse (financier et humain) et la quantité de données requise pour la surveillance DCSMM (Cf. chapitre II.2).

## 2. Limites et recommandations associées à ce suivi

Ce suivi a pour but de satisfaire l'essentiel des besoins spécifiques aux descripteurs 4, 8 et 9 évoqués pour le premier et le second cycle DCSMM concernant les communautés de poissons et céphalopodes des écosystèmes des plateaux continentaux, en adoptant une approche pragmatique. **Il n'a pas vocation à couvrir tous les besoins spécifiques à chaque descripteur de manière exhaustive pour ces communautés dans les écosystèmes échantillonnés par les campagnes halieutiques.**

Un document technique de référence sera prochainement diffusé par le CNRS-INEE pour définir ces besoins complets pour le D4. Ce document servira de référence au présent protocole, qui en est une version ajustée, pragmatique, adaptée à trois principales contraintes :

- 1) La faisabilité technique sur le terrain : le présent protocole s'adapte aux campagnes DCF actuelles (saisons et secteurs échantillonnés), ainsi qu'au volume d'échantillons qu'il est possible de prélever et de stocker sur les navires océanographiques concernés, compte tenu de la charge de travail observée sur ces campagnes. La contrainte technique sur bateau est particulièrement forte pour la Méditerranée. En effet, contrairement au navire hauturier « Thalassa » avec lequel sont assurées les campagnes IBTS, CGFS, EVHOE et PELGAS, les campagnes halieutiques de chalutages dans le golfe du Lion et en Corse sont assurées par le navire côtier « L'Europe », un navire de taille plus restreinte (8 scientifiques à bord contre 25 sur le N/O « Thalassa »). Tout le personnel scientifique étant déjà affairé aux obligations des campagnes MEDITS et PELMED, les possibilités d'ajouter des prélèvements pour la DCSMM en Méditerranée sont limitées.
- 2) La capacité analytique des laboratoires en France : le volume d'échantillons destinés aux analyses des contenus stomacaux correspond également à un maximum que les laboratoires français peuvent traiter en une année, toutes façades confondues.
- 3) Le coût de la surveillance : plusieurs étapes successives de priorisation des besoins ont été menées entre 2014 et 2016 sur demande du MEEM et de la coordination en vue de concentrer l'effort sur les besoins essentiels et de réduire le coût de revient de la surveillance. Ce suivi mutualisé n'a pas été plus restreint par cette contrainte que par les deux autres évoquées ci-dessus.

Les besoins complets des descripteurs 4, 8 et 9 pour ce suivi à l'échelle d'un cycle DCSMM ne peuvent

donc pas actuellement être couverts en totalité ni par les campagnes océanographiques DCF ni par les laboratoires français pour la partie analytique sur les contenus stomacaux.

Une première solution à ce manque a été de répartir ces besoins sur plusieurs années de prélèvements et d'analyses des échantillons. **Dans le présent document, le protocole mutualisé présente une seule année de prélèvements. Une attention particulière doit être portée sur le fait qu'une seule année de prélèvements ne suffit pas pour renseigner correctement les besoins en données pour un cycle DCSMM de 6 ans.** Afin de fournir une évaluation de toutes les espèces ciblées, ce suivi devrait idéalement être répété chaque année. **Néanmoins, il est estimé que si 3 années de suivis par cycle DCSMM venaient à être financées au minimum, il pourrait être possible de construire et d'évaluer les indicateurs DCSMM avec le jeu de données obtenu.** Une fois les indicateurs construits, et en fonction des résultats obtenus, il sera possible de revoir la fréquence pour avoir un échantillonnage qui soit le plus optimisé possible.

Enfin, l'absence de suivi sanitaire des invertébrés (mollusques et crustacés) dans ce suivi est à noter, bien qu'il fasse partie du besoin recensé pour les descripteurs 9 et 8. Il a été jugé inopportun d'assurer le suivi de la contamination des mollusques étant donné 1) le coût important des analyses lié à ce suivi spécifique aux D8 et D9 et 2) que le dispositif n'était pas adapté pour l'échantillonnage des espèces ciblées. Pour celles-ci, il serait préférable de prévoir l'ajout d'un nouveau dispositif de suivi standardisé et harmonisé entre les sous-régions marines pour permettre de mieux identifier les éventuelles zones d'accumulation. Ce suivi complémentaire permettrait d'estimer l'évolution spatiale et temporelle de cette contamination et de mettre également en évidence une variabilité saisonnière.

En zone côtière en revanche, le suivi des niveaux de contaminants dans les mollusques est assuré par le réseau national de la contamination chimique du littoral (ROCCH) et permet de renseigner les indicateurs des D8 et D9.



*Le chalutier L'Europe stationné à quai en Méditerranée © Nathalie Wessel – Ifremer*



### 3. Déroulement des essais du suivi mutualisé (2014-2016)

Tableau 1. Intervention des différents établissements (et principaux contacts) impliqués dans la réalisation des essais du protocole mutualisé "Réseaux trophiques et contaminants". L'analyse des échantillons s'est déroulée en 2016.

Campagne DCF	IBTS 2015	EVHOE 2014	MEDITS 2015	PELMED 2015	PELGAS 2015
Conception du suivi	CNRS-INEE (Benoit Mialet), Université de La Rochelle (Paco Bustamante, Benoit Lebreton), LEMAR (François Le Loc'h), Ifremer Nantes (Jean-François Chiffolleau), ANSES (Jean-Cédric Reninger, Lynda Saibi-Yedjer)				
Planification et coordination des travaux	CNRS-INEE (Benoit Mialet), Ifremer Nantes (Jérôme Baudrier)				
Prélèvements sur bateau	Ifremer Boulogne sur Mer - plateforme réseaux trophiques	Association APECS	Ifremer Sète	Ifremer Sète	Ifremer Nantes
Analyses des contenus stomacaux	Ifremer Boulogne sur Mer- plateforme réseaux trophiques	UMR LEMAR - Brest (François Le Loc'h)	UMR MIO -Marseille (Daniela Banaru, Mireille Harmelin-Vivien)		-
Analyse des compositions isotopiques	UMR LIENSs - La Rochelle (Paco Bustamante, Benoit Lebreton)				-
Analyse des densités énergétiques	UMS PELAGIS - La Rochelle (Jérôme Spitz)				
Analyse des contaminants métalliques	ANSES-LSAL - Maisons Alfort (Rachida Chekri)				-
Analyse des contaminants organiques	LABERCA - Nantes (Philippe Marchand)				-

Des laboratoires compétents ont répondu à plusieurs sollicitations envoyées par le CNRS et l'Ifremer pour effectuer les différentes analyses prévues sur les échantillons en tant que prestataires de services. Tous les laboratoires prestataires à l'exception de l'UMR MIO (faute de moyens humains) seraient à nouveau disponibles si ce suivi venait à être pérennisé. L'UMR LEMAR serait en mesure d'assurer la charge de travail précédemment effectuée par le MIO, à partir de 2017.

Les zones où ont eu lieu les prélèvements pour le suivi mutualisé sont représentées sur la Figure 1. Le nord du golfe de Gascogne a été échantillonné lors du leg 2 de la campagne EVHOE (octobre 2014), ainsi que lors du leg 2 de la campagne PELGAS (avril 2015). La partie sud de la mer Celtique a également été échantillonnée lors du leg 2 de la campagne EVHOE. La Manche Orientale a été échantillonnée lors du leg 1 de la campagne IBTS (janvier 2015). L'ensemble des campagnes de la façade Manche/Atlantique ont été assurées par le N/O « Thalassa ». En Méditerranée, les prélèvements ont été effectués sur le plateau continental du golfe du Lion, lors des campagnes MEDITS (mai 2015) et PELMED (juillet 2015). Ces campagnes ont été effectuées par le N/O « L'Europe ». La charge de travail requise pour effectuer le protocole élaboré a nécessité la présence d'un embarquant entièrement dédié sur les campagnes EVHOE et IBTS. Il n'y a pas eu d'opportunité d'échantillonner la partie Sud du golfe de Gascogne (leg 1 d'EVHOE 2014) ni le plateau continental Est de la Corse (MEDITS 2015).

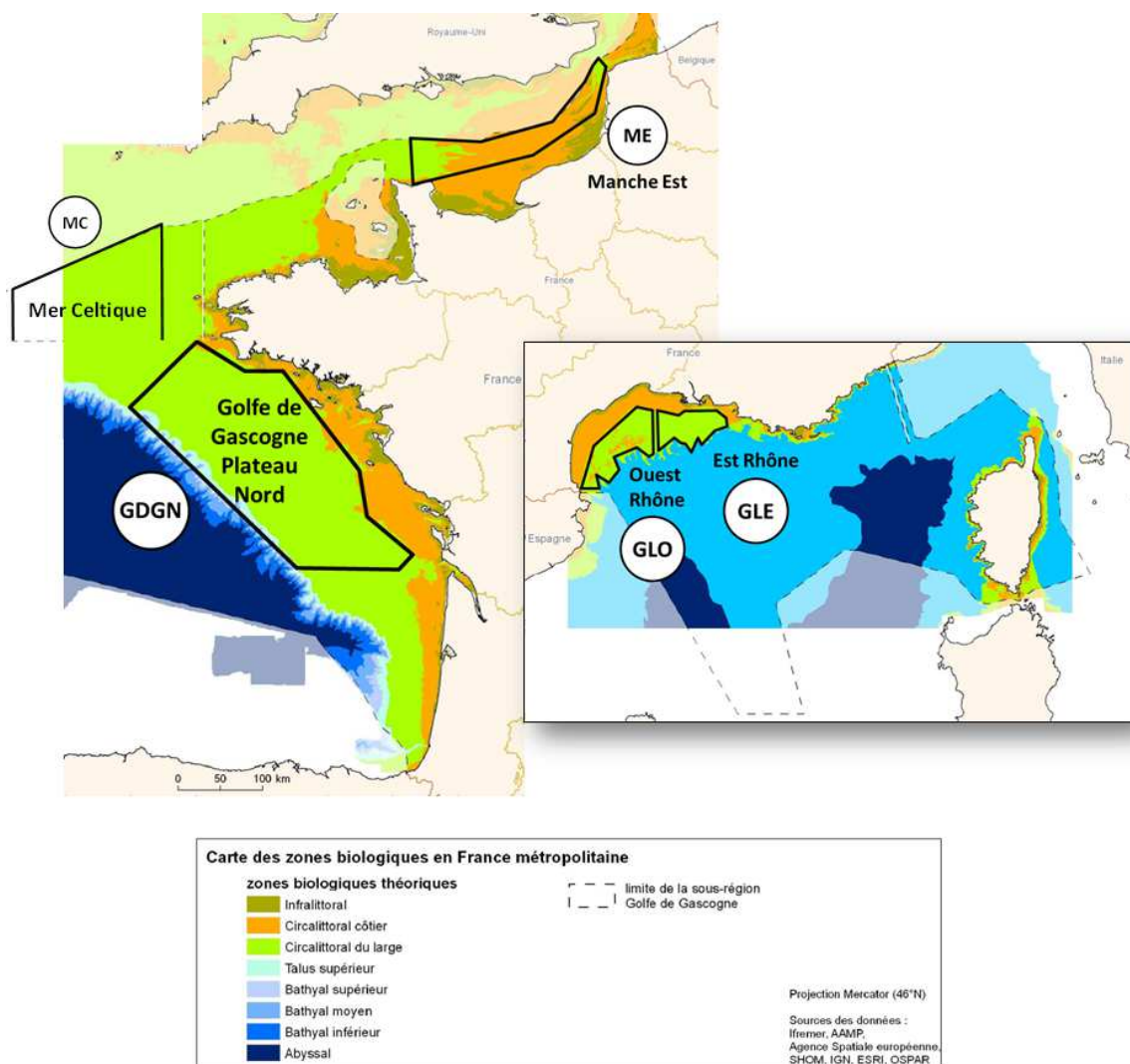


Figure 1. Carte représentant les zones échantillonnées (zones d'évaluation DCSMM) lors des essais du suivi mutualisé "Réseaux trophiques et contaminants" en 2014 et 2015.

Un total de 2502 échantillons a été analysé par les laboratoires prestataires (Tableau 2). Les espèces ciblées n’ont pas toutes été échantillonnées, faute de leur présence dans les chaluts et compte tenu de la charge de travail importante que ces prélèvements ont demandé à l’opérateur. A l’issue de ces essais, le protocole a été optimisé et la demande en échantillons réduite, afin qu’ils soient adaptés au travail sur bateau de chaque campagne (Cf. Chapitres II.2 et II.4).

*Tableau 2. Nombre d’échantillons ayant été analysés par les laboratoires prestataires lors des essais du suivi mutualisé “Réseaux trophiques et contaminants”.*

Type d’analyse	Laboratoire prestataire	Nombre d’échantillons analysés
Contenus stomacaux	LEMAR	391
	Ifremer Boulogne sur Mer	225
	MIO	339
Densité énergétique	PELAGIS	401
Isotopes stables	LIENSs	771
Eléments traces métalliques	ANSES	186
Polluants organiques persistants	LABERCA	189

#### **4. Optimisation du protocole pour le suivi mutualisé (terrain et laboratoire)**

A l’issue de ces essais, un certain nombre d’optimisations ont été apportées au suivi mutualisé. Elles figurent sur le (Tableau 3). Les données exploitées dans ce rapport ont donc été produites suivant le protocole 2014-2015.

Tableau 3. Optimisations apportées au protocole mutualisé entre 2014 et 2016.

	<b>Protocole essais 2014 -2015</b>	<b>Protocole optimisé</b>
<b>Zones d'évaluation</b>	7 (5 réalisées)	7 (GLO, MO ajoutée)
<b>Campagnes ciblées</b>	IBTS, EVHOE, PELGAS, MEDITs, PELMED	CGFS, EVHOE, PELGAS, MEDITs, PELMED
<b>Nombre d'espèces et d'individus suivis par zone</b>	Liste ambitieuse. Espèces récoltées nombreuses mais nombre d'individus souvent insuffisants. Quelques "gaspillages" (espèces avec seulement quelques individus).	Liste révisée, mieux adaptée. Espèces mieux renseignées, moins nombreuses mais avec plus d'individus. Echantillonnage ajusté pour assurer suffisamment d'individus lors de la sélection en laboratoire
<b>Ligne de base isotopique</b>	Zoobenthos : inadapté pour les zones GLE, CE, MC, GDGN, GDGS.	Zoobenthos couplé au zooplancton sur chaque zone.
<b>Heures de prélèvement</b>	Non prises en compte.	Adaptées aux périodes de chasse.
<b>Critères de sélection des individus</b>	Taille. Quelques incohérences détectées.	Sexe/estomac plein/taille. Sélection par taille révisée.
<b>Sélection des individus</b>	Non cadrée (sur le bateau et en laboratoire). Nombreux inconvénients : mutualisation limitée (analyses parfois sur individus différents), dissections sur le bateau trop lourdes.	Cadrée. Assurée par les laboratoires compétents en contenus stomacaux. Mutualisation des analyses optimisée.
<b>Mesure des individus</b>	Sur bateau. Trop lourd à gérer.	Assurée par les laboratoires prestataires. Tailles estimées sur le bateau.
<b>Dissections</b>	Non cadrées (sur le bateau et en laboratoire). Impossible à gérer correctement sur le bateau en plus du travail prévu.	Cadrées. Assurées par les laboratoires compétents en contenus stomacaux. Inconvénient : pas d'individus de très grande taille.
<b>Sexage</b>	Aucun. Empêche une comparabilité interannuelle, entre sexes, et entre stade de maturité pour les contaminants.	Assurée par les laboratoires compétents en contenus stomacaux.
<b>Conditionnement des échantillons</b>	Non cadré. Possibles légers biais méthodologiques.	Cadré. Assurée par les laboratoires compétents en contenus stomacaux. Gain de temps pour les labos prestataires.
<b>Labellisation échantillons</b>	Non cadré. Problèmes de traçabilité. Certains échantillons perdus, impossible à relier à d'autres analyses.	Cadré. Obligatoire en plus du code échantillon propre aux campagnes.
<b>Rangement des échantillons</b>	Non cadré. Beaucoup de temps passé à trier les individus. Erreurs d'acheminement.	Cadré (par zones puis par espèce). Economie de temps en laboratoire.
<b>Saisie des données</b>	Non cadrée. Problèmes importants de compilation des données (3 semaines temps ingénieur). Perte de données.	Cadrée. Compilation des données facilitée.

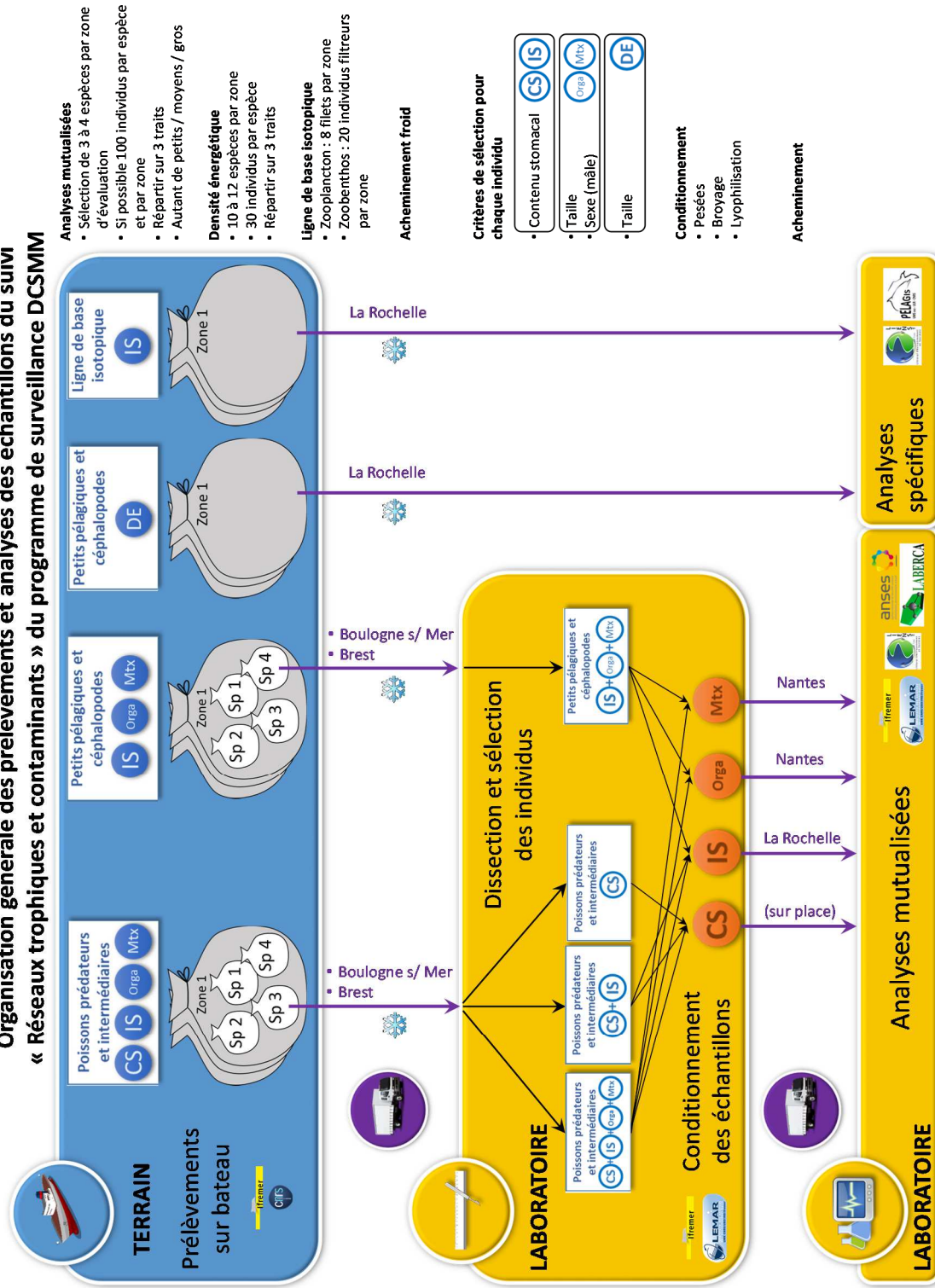
Le CNRS a fourni un guide méthodologique clé en main pour mener efficacement les opérations du suivi mutualisé « réseaux trophiques et contaminants » sur les campagnes de chalutages DCF. Il concerne toutes les opérations, depuis le bateau jusqu'aux analyses par les laboratoires prestataires, incluant la saisie des données. Il résulte de plusieurs étapes d'optimisations successives qui ont eu lieu tout au long de la phase d'essais entre 2014 et 2016. Un schéma général décrivant le déroulement des opérations est fourni à la page suivante.

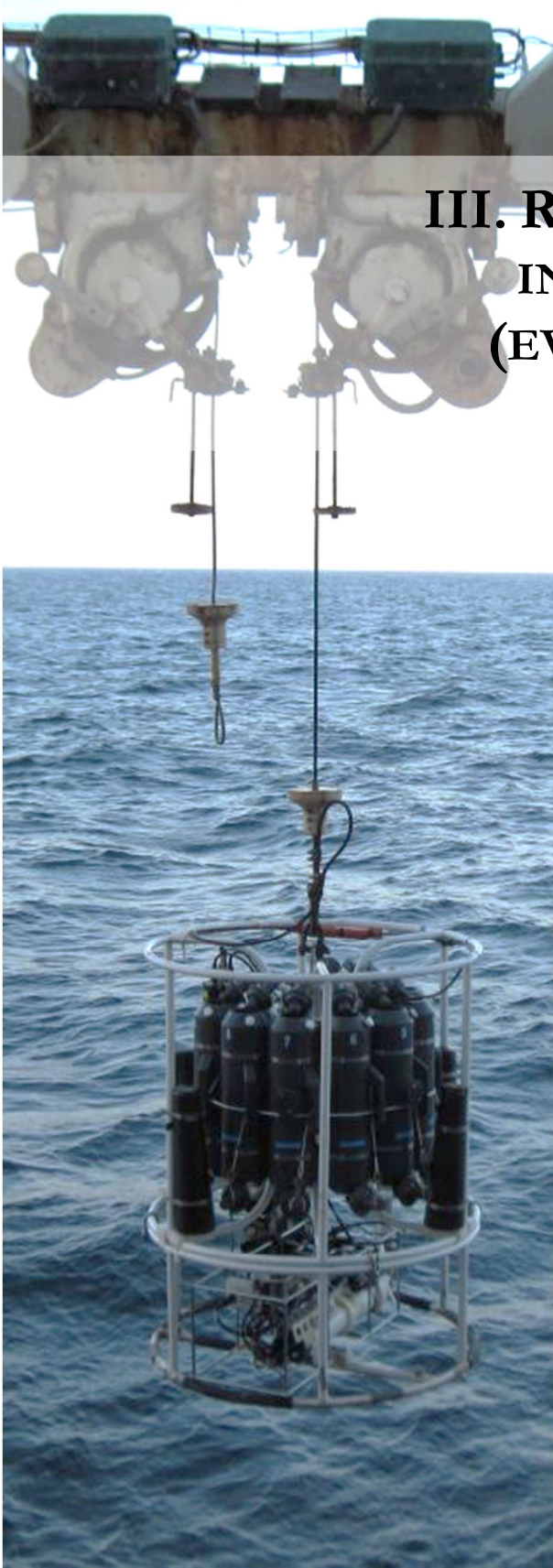
Ce document « *Suivi mutualisé DCSMM D4D8D9 campagnes halieutiques - Protocole 2017* » sera largement diffusé en début d'année 2017 et prochainement téléchargeable sur le site du descripteur 4 DCSMM (<http://www.dcsmm-d4.fr/>) ainsi que sur le site national de la DCSMM.



*Remontée de chalut sur le N/O Thalassa (IBTS 2015) © Jérôme Baudrier - Ifremer*

## Organisation générale des prélèvements et analyses des échantillons du suivi « Réseaux trophiques et contaminants » du programme de surveillance DCSMM





**III. RENSEIGNEMENT DES  
INDICATEURS DU BEE  
(EVALUATION 2018) PAR  
LE SUIVI MUTUALISE**

---

Photo en page précédente : rosette suspendue à son treuil (PELGAS 2015) © Philippe Pineau - CNRS



## Résumé du chapitre

- Les données récoltées dans le cadre de ces essais sont utilisées pour renseigner les indicateurs du BEE de 3 descripteurs DCSMM.
- Descripteur 4 (Réseaux trophiques) : les compositions isotopiques des espèces en carbone et en azote vont permettre de mettre à jour leurs valeurs moyennes de niveaux trophiques dans chaque zone d'évaluation, afin d'affiner le calcul des indicateurs D4 : niveau trophique moyen (OSPAR FW4) et métriques associées aux spectres trophiques de biomasse (OSPAR FW8).
- Les densités énergétiques des poissons fourrages seront exploitées afin de développer un indicateur D4 de l'état nutritionnel des poissons et de la qualité de leur ressource. Les premiers résultats sont encourageants. Les premiers résultats sont encourageants.
- Descripteurs 8 (Contaminants) et 9 (Questions sanitaires) : Les concentrations en éléments traces métalliques et en polluants organiques persistants dans les poissons ont été confrontées aux différents seuils existants (seuil sanitaire, EAC, BAC, NQE) afin d'être intégrés dans deux indicateurs : contamination du biote (D8) et des tissus comestibles (D9).

Les données obtenues vont permettre de renseigner des indicateurs du Bon État Écologique dans 3 descripteurs DCSMM. Certains indicateurs sont également considérés dans le cadre des conventions des mers régionales OSPAR et Barcelone.

## 1. Descripteur 4 (réseaux trophiques)

Tableau 4. Critères et indicateurs du Bon État Écologique de la DCSMM pour le descripteur 4.

Critères	Indicateurs	Part renseignée par le suivi mutualisé DCSMM
<b>D4C1</b> (primaire) : Composition spécifique et leur abondance relative (diversité) dans la guildes trophique	-	-
<b>D4C2</b> (primaire) : Équilibre de l'abondance totale entre les guildes trophiques	Food Web 4 : Niveau trophique moyen des prédateurs marins (MTL) (Indicateur OSPAR)	Paramètre "Niveau trophique"
	Food Web 6 : Structure en taille des communautés zooplanctoniques en relation avec la biomasse ou l'abondance (Indicateur OSPAR)	-
	Food Web 7 : Biomasse et abondance des groupes fonctionnels (Indicateur OSPAR)	-
	Food Web 8 : Spectre trophique de biomasses (BTS) (Indicateur OSPAR)	Paramètre "Niveau trophique"
	Pelagic Habitat 1 : Changement des groupes fonctionnels du plancton (formes de vie) (Indicateur OSPAR)	-
<b>D4C3</b> (secondaire) : Distribution en taille des individus au sein de la guildes trophique	Food Web 3 : Composition en taille des communautés de poissons (TyL) (Indicateur OSPAR)	-
	Food Web 5 / Pelagic Habitat 1 : Changement des groupes fonctionnels du plancton (formes de vie) (Indicateur OSPAR)	-

	Fish Cephalopod 3 : (Indicateur OSPAR)	-
<b>D4C4</b> (secondaire) : Productivité des guildes trophiques	Food Web 1 : Succès reproducteur des oiseaux marins en relation avec la disponibilité des proies (Indicateur OSPAR)	-
	Food Web 2 : Production du phytoplancton (Indicateur OSPAR)	-
	Food Web 9 : Analyse des réseaux écologiques (Ecological Network Analysis) (Indicateur OSPAR)	-
	Densité énergétique des poissons fourrages	Totalité de l'indicateur

## **a. Indicateur Food Web 4 OSPAR (Critère D4C2) : Changements dans le niveau trophique moyen des prédateurs (MTL)**

### **Principe de l'indicateur**

*(Extrait du rapport sur le Bon État Écologique du D4, 2016)*

Le niveau trophique moyen (Mean Trophic Level ou MTL) est un indicateur qui évalue la position moyenne des espèces dans un réseau trophique (niveau trophique des espèces pondéré par leur biomasse) et qui reflète ainsi les variations de structure du réseau trophique. Il prend en compte les vertébrés et les invertébrés.

Le niveau trophique d'une espèce définit sa position dans le réseau trophique. Ainsi, ce niveau va généralement de 1 (producteurs primaires) à plus de 4 pour les prédateurs supérieurs. Il est calculé à partir d'études des régimes alimentaires (analyse des contenus stomacaux) mais aussi à travers l'analyse des signatures isotopiques, qui permettent d'obtenir une estimation de ce niveau trophique. Comme le régime alimentaire d'une espèce peut varier d'une région à l'autre (disponibilité des proies, sélectivité des prédateurs, etc.), en conséquence le niveau trophique varie dans l'espace, dans le temps et en fonction de la taille des individus (Pinnegar et al., 2002 ; Chassot et al., 2008 ; Vinagre et al., 2012). Une estimation régionale de son niveau trophique sera donc plus précise, plus fiable, et représentera mieux les relations « alimentaires » ayant lieu dans la région. Le MTL correspond donc à la valeur moyenne du niveau trophique des espèces, pondérée par leurs biomasses.

C'est un indicateur principalement sensible à la pression de pêche. En effet, les pêcheries ciblent généralement les espèces de haut niveau trophique causant une diminution dans la disponibilité de ces prédateurs dans l'écosystème. Cette diminution pousse les pêcheries à cibler de plus en plus d'espèces de bas niveau trophique, phénomène appelé pour la première fois « fishing down the marine food webs » en 1998 par Pauly et al.

### **Renseignement de l'indicateur par le suivi mutualisé**

Le présent suivi propose de nouvelles valeurs moyennes (et écarts-types) du niveau trophique des principales espèces (à plus forte biomasse) considérées dans le calcul de l'indicateur (Tableau 5).

A l'heure actuelle, les données de niveaux trophiques utilisées sont essentiellement tirées de la bibliographie ou de bases de données en ligne (p. ex. Fish Base). Jusqu'à présent, pour calculer l'indicateur dans les sous-régions marines françaises (dans le golfe de Gascogne uniquement pour le moment), il était nécessaire d'emprunter ces valeurs, en partie mesurées durant des périodes ou dans des écosystèmes différents (avec une préférence pour les régions proches ou écologiquement similaires) ne représentant pas l'état actuel des réseaux trophiques dans la zone considérée. Le calcul de l'indicateur intégrait donc une certaine approximation de ces valeurs de niveau trophique. Ce suivi apporte donc une précision importante dans le calcul de l'indicateur en étant le témoin direct des principales relations alimentaires dans la zone étudiée. La biomasse des espèces quant à elle est mesurée dans les protocoles des campagnes DCF sur lesquelles ce suivi s'implémente.

Ce suivi permettra éventuellement de modéliser la valeur du niveau trophique des espèces en fonction de la taille individuelle. Ceci permettra de calculer un niveau trophique pour chaque individu mesuré sur les campagnes DCF, apportant une précision supplémentaire à l'indicateur (Cf. Chapitre IV).

Enfin il est à noter que pour le présent rapportage des essais, les niveaux trophiques ont été estimés uniquement à partir des compositions isotopiques des espèces. Les données issues de l'analyse des contenus stomacaux seront intégrées ultérieurement pour les estimer de manière plus complète. Ces données pourront aussi être utilisées pour actualiser les modèles trophiques actuels (tels que les modèles ECOPATH ou ECOSIM). Pour rappel, les sorties de tels modèles sont utilisées pour le calcul d'indicateurs de santé des écosystèmes.

### **Analyse des résultats**

Les données du suivi mutualisé ont permis de calculer de nouvelles valeurs de niveaux trophiques pour plusieurs espèces dans les différentes zones d'évaluation DCSMM (Tableau 5). Ces nouvelles valeurs corrigent de **11,6 %** en moyenne les valeurs jusqu'alors empruntées de la bibliographie, ce qui est susceptible d'autant influencer la valeur de l'indicateur qui en découle. Ce résultat est à nuancer du fait que les tailles échantillonnées et que les méthodes d'estimation du niveau trophique utilisées peuvent être différentes entre le présent suivi et les études citées. Cette première série de graphiques

### **Conclusion sur le niveau d'atteinte du Bon État Écologique sur la période échantillonnée**

Les données du suivi seules ne permettent pas de calculer de valeur pour l'indicateur. Elles devront pour cela être complétées par d'autres données de niveaux trophiques afin de renseigner toutes les espèces (bibliographie, bases de données) et des données de biomasses (campagnes DCF). Les travaux sont en cours pour l'évaluation de l'état écologique de 2018.

Les seuils d'atteinte du BEE ne sont pas encore définis pour toutes les sous-régions marines.

Tableau 5. Valeurs de niveaux trophiques actualisées par les données du suivi mutualisé pour les espèces et les zones considérées.

		Essais DCSMM 2014-2015		Bibliographie			
Zone	Espèce	n	Niveau trophique (moyenne ± sd)	Zone	Niveau trophique (moyenne ± sd)	Référence	Année échantillonnée
ME	Grondin rouge	3	4.41 ± 0.22	Manche	4.01 ± 0.28	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Hareng	6	3.75 ± 0.15	Mer du Nord	3.8	Jennings et al. 2002	2001
ME	Bar commun	3	6.72 ± 1.12	Manche	5.50 ± 0.75	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Anchois	12	4.36 ± 0.33		3.1 ± 0.45	Fishbase	
ME	Grondin gris	6	4.74 ± 0.68	Manche	4.40 ± 0.21	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Morue	18	4.86 ± 0.51	Manche	4.51	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Limande	13	4.41 ± 0.42	Manche	3.76 ± 0.39	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Merlan	30	5.64 ± 0.38	Manche	5.08 ± 0.38	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Rouget-barbet de roche	5	4.97 ± 0.29		3.4 ± 0.5	Fishbase	
ME	Plie	40	4.14 ± 0.38	Manche	3.76 ± 0.34	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Lieu jaune	4	5.61 ± 0.22		4.2 ± 0.5	Fishbase	
ME	Maquereau	6	4.59 ± 0.61	Manche	3.44	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Petite roussette	18	4.27 ± 0.31	Manche	4.14 ± 0.39	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Sprat	5	4.53 ± 0.27	Mer du Nord	4.3	Jennings et al. 2002	2001
ME	Chinchard commun	7	4.89 ± 0.16	Manche	4.09 ± 0.08	Jennings et van der Molen 2015	2010
ME	Petit tacaud	9	4.27 ± 0.10	Manche	4.05 ± 0.23	Jennings et van der Molen 2015	2010
GDGN	Anchois	6	3.12 ± 0.24	Golfe de Gascogne	3.9 ± 0.2	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Chinchard commun	6	3.46 ± 0.48	Golfe de Gascogne	4.0 ± 0.2	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Maquereau	6	3.57 ± 0.26	Golfe de Gascogne	4.0 ± 0.3	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Merlan Bleu	22	3.2 ± 0.23	Golfe de Gascogne	4.1 ± 0.1	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Merlu	19	3.53 ± 0.21	Golfe de Gascogne	4.3 ± 0.1	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Petite roussette	29	3.56 ± 0.12	Golfe de Gascogne	4.5 ± 0.1	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Raie Fleurie	23	3.35 ± 0.16	Golfe de Gascogne	3.8 ± 0.1	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Sardine	6	3.51 ± 0.35	Golfe de Gascogne	3.8 ± 0.3	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Sprat	5	3.5 ± 0.22	Golfe de Gascogne	4.0 ± 0.2	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
GDGN	Tacaud commun	6	4.18 ± 0.15	Golfe de Gascogne	4.0 ± 0.1	Chouvelon et al. 2012	2001-2010
MC	Chinchard commun	6	3.86 ± 0.24	Mer celtique	3.94 ± 0.12	Pinnegar et al. 2002	2000
MC	Emissole tachetée	9	3.7 ± 0.16	Mer celtique	4.00 ± 0.06	Pinnegar et al. 2002	2000
MC	Grondins gris	6	3.41 ± 0.27	Mer celtique	3.64 ± 0.07	Pinnegar et al. 2002	2000
MC	Maquereau	6	3.32 ± 0.27	Mer celtique	3.61 ± 0.37	Pinnegar et al. 2002	2000
MC	Merlan Bleu	25	3.08 ± 0.19	Mer celtique	3.14 ± 0.19	Pinnegar et al. 2002	2000
MC	Merlu	22	3.68 ± 0.17	Mer celtique	3.85 ± 0.09	Pinnegar et al. 2002	2000
MC	Petite roussette	26	3.57 ± 0.15	Mer celtique	4.29 ± 0.27	Pinnegar et al. 2002	2000
MC	Raie Fleurie	9	3.52 ± 0.22	Mer celtique	3.88 ± 0.13	Pinnegar et al. 2002	2000
GLO+GLE	Anchois	18	3.5 ± 0.2	Golfe du Lion	3.40 ± 0.44	Stergiou & Karpouzi 2002	1983-2000
GLO+GLE	Chinchard	9	4.1 ± 0.1	Golfe du Lion	3.70 ± 0.48	Stergiou & Karpouzi 2002	1983-2000
GLO+GLE	Encornet rouge	20	3.7 ± 0.9		4.11 ± 0.85	Sealifebase	
GLO+GLE	Maquereau	18	4.0 ± 0.1		3.7 ± 0.6	Fishbase	
GLO+GLE	Merlan bleu	27	3.7 ± 0.5	Baléares sud	3.64	Pinnegar et al. 2003	1996 & 1998
GLO+GLE	Merlu	36	3.8 ± 0.3	Golfe du Lion	3.98 ± 0.67	Stergiou & Karpouzi 2002	1983-2000
GLO+GLE	Petite roussette	49	3.8 ± 0.2	Baléares sud	3.97	Pinnegar et al. 2003	1996 & 1998
GLO+GLE	Sardine	37	3.6 ± 0.4	Castellamare (Sicile)	3.32	Pinnegar et al. 2003	1996 & 1998

## b. Indicateur Food Web 8 OSPAR (Critère D4C2) : *Spectre trophique de biomasse (BTS)*

### Principe de l'indicateur

(Extrait du rapport sur le Bon État Écologique du D4, 2016)

Le spectre trophique de biomasse (Biomass Trophic Spectrum ou BTS) n'est pas un indicateur en soi, mais une représentation sur un même graphique de la distribution de la biomasse des êtres vivants en fonction de leur niveau trophique dans tout ou une partie d'un écosystème. Différentes métriques, calculées à partir des spectres trophiques de biomasse des communautés, ont été étudiées par le leader de cet indicateur (et son équipe) sur des données et modèles de quatre écosystèmes : mer Celtique, golfe de Gascogne, mer du Nord et Manche. Ce sont ces métriques qui constituent concrètement l'indicateur Food Web 8.

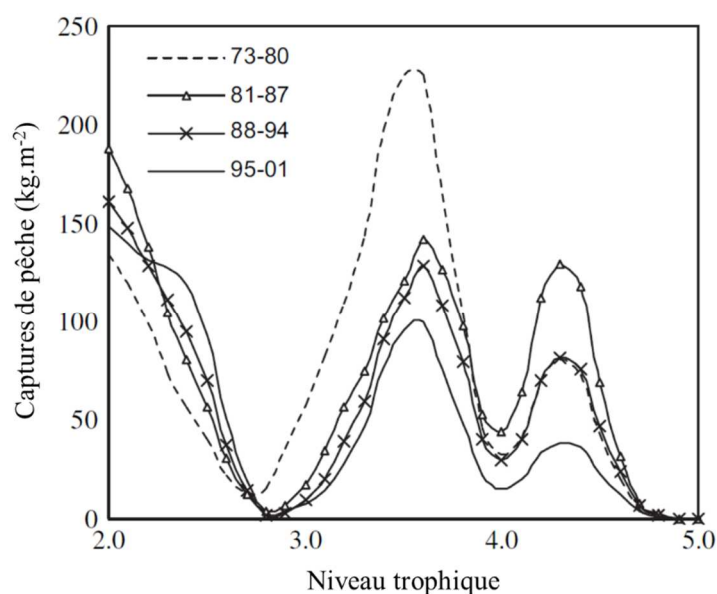


Figure 2. Spectres trophiques de biomasses (BTS) des captures de pêche en mer d'Irlande pour différentes périodes, mettant en évidence les niveaux trophiques les plus impactés. Tiré de Gascuel et al. 2005.

Deux de ces métriques semblent pertinentes pour évaluer les tendances pluriannuelles dans les écosystèmes marins : le HTI (High Trophic level Indicator), ou indicateur des hauts niveaux trophiques, ainsi que l'API (Apex Predator Indicator), ou l'indicateur des prédateurs supérieurs. Le HTI est défini comme la proportion de biomasse des poissons de niveau trophique (NT) supérieur à 4 au sein des consommateurs (NT>2) présents dans l'écosystème. L'API représente la proportion de biomasse des consommateurs ayant un NT>4 sur l'ensemble des prédateurs (NT>3.25). Ces deux métriques concernent les NT supérieurs mais le HTI semble plus pertinent pour les données issues de campagnes halieutiques alors que l'API est recommandé pour les modèles écosystémiques (Bourdaud et al., 2016).

Ces travaux, initialement prévus sur les spectres trophiques de biomasse, se sont finalement orientés

sur des métriques proches de l'indicateur Food Web 4. Il est nécessaire de réfléchir à comment combiner ces 2 approches complémentaires. Cependant les travaux, faute de financements DCSMM dédiés, ont été arrêtés depuis fin 2014. La discussion pourrait être relancée lors du prochain cycle DCSMM.

### **Renseignement de l'indicateur par le suivi mutualisé**

(Cf. Indicateur Food Web 4)

### **Analyse des résultats**

(Cf. Indicateur Food Web 4)

### **Conclusion sur le niveau d'atteinte du Bon État Écologique sur la période échantillonnée**

Aucun seuil du BEE n'est défini à l'heure actuelle, cet indicateur nécessite plus de développement lors du second cycle DCSMM.



## **c. Indicateur (critère D4C4) : Densité énergétique des poissons fourrages**

### **Principe de l'indicateur**

*(Extrait du rapport sur le Bon État Écologique du D4, 2016)*

Le suivi de la densité énergétique des poissons fourrages permet de concevoir un indicateur renseignant à la fois sur l'état de la productivité des bas niveaux trophiques et sur le risque encouru par les prédateurs supérieurs suite à un changement de la qualité de leur alimentation. En effet, il est attendu que les variations de la qualité ou de la disponibilité du plancton affectent l'état nutritionnel des poissons fourrages. Une baisse de la productivité des bas niveaux trophiques dans un écosystème se traduirait par une baisse de la densité énergétique chez les poissons fourrages. Les variations de la densité énergétique des poissons sont de nature également à affecter la dynamique des populations de prédateurs supérieurs, certaines espèces étant contraintes par la qualité de leur alimentation (Spitz et al., 2012).

Cet indicateur reposera donc sur le suivi temporel des densités énergétiques chez des groupes fonctionnels de poissons (Spitz et Jouma'a, 2013), une tendance significativement négative serait signe d'une dégradation du BEE. Cet indicateur est en cours de développement, les données seraient disponibles pour le golfe de Gascogne sur le premier cycle de la DCSMM. Des travaux sur la puissance statistique à détecter des changements à partir du jeu de données disponible sont encore nécessaires pour définir des seuils et tester la robustesse de cet indicateur.

### **Renseignement de l'indicateur par le suivi mutualisé**

Cet indicateur repose entièrement sur les données obtenues par ces suivis. Aucun autre dispositif pérenne actuel ne peut fournir ce type de données pour les communautés du plateau continental.

### **Analyse des résultats**

L'indicateur est en cours de développement et repose sur les données acquises pendant et avant les campagnes mutualisées depuis le début des années 2000. L'indicateur pourra être renseigné soit à l'échelle de l'espèce (Figure 3), soit à l'échelle de la communauté (les représentations graphiques ne sont pas définitives). Les résultats spécifiques aux campagnes mutualisées présentant les valeurs de densités énergétiques figurent au chapitre IV.

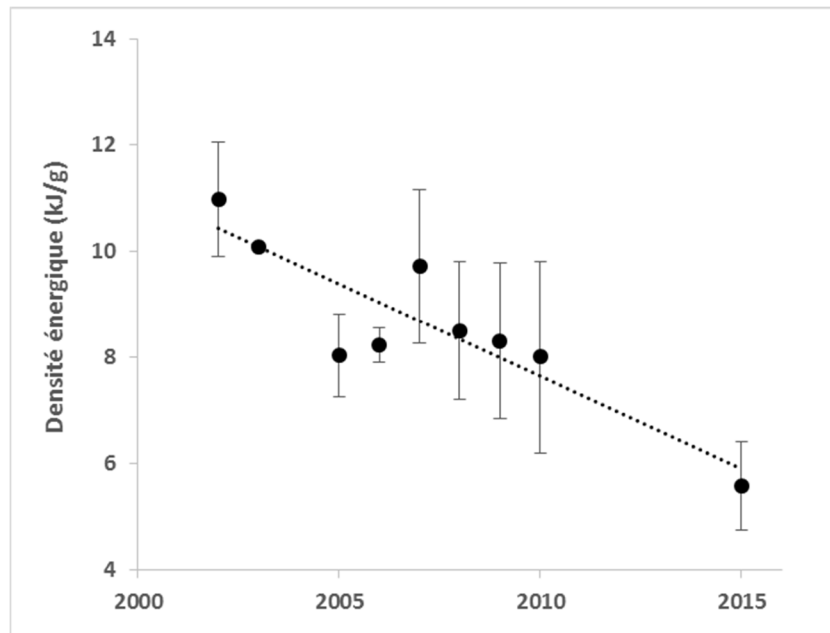


Figure 3. Evolution de la densité énergétique moyenne de la sardine (*Sardina pilchardus*) à l'automne entre 2002 et 2015 dans le golfe de Gascogne.

### Conclusion sur le niveau d'atteinte du Bon État Écologique sur la période échantillonnée

La construction de l'indicateur est encore en cours, notamment sur la validation des données antérieures et la détermination des espèces qui pourront renseigner l'indicateur. En conséquence, les seuils d'atteinte du BEE ne sont pas encore établis.

## 2. Descripteur 8 (contaminants dans le milieu)

Tableau 6. Critères et indicateurs du Bon État Écologique de la DCSMM pour le descripteur 8.

Critères	Indicateurs	Part renseignée par le suivi mutualisé DCSMM
<b>D8C1</b> (Primaire) : Concentrations des contaminants (eau, sédiment, biote)	Concentration des contaminants désignés dans le biote * (indicateurs OSPAR/Barcelone)	Matrice poissons et céphalopodes du plateau continental : 50 à 100 % selon l'effort  Matrice bivalve : 0% (non concernée par le suivi mutualisé)
	Concentration des contaminants désignés dans le sédiment * (indicateurs OSPAR/Barcelone)	-
	Concentration des contaminants désignés dans l'eau * (indicateurs Barcelone)	-
<b>D8C2</b> (Secondaire) : Santé des espèces et état des habitats affectés par les contaminants	IMPOSEX (Indicateur OSPAR)	-
	Fish disease, lysosomal stability, bile metabolites, micronuclei, EROD (Indicateurs OSPAR/Barcelone)	-
	Malformations larvaires chez l'huître creuse	-
<b>D8C3</b> (Primaire) : Durée et étendue spatiale des événements de pollution aiguë	Nombre d'alertes confirmées recensées dans les rapports annuels du CEDRE (PolRep)	-
<b>D8C4</b> (Secondaire) : Effets négatifs des épisodes de pollution aiguë sur la santé des espèces et la condition des habitats	EcoQO : guillemots mazoutés (Indicateur OSPAR)	-

\* : selon une méthode garantissant la comparabilité avec les évaluations réalisées au titre de la directive 2000/60/CE.

## a. Résultats communs aux descripteurs 8 et 9 pour les contaminants métalliques

Cette première série de graphiques (Figure 3 et Figure 4) illustre la répartition des échantillons pour chaque espèce et chaque sous-région marine, pour lesquels les résultats étaient inférieurs à la limite de détection, entre les limites de détection et de quantification, et au-dessus de la limite de quantification. Pour les graphiques suivants, le choix a été fait de se situer dans la configuration la plus protectrice : ainsi, lorsque le résultat est inférieur à la limite de détection ( $< LD$ ), la valeur de la LD a été attribuée (Figure 6 à Figure 12) ; lorsque le résultat est supérieur ou égal et inférieur à la limite de quantification ( $\geq LD$  et  $< LQ$ ), c'est la valeur de la LQ qui a été attribuée.

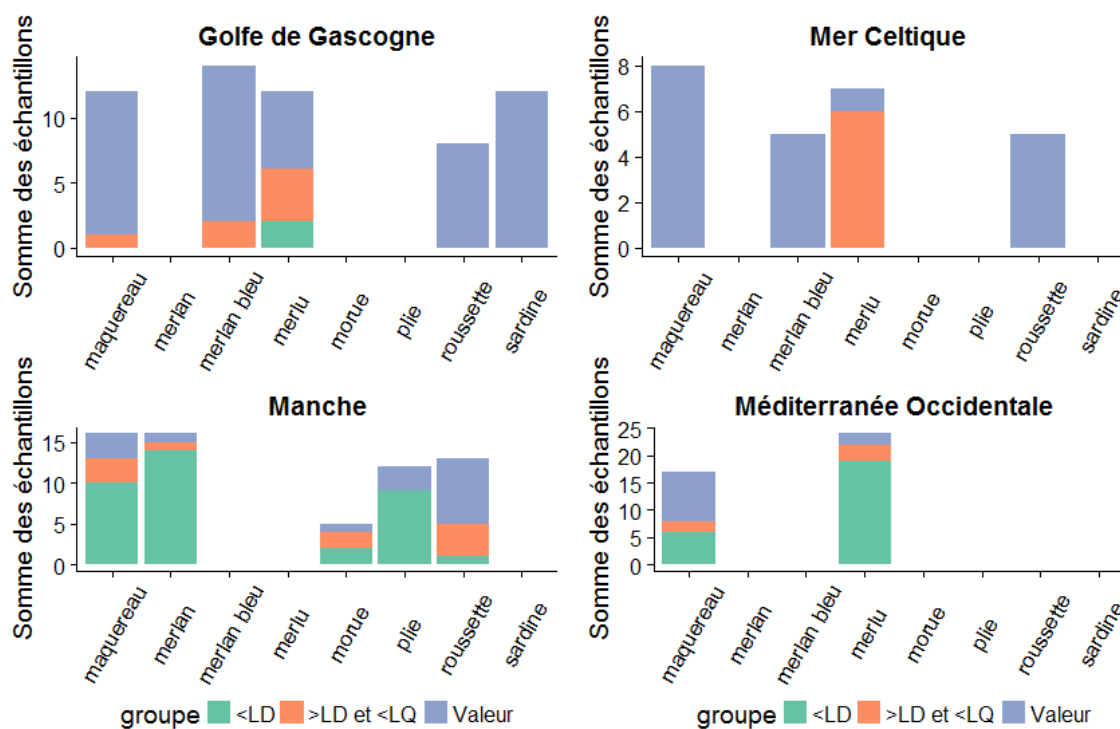


Figure 4. Dosage du cadmium : répartition des échantillons selon leur groupe :  $< LD$ ,  $> LD$  et  $< LQ$ , ou  $> LQ$  avec une valeur précise.

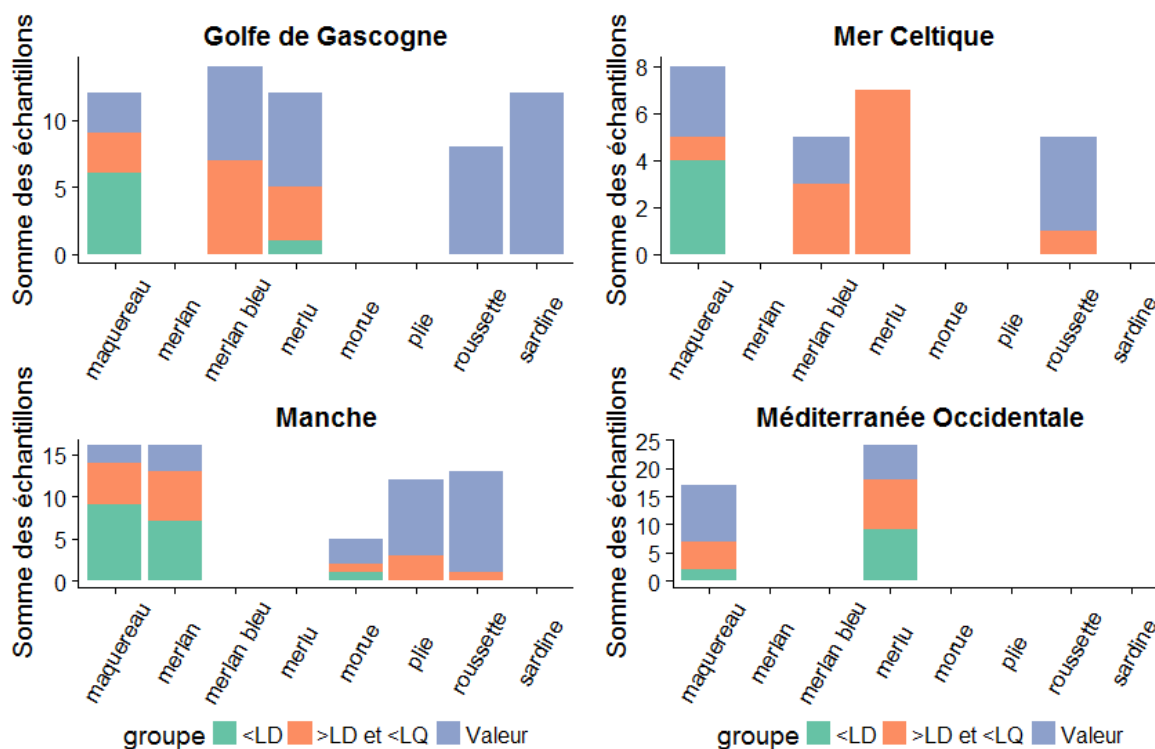


Figure 5. Dosage du plomb : répartition des échantillons selon leur groupe : <LD, >LD et <LQ, ou >LQ avec une valeur précise.

Cette seconde série de graphiques illustre les résultats pour chaque contaminant (ou groupe de contaminants), par espèce et par sous-région marine. Ces résultats sont comparés aux différents seuils disponibles. Les EAC et BAC définis par OSPAR, ainsi que les NQE sont utilisés pour évaluer l'atteinte du BEE pour le descripteur 8. Les seuils sanitaires sont les teneurs maximales réglementaires utilisées pour l'évaluation de l'atteinte du BEE pour le descripteur 9.

Le Background Assessment Criteria (BAC) défini par OSPAR correspond à la concentration d'un contaminant à son état pristine ou de base, basé sur des données contemporaines ou historiques. Le BAC de Méditerranée est dérivé de la concentration pristine d'un contaminant, qui est appelée le Background Concentration (BC). Le BC est calculé à partir des données de surveillance disponibles. L'environmental assessment criteria (EAC) défini par OSPAR correspond à la concentration d'un contaminant dans l'environnement en dessous de laquelle il ne doit pas y avoir d'effet chronique observé. La Norme de Qualité Environnementale (NQE) correspond à la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluant dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Les seuils sanitaires sont donnés pour chaque contaminant. Le MS est un seuil sanitaire spécifique au cadmium pour les maquereaux (M) et les sardines (S).

## Mercure

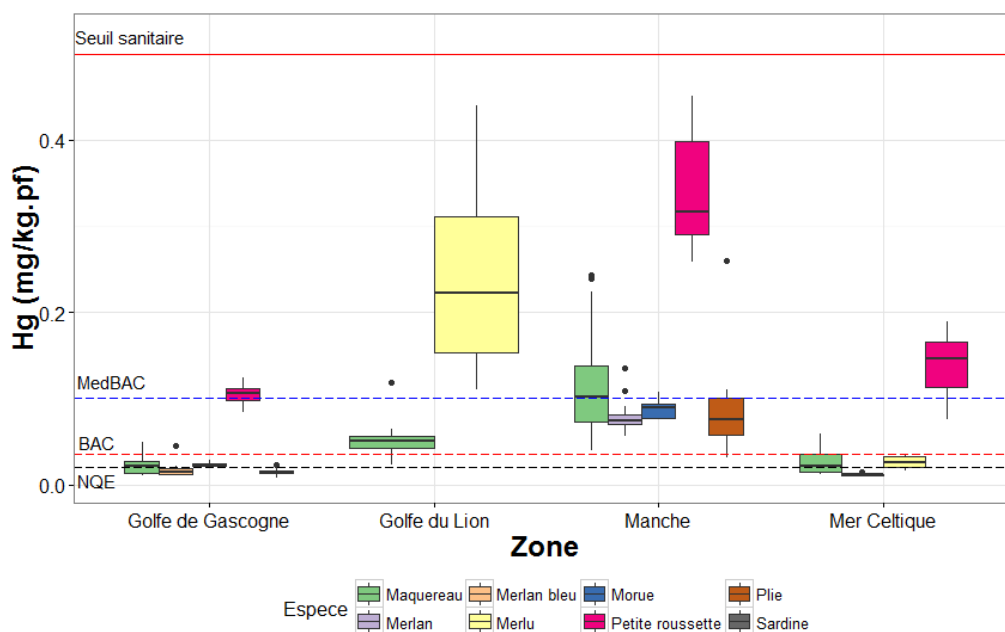


Figure 6. Concentration en mercure dans le muscle des espèces prélevées, par espèce et par zone de pêche. La ligne continue rouge indique le seuil sanitaire à 0.5 mg/kg pf ; la ligne en pointillés rouges indique le seuil BAC à 0.035 mg/kg pf ; la ligne en pointillés bleus indique le seuil BAC pour la méditerranée à 0.101 mg/kg pf ; la ligne en pointillés noirs indique la NQE à 0.020 mg/kg pf.

## Arsenic

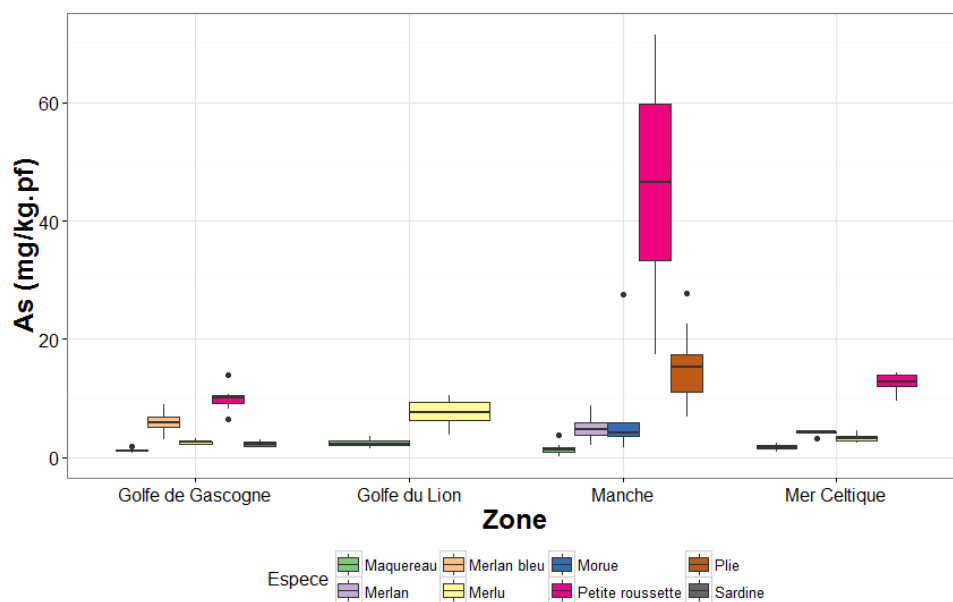


Figure 7. Concentration en arsenic dans le muscle des espèces prélevées, par espèce et par zone de pêche.

## Cadmium

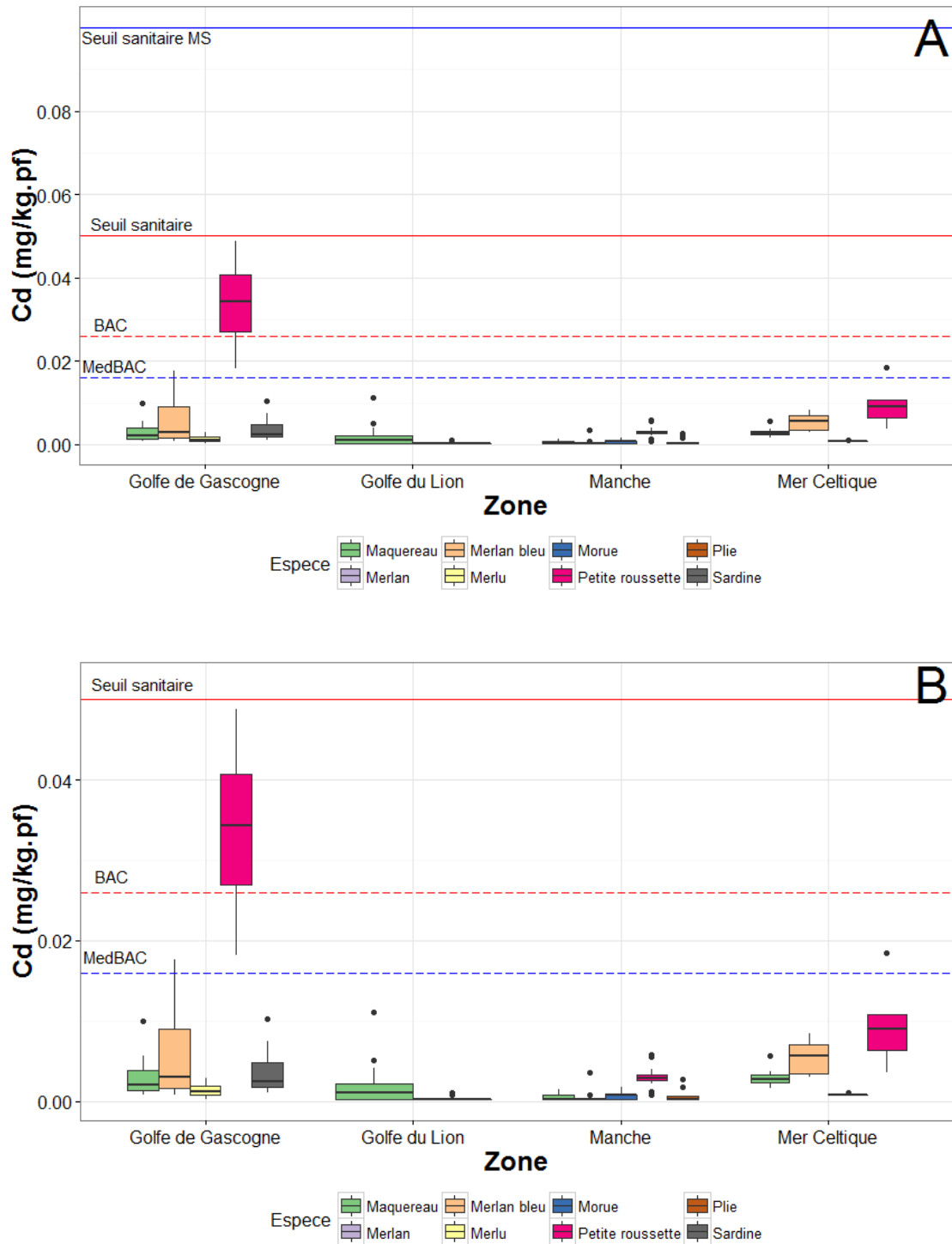


Figure 8. Concentration en cadmium dans le muscle des espèces prélevées, par espèce et par zone de pêche. A : la ligne continue bleue indique le seuil sanitaire à 0.1 mg/kg pf pour le maquereau et la sardine. A et B : La ligne continue rouge indique le seuil sanitaire pour la majorité des espèces prélevées, fixé à 0.05 mg/kg pf ; la ligne en pointillés rouges indique le seuil BAC à 0.026 mg/kg pf ; la ligne en pointillés bleus indique le seuil BAC pour la méditerranée à 0.016 mg/kg pf.

## Plomb

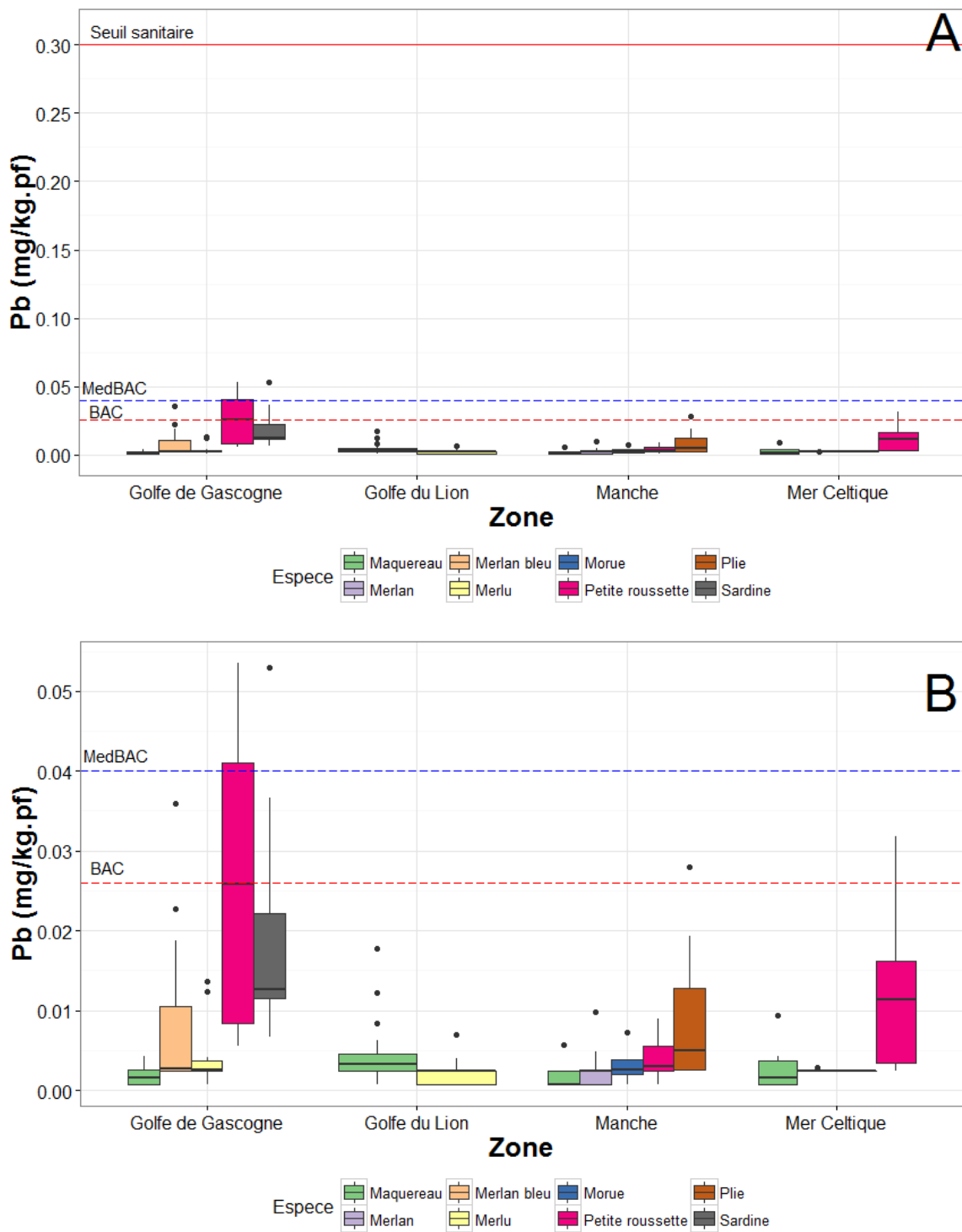


Figure 9. Concentration en plomb dans le muscle des espèces prélevées, par espèce et par zone de pêche. A : seuils environnementaux et sanitaires ; B : seuils environnementaux uniquement. La ligne continue rouge indique le seuil sanitaire ; la ligne en pointillés rouges indique le seuil BAC à 0.026 mg/kg pf ; la ligne en pointillés bleus indique le seuil BAC pour la méditerranée à 0.040 mg/kg pf.



## b. Résultats communs aux descripteurs 8 et 9 pour les contaminants organiques

Somme dioxines (PCDD), furanes (PCDF) et PCB dioxin-like

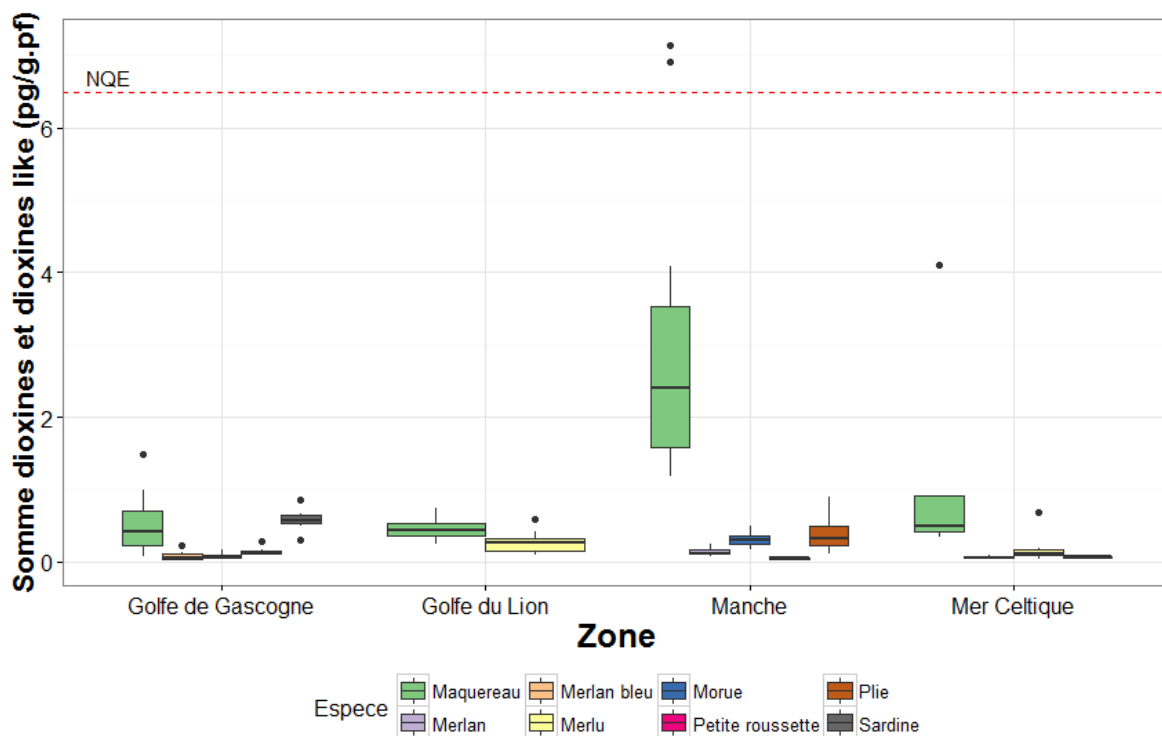


Figure 10. Concentrations en dioxines et PCB dioxin-like : somme des PCDD, PCDF, et PCB dioxine like. Les pointillés rouges indiquent la norme de qualité environnementale (NQE), ainsi que le seuil sanitaire, exprimés en équivalent toxicologique (TEQ), et fixés à 6.5 ng/g pf.

## Somme PCDD et furanes

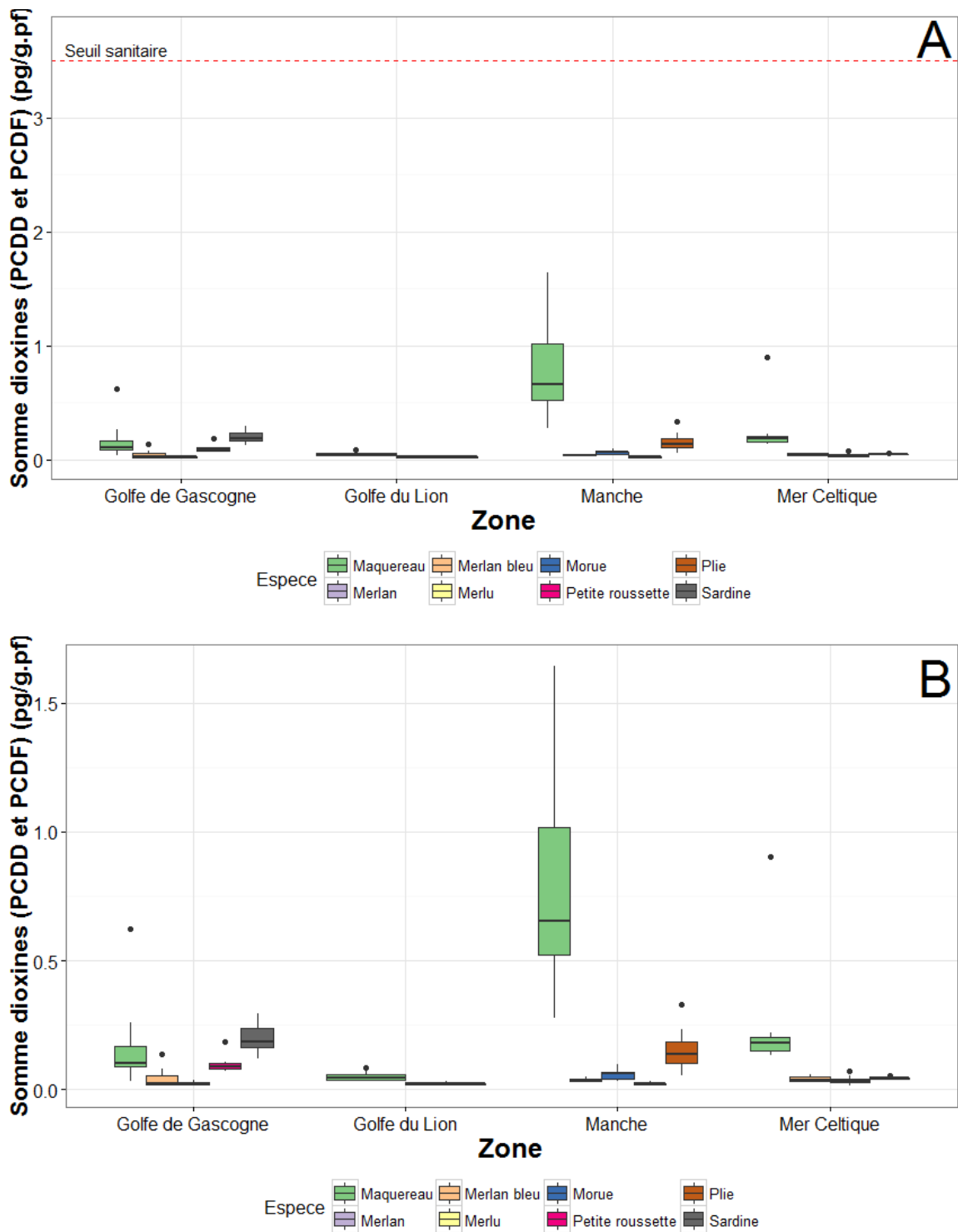


Figure 11. Concentrations en dioxines : somme des PCDD et des PCDF. A : les pointillés rouges indiquent le seuil sanitaire, exprimé en équivalent toxicologique (TEQ), et fixé à 3.5 ng/g pf. Le graphique B reprend les mêmes résultats, en ôtant le seuil sanitaire.

## PCB non dioxin-like

### Somme des 6 PCB ND

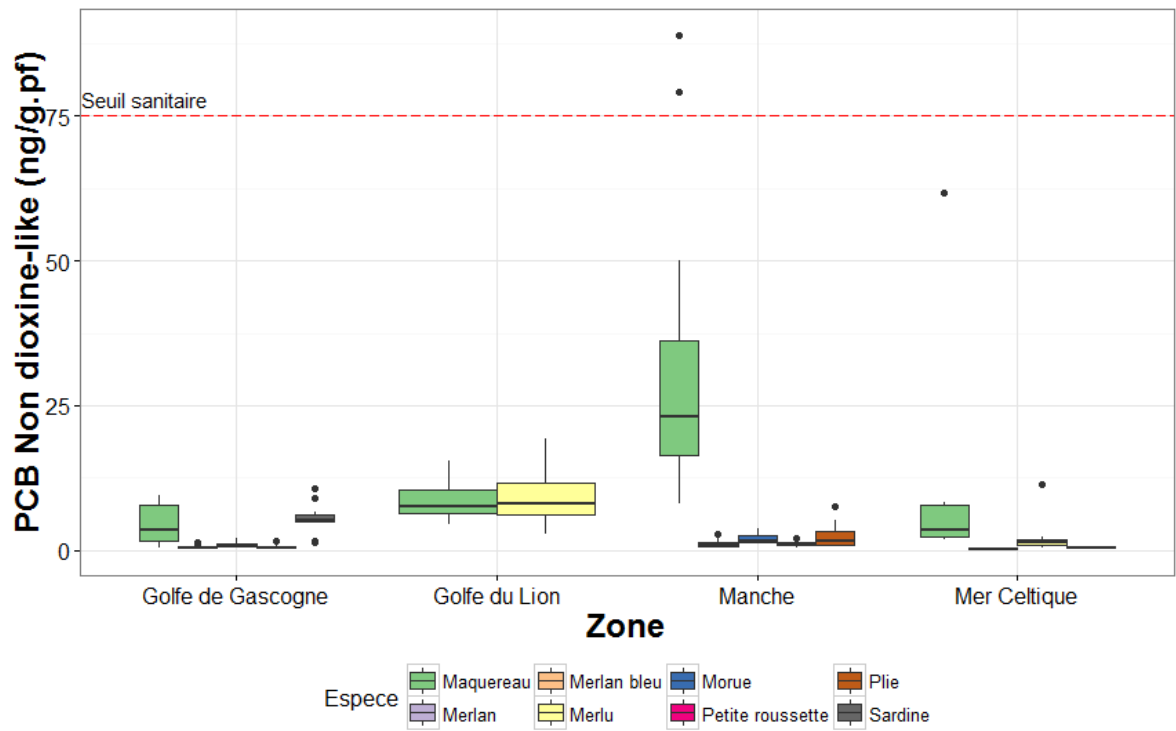
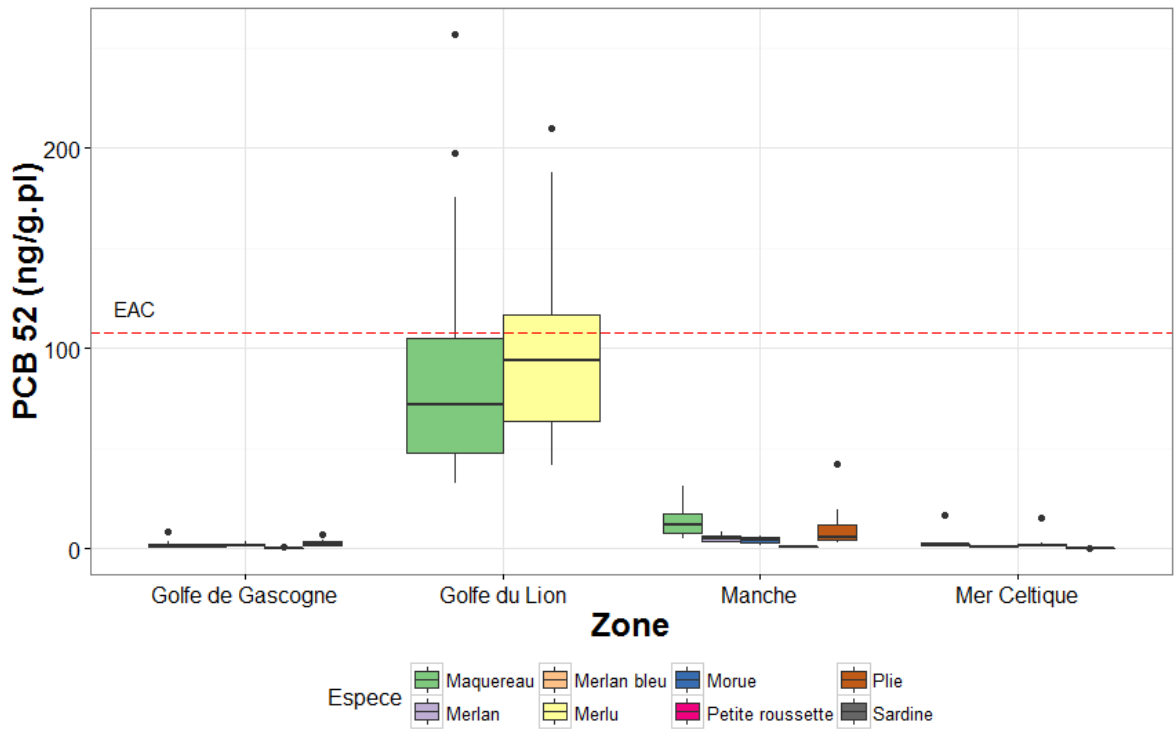
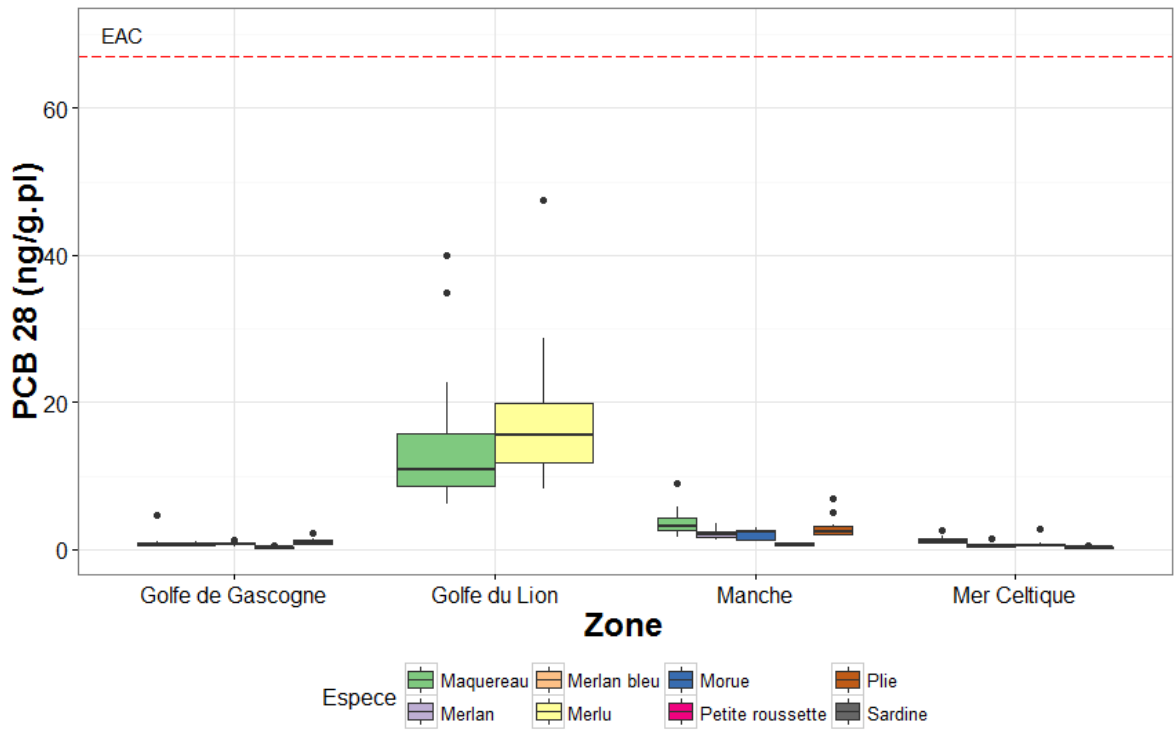
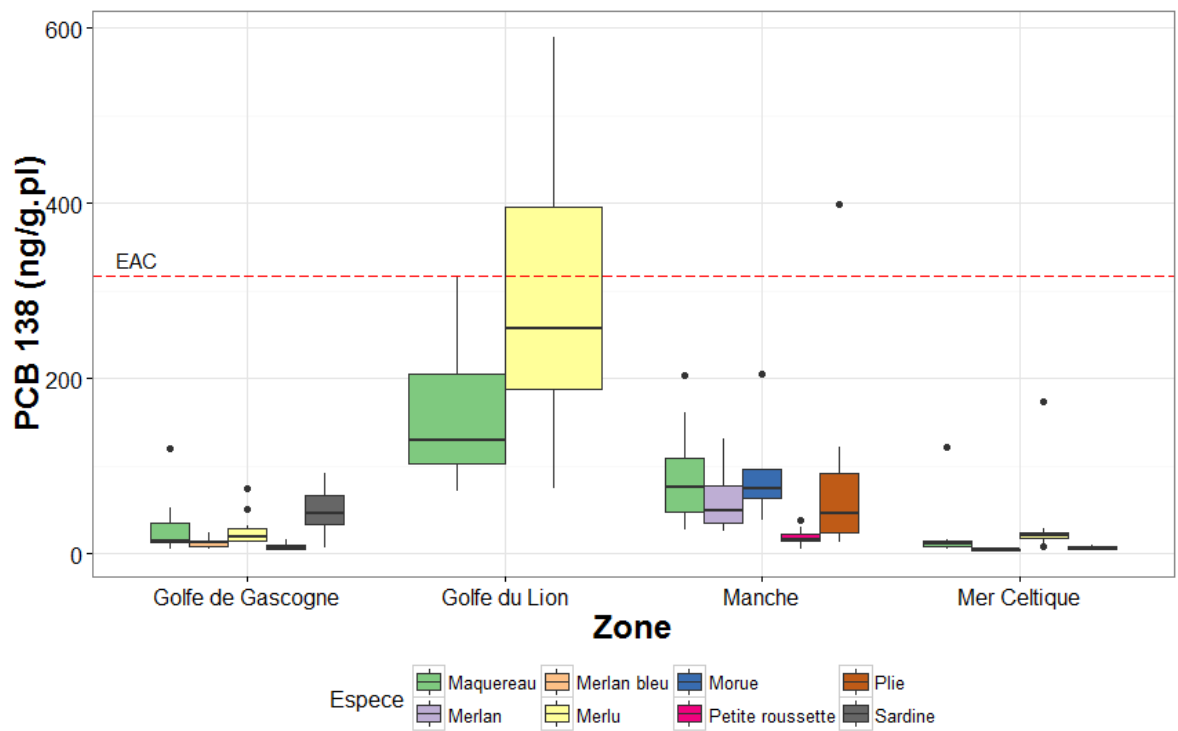
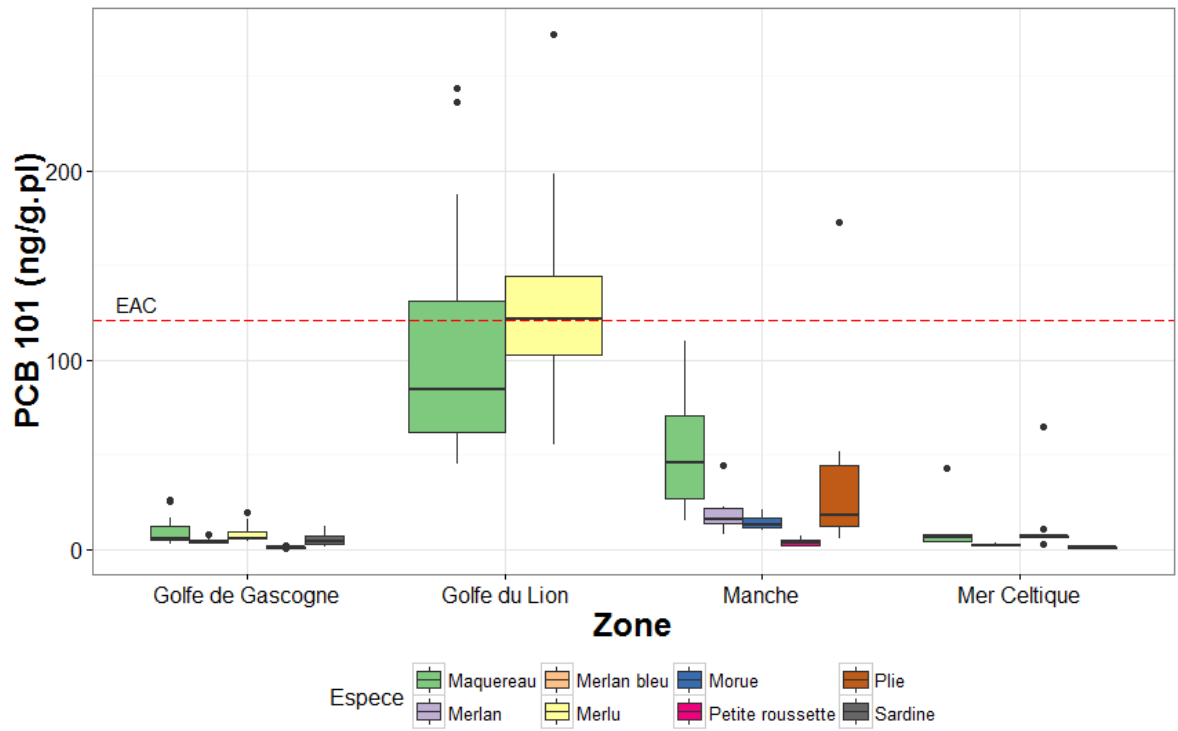


Figure 12. Concentrations en PCB non dioxin-like. Les pointillés rouges indiquent le seuil sanitaire, fixé à 75 ng/g pf.

## PCB individuels





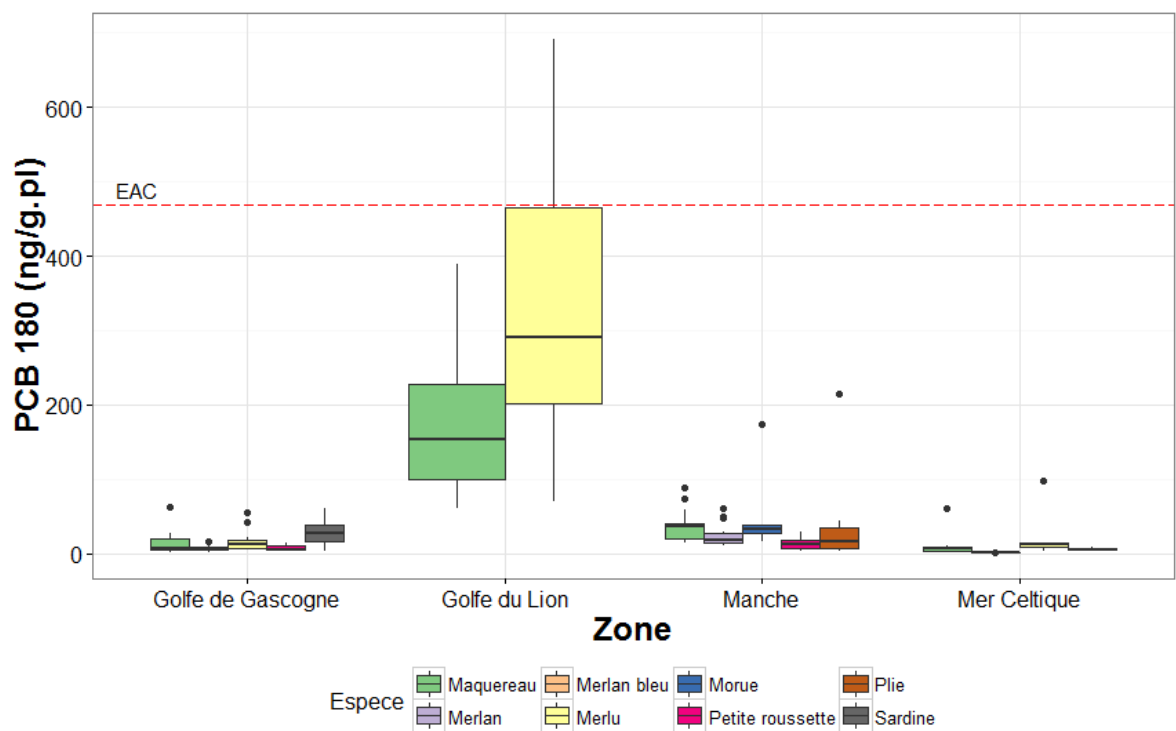
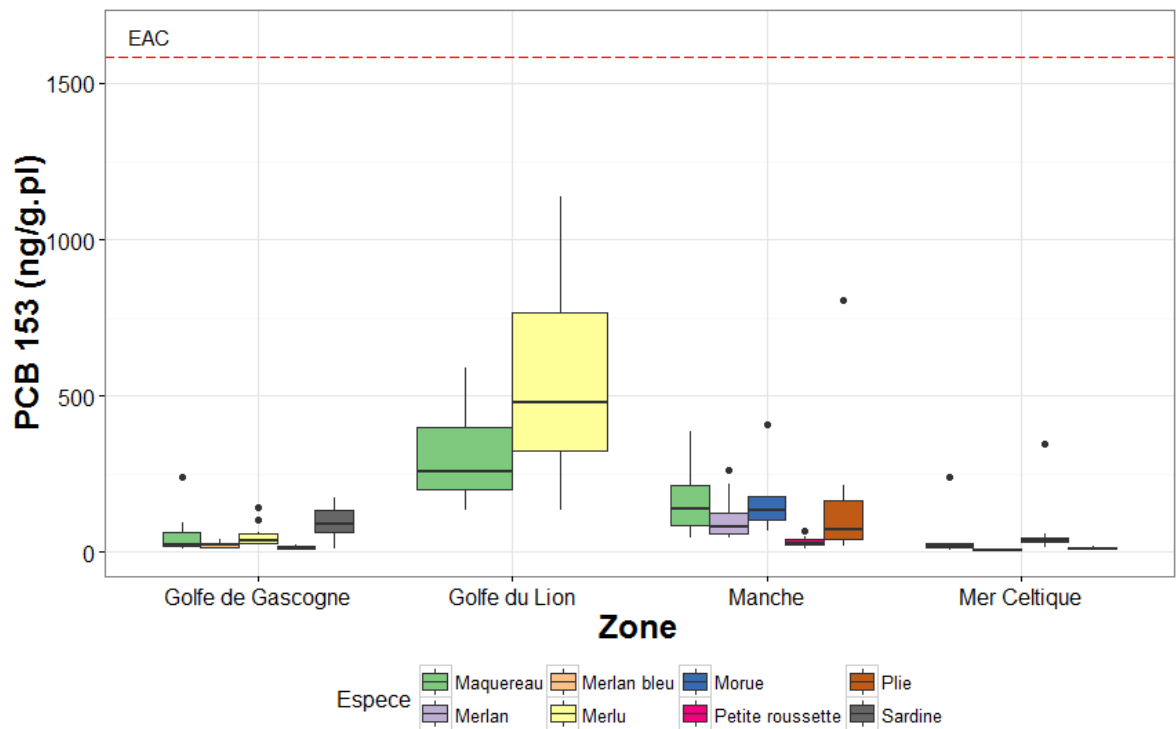


Figure 13. Concentrations en PCB non dioxin-like individuels. Les pointillés rouges indiquent le seuil environnemental EAC OSPAR.

- c. **Indicateur (critère D8C1) : concentration des contaminants désignés dans les éléments de critère, mesurée dans la matrice appropriée (p. ex. biote, sédiments et eaux) selon une méthode garantissant la comparabilité avec les évaluations réalisées au titre de la directive DCE.**

### **Principe de l'indicateur**

Cet indicateur vise à suivre les concentrations des contaminants chimiques dans les différentes matrices (biote, sédiment, eau). Cet indicateur est renseigné par les sous programmes 1 "Contaminants dans les organismes marins", 2 "Contaminants dans le milieu", et 4 "Apports fluviaux des contaminants" du programme thématique de surveillance "Contaminants".

### **Renseignement de l'indicateur par le suivi mutualisé**

Les données issues du suivi mutualisé permettent d'alimenter le sous-programme 1 "Contaminants dans les organismes" pour les poissons au large. D'autres dispositifs de surveillance fournissent des données de contamination chimique dans les mollusques et les poissons côtiers. Les résultats obtenus par le biais du suivi mutualisé, associés aux résultats issus des autres dispositifs, permettent donc de réaliser un suivi de la contamination chimique dans les organismes marins depuis la côte vers le large, et ainsi d'avoir une évaluation représentative de la sous-région marine.

### **Analyse des résultats**

#### **Contaminants métalliques**

Comme indiqué dans le rapport sur l'état de développement des indicateurs pour le D8, les niveaux et tendances caractérisant un bon état écologique pour le D8C1 sont les suivants :

1. les niveaux des substances dans leurs matrices pertinentes respectent la valeur de la NQE, de l'EAC ou du BAC selon les seuils disponibles, l'EAC étant prioritaire ;
2. les concentrations dans le biote n'augmentent pas dans le temps ;
3. les concentrations dans les prédateurs supérieurs n'augmentent pas dans le temps.

Pour le **mercure**, aucune valeur n'est inférieure à la limite de quantification. Tous les échantillons ont donc des valeurs précises de la concentration en mercure. Aucune valeur ne dépasse le seuil sanitaire. En Méditerranée, le merlu présente des niveaux de contamination supérieurs au BAC. Le maquereau présente lui des niveaux de contamination inférieurs au BACmed. Dans le golfe de Gascogne, seule la petite roussette présente des niveaux de contamination au mercure bien au-dessus du BAC ospar. Les autres espèces prélevées présentent des niveaux très faibles, autour du BAC et de la NQE. Les résultats observés en mer Celtique sont identiques à ceux du golfe de Gascogne. La Manche est la sous-région pour laquelle les niveaux de mercure sont les plus élevés. Toutes les espèces prélevées présentent des concentrations supérieures au BAC et à la NQE. Comme pour le golfe de Gascogne et la mer Celtique, c'est la roussette, prédateur supérieur, chez qui les concentrations les plus élevées sont mesurées. A noter que pour le mercure, la NQE est inférieure au BAC.

Pour le **cadmium**, les concentrations sont particulièrement faibles en Manche, car pour chaque espèce, plusieurs échantillons présentent des concentrations inférieures à la limite de détection. La roussette

présente les concentrations les plus élevées, quelle que soit la sous-région marine. Il n'y a cependant que pour le golfe de Gascogne que les concentrations mesurées sont supérieures au BAC. Pour les autres sous-régions, les concentrations mesurées sont inférieures au BAC et inférieures au BACmed pour le golfe du Lion. Quelle que soit l'espèce ou la sous-région, les concentrations en cadmium ne dépassent pas le seuil sanitaire.

Pour le **plomb**, en mer Celtique et en Méditerranée, une majorité des échantillons présente des concentrations inférieures à la limite de quantification, voire de détection. En Manche, il en est de même chez le maquereau et le merlan. Quelles que soient l'espèce et la zone de pêche, la majorité des concentrations se situe en dessous du seuil sanitaire, et en dessous du BAC. Les roussettes présentent une concentration en plomb plus élevée, dont la médiane est égale au BAC.

Pour l'**arsenic**, aucune valeur n'est inférieure à la limite de quantification. Tous les échantillons ont des valeurs précises de la concentration en arsenic. Comme pour les autres métaux, les concentrations en arsenic sont les plus élevées chez la roussette. Il n'existe pas de seuil environnemental ou sanitaire, ce qui ne permet pas de commenter ces résultats en termes de surveillance.

### **Contaminants organiques**

Les regroupements de contaminants ont été effectués en fonction des seuils environnementaux et sanitaires disponibles. Les rassemblements suivants ont été effectués : Dioxines, furanes et PCB dioxin-like car il existe une NQE ainsi qu'un seuil sanitaire concernant la somme de ces composés, Dioxines et furanes car il existe un seuil sanitaire concernant la somme de ces composés. Pour les PCB non dioxin-like, il existe des seuils environnementaux (BAC et EAC) individuels chez le poisson, établis par OSPAR, et un seuil sanitaire pour la somme des 6 PCB mesurés. Ces composés sont donc représentés individuellement pour l'interprétation environnementale et en somme pour l'interprétation sanitaire.

### **Conclusion sur le niveau d'atteinte du Bon État Écologique sur la période échantillonnée**

Comme indiqué dans le rapport sur l'état de développement des indicateurs, la construction des indicateurs et l'interprétation des données seront basées sur l'approche intégrée développée par le groupe d'étude CIEM/OSPAR dédié (Study Group for the Integrated monitoring of contaminants and biological effects : SGIMC). Cette approche est basée sur l'évaluation conjointe des niveaux de contaminants dans le milieu marin (biote et sédiments) et des effets biologiques des contaminants (Vethaak et al., 2015 ; Lyons et al., 2015). Ainsi, les données produites dans le cadre du suivi mutualisé ne permettent pas à elles seules de renseigner le critère D8C1. Elles seront intégrées dans le calcul au même titre que les données obtenues sur les mollusques et les poissons côtiers.



### 3. Descripteur 9 (questions sanitaires) :

Tableau 7. Critères et indicateurs du Bon État Écologique de la DCSMM pour le descripteur 9.

Critères	Indicateurs	Part renseignée par le suivi mutualisé DCSMM
<p><b>D9C1- Primaire</b> Niveaux de contamination des tissus comestibles (muscle, foie, chair ou autres parties molles) dans les produits de la pêche destinés à la consommation humaine (poissons, crustacés, mollusques, échinodermes, algues et autres plantes marines) capturés ou ramassés dans le milieu naturel (à l'exclusion des poissons à nageoires provenant de la mariculture) ne dépasse pas :</p> <p>(a) pour les substances du règlement (CE) 1881/2006 les teneurs maximales fixées dans ce règlement</p> <p>(b) pour toutes autres substances complémentaires les teneurs fixées au niveau régional ou local par les EM</p>	<p>Niveaux réels des contaminants chimiques qui ont été détectés et nombre de ces contaminants pour lesquels les teneurs maximales réglementaires ont été dépassées (Indicateur Barcelone)</p>	<p>Matrice poissons et céphalopodes du plateau continental : 50 à 100 % selon l'effort</p> <p>Matrice bivalve : 0% (non concernée par le suivi mutualisé)</p>

**a. Indicateur (Critère D9C1) : Niveaux réels des contaminants chimiques qui ont été détectés et nombre de ces contaminants pour lesquels les teneurs maximales réglementaires ont été dépassées**

**Principe de l'indicateur**

Cet indicateur a un but sanitaire. Il vise à suivre les tendances de concentrations en contaminants chimiques listés dans le règlement CE n°1881/2006 dans les produits de la pêche destinés à la consommation humaine. Cet indicateur a également pour but de suivre la tendance du nombre de contaminants pour lesquels les teneurs maximales réglementaires ont été dépassées. Cet indicateur est renseigné par le sous-programme DCSMM 1 "Contaminants dans les organismes marins" du programme "questions sanitaires" en commun avec le programme "contaminants".

**Renseignement de l'indicateur par le suivi mutualisé**

Les données issues du protocole mutualisé permettent d'alimenter le sous-programme 1 "Contaminants dans les organismes marins" pour collecter des données sur les poissons au large pour les contaminants métalliques et organiques. En effet, les données issues des dispositifs existants fournissent soit des données de contamination chimique dans les mollusques uniquement (exemple des données issues du réseau ROCCH), soit des données de poissons mais avec l'absence de renseignement sur la zone de pêche de chaque échantillon prélevé (exemple des données issues des PSPC de la DGAI). Ces informations sont essentielles pour évaluer de manière plus précise l'état écologique du milieu marin pour le descripteur 9.


Les résultats obtenus par le biais du suivi mutualisé, associés aux résultats issus des autres dispositifs, permettent donc de réaliser un suivi de la contamination chimique dans les produits de la pêche depuis la côte vers le large, et ainsi d'avoir une évaluation représentative de la sous-région marine et une vision plus globale des niveaux de contamination des produits de la mer.

**Analyse des résultats**

Cf. Indicateur du critère D8C1

**Conclusion sur le niveau d'atteinte du Bon État Écologique sur la période échantillonnée**

De même que pour le D8C1, les données produites dans le cadre du suivi mutualisé ne permettent pas à elles seules de renseigner le critère D9C1. Elles seront intégrées dans le calcul au même titre que les données obtenues sur les mollusques et les poissons côtiers.



**IV. ANALYSE ET  
INTERPRETATION DES  
DONNEES ISSUES DES  
ESSAIS**

---

Photo en page précédente : sanglier (*Capros aper*) capturé dans le golfe de Gascogne (PELGAS 2015) ©  
Philippe Pineau - CNRS

## Résumé du chapitre

- L'approche couplée isotopes stables/contenu stomacaux apporte une vision robuste du réseau trophique via la mise en évidence des grandes voies d'utilisation de la matière organique par les isotopes stables, et détaillée via l'alimentation.
- Les résultats des paramètres propres aux réseaux trophiques et aux contaminants ont dans l'ensemble confirmé les observations d'études précédentes, tout en mettant en évidence des disparités entre façades pour les espèces ubiquistes. Des spécificités nouvelles ont cependant été relevées pour certaines espèces.
- L'analyse approfondie de ces résultats fera l'objet de plusieurs publications scientifiques, dont la soumission est prévue pour la fin 2017 au plus tôt.
- Le suivi de la densité énergétique des poissons fourrages permet à la fois de renseigner les variations passées de la qualité et de la productivité des premiers niveaux trophiques, et d'évaluer la qualité de la ressource disponible pour les hauts niveaux trophiques.
- Des évaluations de la densité énergétique des poissons fourrages ont été épisodiquement menées dans le golfe de Gascogne depuis le début des années 2000. Pour la première fois, des mesures sont réalisées au cours du même cycle saisonnier pour les différentes sous-régions marines de la France métropolitaine à travers les campagnes EVHOE, IBTS, PELGAS, PELMED. Ici, les premiers résultats obtenus suggèrent principalement une baisse des densités énergétiques dans le golfe de Gascogne chez les poissons échantillonnés à l'automne et des valeurs relativement plus faibles en Méditerranée comparativement à la Manche et au golfe de Gascogne.
- Cette phase d'essai a confirmé le fort potentiel du suivi des densités énergétiques chez les poissons fourrages pour informer une dimension importante de l'état des écosystèmes marins et notamment les capacités de chacun des écosystèmes étudiés à soutenir les populations d'espèces ichtyophages (grands poissons, oiseaux, cétacés).

## 1. Résultats obtenus sur la façade Manche (IBTS 2015)

*Charles-André Timmerman, Manuel Rouquette, Margaux Denamiel, Pierre Cresson*  
*Plateforme Réseaux Trophique Marins, Laboratoire Ressources Halieutiques Manche Mer du Nord,*  
*Centre Ifremer Manche Mer du Nord, 150 Quai Gambetta, 62 200 Boulogne sur Mer*  
[pierre.cresson@ifremer.fr](mailto:pierre.cresson@ifremer.fr)

### Résumé des principaux résultats

- L'analyse de la structure du réseau trophique (isotopes stables du carbone et de l'azote) permet de dégager 3 groupes et l'alimentation (contenus stomacaux) 4, avec des cohérences entre groupes issus des deux approches.
- Le couplage de ces deux approches, et l'utilisation de différents traceurs (modèles de mélange, relation longueur-niveau trophique) confirme l'importance du benthos comme base principale des réseaux trophiques en Manche, en lien avec les profondeurs faibles dans cette zone.
- Parmi les éléments traces métalliques (ETM), le mercure et l'arsenic présentent le plus d'intérêt, dans la mesure où des valeurs faibles et inférieures aux limites méthodologiques sont retrouvées pour le plomb et le cadmium.
- Les valeurs les plus élevées sont mesurées dans le muscle de la petite rousette, en cohérence avec la capacité de cette espèce à accumuler les ETM.
- Pour les polluants organiques persistants (POP), le pourcentage de masse grasse semble être un facteur majeur expliquant les différences interspécifiques, et notamment les valeurs les plus élevées retrouvées chez le maquereau.
- Pour les POP et les ETM, les conclusions concernant les différences intraspécifiques, et l'interprétation de l'absence de corrélation entre descripteurs biologiques et niveaux de contamination sont limitées du fait de l'effectif faible et du manque de données sur les paramètres biotiques (sexe, maturité,...) des organismes. Un effort d'échantillonnage important pourrait être nécessaire pour permettre l'acquisition de connaissances, dans la mesure où les données disponibles sont assez limitées pour les poissons hauturiers dans la zone.
- Ce suivi apporte un premier jeu de données sur la densité énergétique des poissons fourrages en Manche. Il apparaît nécessaire d'élargir cet état initial.

## a. Bilan de l'échantillonnage et des analyses

Ce chapitre présente les premières analyses réalisées sur les poissons collectés lors de la campagne IBTS 2015, avec pour objectif de documenter les descripteurs « réseaux trophiques », « contaminants », et « questions sanitaires » de la DCSMM (D4, D8 et D9) pour la façade Manche. Durant la campagne, 225 individus appartenant à 15 espèces de poissons ont été collectés. Un prélèvement de 26 individus de pétoncle blanc *Aequipecten opercularis* a également été effectué afin de calibrer la ligne de base isotopique (Tableau 8).

Tableau 8. Détail de l'échantillonnage en Manche Est.

Espèce	Nom commun	Effectif	Longueur totale (mm)		Masse totale (g)	
			Moyenne $\pm$ sd	Min - Max	Moyenne $\pm$ sd	Min - Max
<i>Aequipecten opercularis</i> (Linnaeus, 1758)	Pétoncle blanc	26	35 $\pm$ 12*	19 - 55	7.9 $\pm$ 7.0*	1.0 - 21.7
<i>Chelidonichthys cuculus</i> (Linnaeus, 1758)	Grondin rouge	3	255 $\pm$ 26	235 - 285	159.5 $\pm$ 62.0	115.3 - 230.4
<i>Clupea harengus</i> Linnaeus, 1758	Hareng	6	219 $\pm$ 83	51 - 268	114.5 $\pm$ 23.5	82.8 - 135.8
<i>Dicentrarchus labrax</i> (Linnaeus, 1758)	Bar	3	426 $\pm$ 12	417 - 434	857.5 $\pm$ 11.3	849.5 - 865.5
<i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus, 1758)	Anchois	12	118 $\pm$ 14	100 - 149	9.0 $\pm$ 3.5	5.0 - 19
<i>Eutripla gurnardus</i> (Linnaeus, 1758)	Grondin gris	6	240 $\pm$ 60	173 - 355	115.8 $\pm$ 86.2	34.9 - 255.8
<i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1758	Morue	18	494 $\pm$ 167	286 - 930	1789.4 $\pm$ 2325.0	209.0 - 8400
<i>Limanda limanda</i> (Linnaeus, 1758)	Limande	13	230 $\pm$ 31	191 - 278	137.9 $\pm$ 66.5	67.1 - 271.9
<i>Merlangius merlangus</i> (Linnaeus, 1758)	Merlan	30	304 $\pm$ 37	205 - 382	264.0 $\pm$ 115.1	57.0 - 636.3
<i>Mullus surmuletus</i> Linnaeus, 1758	Rouget barbet	5	217 $\pm$ 20	196 - 250	129.9 $\pm$ 46.4	83.8 - 204.1
<i>Pleuronectes platessa</i> Linnaeus, 1758	Plie	40	279 $\pm$ 39	206 - 384	203.8 $\pm$ 99.9	78.5 - 550.0
<i>Pollachius pollachius</i> (Linnaeus, 1758)	Lieu jaune	4	nd	nd	nd	nd
<i>Scomber scombrus</i> Linnaeus, 1758	Maquereau	6	309 $\pm$ 17	298 - 337	229.0 $\pm$ 58.2	180.4 - 314.7
<i>Scyliorhinus canicula</i> (Linnaeus, 1758)	Roussette	18	523 $\pm$ 58	398 - 634	554.2 $\pm$ 180.3	212.0 - 875.1
<i>Sprattus sprattus</i> (Linnaeus, 1758)	Sprat	5	113 $\pm$ 5	107 - 120	10.7 $\pm$ 2.0	8.2 - 13.5
<i>Trachurus trachurus</i> (Linnaeus, 1758)	Chinchard	7	120 $\pm$ 12	101 - 134	13.9 $\pm$ 3.7	8.5 - 18.7
<i>Trisopterus minutus</i> (Linnaeus, 1758)	Petit tacaud	9	108 $\pm$ 12	85 - 120	11.7 $\pm$ 3.7	5.1 - 15.7

\*Pour *Aequipecten opercularis*, la longueur totale représente la plus grande longueur d'une valve, la masse totale représente la masse totale de chair sans coquille

\*\* Pour *Pollachius pollachius*, le prélèvement de muscle a eu lieu à bord et il n'est pas possible de retrouver les données biométriques.

Les individus entiers ont été stockés congelés à bord du N/O « Thalassa » immédiatement après leur capture puis préparés au sein de la plateforme « Réseaux Trophiques » du laboratoire Ressources Halieutique Manche-Mer du Nord. Ils y ont été mesurés (longueur totale, au mm près) et pesés (masse totale, à 0.1 g près) avant la dissection de trois morceaux de muscle, en fonction des analyses. Un morceau de muscle dorsal a été prélevé pour l'analyse des rapports isotopiques du carbone et de l'azote, conformément au protocole classiquement accepté, notamment en raison de la plus faible quantité de lipides dans ce tissu, et aussi car la signature isotopique du muscle reflète une alimentation moyenne sur une période de quelques mois (Pinnegar et Polunin, 1999; Sweeting et al., 2006). Le reste de muscle a ensuite été prélevé et partagé en deux sous-échantillons pour l'analyse des éléments traces métalliques (ETM) et des polluants organiques persistants (POP). Enfin, le contenu de l'estomac a été prélevé pour l'analyse de l'alimentation. L'ensemble des échantillons (muscles et estomacs) est stocké congelé. Les morceaux de muscle ont été lyophilisés et broyés à l'aide d'un broyeur à bille.

## b. Alimentation - Analyse des contenus stomacaux

Pour les contenus stomacaux, l'analyse a porté sur 225 individus appartenant à 10 espèces. Après dissection, les proies contenues dans l'estomac ont été déterminées au niveau taxonomique le plus précis possible puis dénombrées en comptant le nombre d'individus de chaque espèce lorsqu'ils n'étaient pas trop dégradés. Pour les résidus dégradés, la méthode la plus parcimonieuse a été adoptée : le nombre de pièces dont le nombre par individu est connu (otolithes, yeux, pinces etc.) a été compté puis divisé pour retrouver le nombre minimal d'individus pouvant aboutir à ce nombre de pièces. Par exemple, le nombre total d'otolithes<sup>1</sup> d'une espèce retrouvé dans un estomac a été divisé par deux puis arrondi à l'entier supérieur, dans la mesure où chaque poisson ne possède que deux otolithes. L'ensemble des résidus indénombrables (morceaux de muscle, de branchies etc.) a été dénombré comme faisant partie d'un seul individu. Les proies ont ensuite été pesées individuellement à 0.1 g près. Les trois indices ainsi obtenus (pourcentage d'occurrence, d'abondance et de masse) ont été combinés au sein de l'indice d'importance relative (IRI), après agrégation à un niveau taxonomique supérieur. Les espèces ont ensuite été regroupées à l'aide d'une classification hiérarchique ascendante, basé sur une distance euclidienne à l'aide de la méthode de Ward.

Les résultats font apparaître **quatre groupes, dont la séparation basée sur l'alimentation est cohérente avec les résultats attendus** (Figure 14). Le premier groupe regroupe *C. cuculus*, *M. surmuletus*, *S. canicula* et *D. labrax*. Ces quatre espèces montrent une **alimentation mésocarnivore quasi exclusivement basée sur des crustacés benthiques**, essentiellement des décapodes. Cette alimentation et le regroupement qui en découle sont cohérents avec les données issus de précédents travaux sur ces espèces (Cachera, 2013; Giraldo et al., soumis). Seule la présence du bar *D. labrax* au sein de ce groupe est incongrue, dans la mesure où cette espèce est principalement piscivore. Des travaux précédents rapportent cependant la consommation de crustacés mais avec des occurrences faibles (Spitz et al., 2013). Il est donc tout à fait probable que l'effectif faible (trois individus, dont un avec un estomac vide) pour cette espèce ne permette pas de décrire de manière robuste l'écologie trophique de cette espèce dans cette zone. Le deuxième groupe comprend les deux espèces de poissons plats *L. limanda* et *P. platessa*, pour lesquels **l'alimentation est fortement basée sur les mollusques**, notamment des bivalves pour la plie. Ce regroupement est aussi cohérent avec les travaux précédents (Cachera, 2013; Giraldo et al., soumis), et est intéressant d'un point de vue opérationnel car il combine

---

<sup>1</sup> Conformément à l'approche la plus classique en écologie trophique, seuls les sagitta (plus gros otolithes) ont été considérés.



une approche trophique et fonctionnelle liée au milieu de vie. Un pourcentage important d'estomacs vides (74 %) a par ailleurs été observé pour la plie. Ces résultats s'expliquent par une baisse de l'intensité d'alimentation, en lien avec le pic de reproduction de cette espèce en janvier en Manche (Rijnsdorp et Van Beek, 1991). Les deux autres groupes sont **marqués par la consommation de poissons**, en quantité limitée (<30 %) pour le premier groupe comprenant *E. gurnardus* et *G. morhua*, et en quantité plus importante (>60 %) pour le second comprenant *S. scombrus* et *M. merlangus*. Les poissons représentent la proie quasi exclusive pour le merlan.

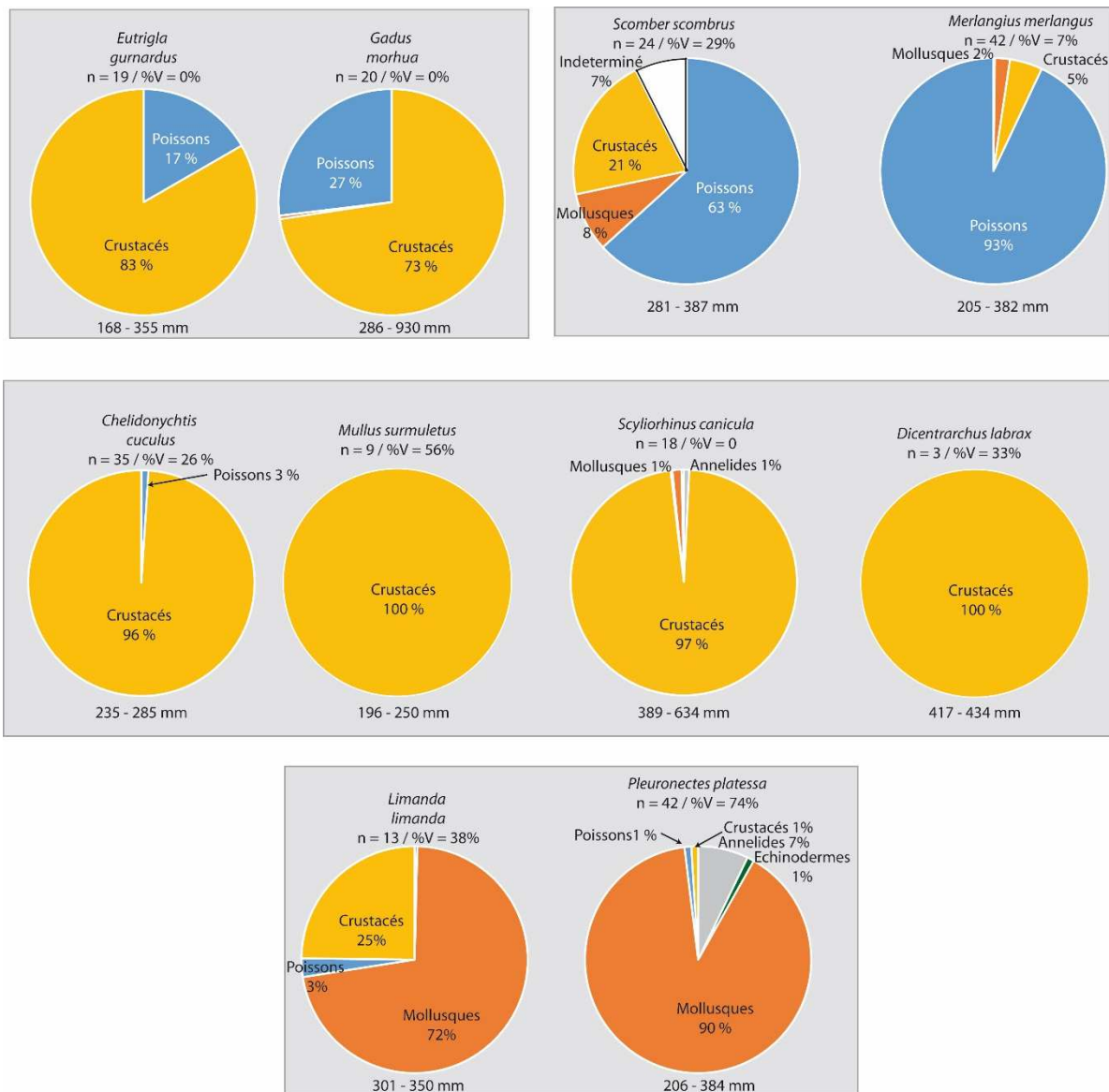


Figure 14. Spectre alimentaire des 10 espèces collectées en Manche. Pour chaque espèce, l'effectif (n), le pourcentage de vacité (%V) et la gamme de taille sont indiqués. Les pourcentages par type de proie sont des %IRI.

### c. Position relative des espèces au sein du réseau trophique - Rapports isotopiques du C et du N

Les poissons ont été regroupés sur la base de leurs signatures isotopiques moyennes, à l'aide d'une classification hiérarchique ascendante, basée sur la distance Euclidienne et le critère de Ward. Pour chaque espèce, la contribution relative des lignes de base benthiques ou pélagiques a été estimée à l'aide d'un modèle de mélange isotopique bayésien SIAR (Parnell et al., 2010), en utilisant les données isotopiques mesurées pour *A. opercularis* ( $\delta^{13}\text{C} = -17.68 \pm 0.58 \text{ ‰}$ ) comme proxy de la ligne de base benthique, et des données personnelles pour la MOP en Manche Est ( $\delta^{13}\text{C} = -20.53 \pm 1.52 \text{ ‰}$ , considérée comme un proxy du phytoplancton). Un facteur de fractionnement de  $1 \pm 0.5 \text{ ‰}$  par niveau trophique a été appliqué. Le modèle utilise uniquement le carbone car SIAR considère des facteurs de fractionnements fixes alors qu'une méthode utilisant un facteur de fractionnement variable pour l'azote a été utilisée pour calculer le niveau trophique (voir ci-après). Appliquer des résultats issus d'un modèle utilisant des facteurs de fractionnement fixes à un calcul de niveaux trophiques basé sur des facteurs de fractionnement variables serait incohérent. Cependant, la comparaison des profils de contributions des sources pélagiques et benthiques issues du modèle basé sur le carbone seulement, ou d'un modèle basé sur le carbone et l'azote, ne montre pas de différence majeures, ce qui conforte l'utilisation du carbone seul.

Le niveau trophique des poissons a donc été calculé selon la formule de Hussey et al. (2014),  $NT = \frac{\log(\delta^{15}\text{N}_{lim} - \delta^{15}\text{N}_{LB}) - \log(\delta^{15}\text{N}_{lim} - \delta^{15}\text{N}_{poisson})}{k} + NT_{LB}$ . Pour chaque espèce de poisson, le  $\delta^{15}\text{N}$  de la ligne de base a été calculé comme suit :  $\delta^{15}\text{N}_{LB} = \alpha\delta^{15}\text{N}_{Aequipecten} + (1 - \alpha)\delta^{15}\text{N}_{MOP}$ , avec  $\alpha$  la contribution d'*Aequipecten* au poisson calculée par le modèle de mélange. Le niveau trophique de cette ligne de base composite  $NT_{LB}$  a été calculé de manière comparable :  $NT_{LB} = \alpha NT_{Aequipecten} + (1 - \alpha)NT_{POM}$ . Les niveaux trophiques de la POM et d'*Aequipecten* ont été fixés à 1 et 2.4 respectivement, les valeurs de  $k$  et  $\delta^{15}\text{N}_{lim}$  à 0.13 et 21.70 respectivement, conformément aux travaux de Hussey et al (2014) et de Jennings et van den Molen (2015).

Les rapports isotopiques moyens mesurés pour les poissons s'échelonnent entre  $-18.78 \pm 0.20 \text{ ‰}$  (*C. harengus*) et  $-16.51 \pm 0.34 \text{ ‰}$  (*S. canicula*) pour le  $\delta^{13}\text{C}$  et entre  $12.52 \pm 0.42 \text{ ‰}$  (*C. harengus*) et  $17.77 \pm 1.29 \text{ ‰}$  (*D. labrax*) pour le  $\delta^{15}\text{N}$  (Tableau 9). Ces deux espèces sont en conséquence celles qui montrent les niveaux trophiques minimaux et maximaux,  $3.75 \pm 0.15$  pour *C. harengus*,  $6.72 \pm 1.12$  pour *D. labrax*.

Tableau 9. Détail du jeu de données utilisé pour l'analyse isotopique. *n* : nombre d'individus ; LT : longueur totale ; % benthos : pourcentage de contribution de la ligne de base benthique. La colonne « groupe » correspond aux regroupements issus du clustering sur les signatures isotopiques moyennes pour chaque espèce.

Espèces	n	LT	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	%	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	Niveau trophique		Groupe
		min-max (mm)	moyenne $\pm$ sd	benthos	moyenne $\pm$ sd	moyenne $\pm$ sd	moyenne $\pm$ sd	min - max	
<i>A. opercularis</i>	26	19 - 55	-17.68 $\pm$ 0.58		7.30 $\pm$ 0.45	3.31 $\pm$ 0.11	2,4		ligne de base*
<i>C. cuculus</i>	3	235 - 285	-16.95 $\pm$ 0.25	71%	14.07 $\pm$ 0.51	3.20 $\pm$ 0.01	4.41 $\pm$ 0.22	4.17 - 4.59	benthique
<i>C. harengus</i>	6	51 - 275	-18.78 $\pm$ 0.20	51%	12.52 $\pm$ 0.42	3.20 $\pm$ 0.04	3.75 $\pm$ 0.15	3.53 - 3.93	pélagique
<i>D. labrax</i>	3	417 - 434	-16.87 $\pm$ 0.05	91%	17.77 $\pm$ 1.29	3.27 $\pm$ 0.03	6.72 $\pm$ 1.12	5.61 - 7.86	prédateur
<i>E. encrasicolus</i>	12	100 - 149	-18.18 $\pm$ 0.39	64%	14.11 $\pm$ 0.75	3.21 $\pm$ 0.03	4.36 $\pm$ 0.33	3.69 - 5.02	pélagique
<i>E. gurnardus</i>	6	173 - 355	-16.97 $\pm$ 0.48	90%	14.85 $\pm$ 1.36	3.17 $\pm$ 0.03	4.74 $\pm$ 0.68	4.01 - 5.67	benthique
<i>G. morhua</i>	18	286 - 930	-16.72 $\pm$ 0.55	96%	15.16 $\pm$ 1.00	3.15 $\pm$ 0.05	4.86 $\pm$ 0.51	3.99 - 5.74	benthique
<i>L. limanda</i>	13	191 - 278	-16.63 $\pm$ 0.42	96%	14.14 $\pm$ 0.97	3.22 $\pm$ 0.05	4.41 $\pm$ 0.42	3.61 - 5.11	benthique
<i>M. merlangus</i>	30	205 - 382	-16.77 $\pm$ 0.37	95%	16.48 $\pm$ 0.56	3.15 $\pm$ 0.02	5.64 $\pm$ 0.38	5.02 - 6.99	prédateur
<i>M. surmuletus</i>	5	196 - 250	-16.83 $\pm$ 0.27	92%	15.29 $\pm$ 0.57	3.20 $\pm$ 0.04	4.97 $\pm$ 0.29	4.56 - 5.28	benthique
<i>P. platessa</i>	40	206 - 384	-17.04 $\pm$ 0.82	89%	13.47 $\pm$ 0.94	3.15 $\pm$ 0.04	4.14 $\pm$ 0.38	3.45 - 5.08	benthique
<i>P. pollachius</i>	4	nd	-16.88 $\pm$ 0.19	91%	16.61 $\pm$ 0.33	3.13 $\pm$ 0.02	5.61 $\pm$ 0.22	5.36 - 5.81	prédateur
<i>S. scombrus</i>	6	298 - 337	-17.82 $\pm$ 0.40	71%	14.56 $\pm$ 1.28	nd	4.59 $\pm$ 0.61	3.87 - 5.34	pélagique
<i>S. canicula</i>	18	389 - 634	-16.51 $\pm$ 0.34	99%	13.81 $\pm$ 0.68	2.63 $\pm$ 0.03	4.27 $\pm$ 0.31	3.94 - 5.24	benthique
<i>S. sprattus</i>	5	107 - 120	-17.68 $\pm$ 0.34	75%	14.48 $\pm$ 0.61	3.19 $\pm$ 0.05	4.53 $\pm$ 0.27	4.11 - 4.73	pélagique
<i>T. trachurus</i>	7	101 - 134	-18.23 $\pm$ 0.44	64%	15.34 $\pm$ 0.30	3.23 $\pm$ 0.05	4.89 $\pm$ 0.16	4.70 - 5.12	pélagique
<i>T. minutus</i>	9	85 - 120	-17.82 $\pm$ 0.18	71%	13.87 $\pm$ 0.23	3.12 $\pm$ 0.01	4.27 $\pm$ 0.10	4.13 - 4.42	pélagique

\**A. opercularis* n'a pas été incluse dans le clustering, son appartenance à ce groupe a été fixée a priori, de même que son niveau trophique

Les 16 espèces de poissons pour lesquelles les signatures isotopiques ont été déterminées **s'organisent au sein de 3 clusters cohérents avec les préférences écologiques des espèces**. Le premier regroupe des **espèces classiquement considérées comme pélagiques** (p. ex. *C. harengus*, *S. sprattus*, *T. trachurus* etc.), montrant les valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  les plus faibles, et également des niveaux trophiques moyens plus faibles, compris entre 3.75 pour le hareng et 4.89 pour le chinchard. Le **deuxième groupe** inclut des espèces auxquelles on associe généralement un **mode de vie benthique** (*L. limanda*, *P. platessa*, *M. surmuletus*, *S. canicula* etc.), marquées par des valeurs plus élevées pour le  $\delta^{13}\text{C}$  et pour les niveaux trophiques (compris entre 4.13 et 4.94). Ce groupe inclut trois clusters obtenus par l'analyse des contenus stomacaux. Enfin, le dernier groupe inclut les **trois espèces ayant les niveaux trophiques les plus élevés**, *D. labrax*, *M. merlangus* et *P. pollachius*.

La position relative des espèces les unes par rapport aux autres et le regroupement qui en découle sont cohérents avec la littérature, notamment en ce qui concerne la position trophique élevée observée pour *P. pollachius*, *D. labrax* et *M. merlangus* (Jennings et van der Molen, 2015). Il est aussi intéressant de voir que des espèces appartenant à trois clusters stomacaux appartiennent au même cluster trophique. Un tel résultat, déjà observé dans des travaux précédents (Cresson et al., 2014b) reflète le **caractère intégrateur des isotopes stables qui informe sur la structure globale et les principaux flux de matière dans le réseau trophique**. Les contenus stomacaux apportent au contraire une **information plus détaillée sur l'alimentation des espèces**. Cependant, les valeurs absolues semblent relativement élevées, notamment pour le bar. Des valeurs de niveau trophique individuel supérieur à 5 sont pour autant déjà rapportées pour cette espèce (Jennings et van der Molen, 2015). De même, ces auteurs rapportent un certain nombre de valeurs individuelles de niveau trophique supérieures à 5 pour *M. merlangus*, et ceci conformément à la part importante des poissons dans l'alimentation de cette espèce (Figure 14). Il convient également de garder en mémoire que la méthode de calcul des niveaux trophiques utilisé ici diminue le facteur de fractionnement avec l'augmentation du  $\delta^{15}\text{N}$  du poisson.

L'augmentation de niveau trophique se fait donc plus rapidement aux niveaux trophiques élevés (Hussey et al., 2014). Le niveau trophique plus élevé qu'attendu peut donc aussi être inhérent à la méthode. Enfin, il est également à remarquer que l'effectif faible pour le bar donne un poids fort à chaque valeur dans le calcul du niveau trophique moyen, et donc tend à augmenter cette valeur.

La représentation des données sous forme de biplot permet également de mieux appréhender la topologie du réseau trophique auquel appartiennent ces poissons. La position des poissons par rapport à celles des sources est cohérente avec les résultats du modèle de mélange et **confirme la contribution benthique forte, y compris pour les espèces considérées comme pélagiques** (Figure 15). Elle s'échelonne entre 53 % pour *C. harengus* et 97 % pour *S. canicula* (Tableau 9). Cette prédominance de la contribution benthique dans un environnement peu profond est cohérente avec des résultats récents obtenus localement (Kopp et al., 2015; Cresson et al., 2016a; Timmerman et al., 2016; Giraldo et al., soumis). L'hypothèse retenue dans ces différents travaux est que la faible profondeur des stations de collecte des poissons (28 - 60 m), et de manière générale de la Manche, favorise un couplage intense entre écosystèmes pélagiques et benthiques.

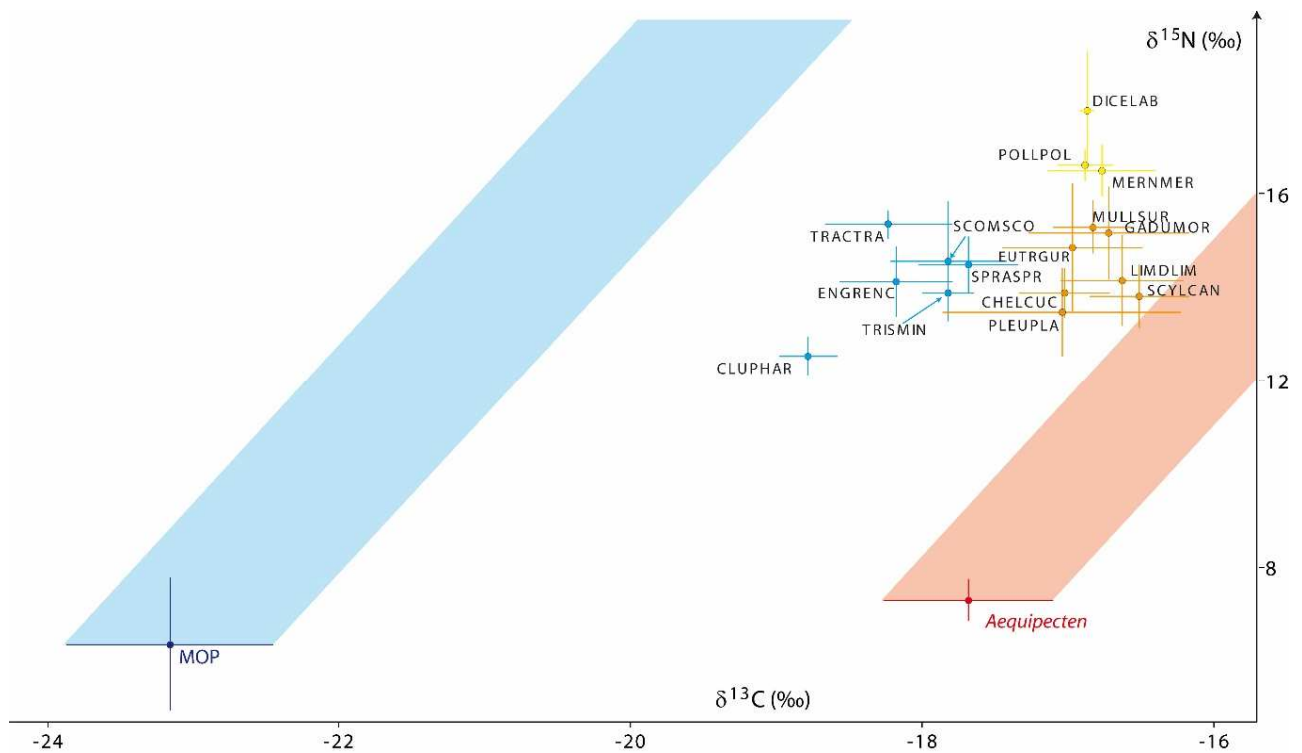


Figure 15. Positions relatives des poissons au sein du réseau trophique, basées sur leurs signatures isotopiques (moyenne  $\pm$  écarts-types). Les espèces appartenant au même cluster isotopique sont représentées avec des points de couleurs identique (bleu : espèces pélagiques ; rouge : espèces benthiques ; jaunes : espèces prédatrices). Les deux zones bleues et rouge représentent les zones d'influence théorique des productions primaires pélagiques et benthiques, basées sur un incrément de 1 ‰ pour la signature isotopique en carbone à chaque niveau trophique. Les noms des espèces sont abrégés pour des raisons graphiques, et correspondent aux 3 premières lettres du nom de genre et d'espèce.

Les relations entre la longueur et le niveau trophique ont également été calculées (Figure 16). De nombreux indicateurs du fonctionnement de l'écosystème sont en effet basés sur la taille des organismes, en considérant qu'il existe une relation positive entre la taille et le niveau trophique (Maxwell et Jennings, 2006; Chauvelon et al., 2014). Le postulat sous-jacent à cette relation est que l'augmentation de la taille du prédateur lui permet d'accéder à des proies de plus grande taille, elles-mêmes de niveau trophique plus élevé. Ce postulat est néanmoins de plus en plus remis en cause. La relation positive serait ainsi limitée aux écosystèmes pélagiques, fortement structurés par la taille. Au contraire, la possibilité en milieu benthique d'accéder à un ensemble de proies de taille et de niveau trophique hétérogène induirait un patron beaucoup moins tranché pour la relation taille-niveau trophique (Cohen et al., 1993; Maxwell et Jennings, 2006).

Dans le cas de la Manche, des relations significatives entre taille et niveau trophique ont été observées pour 4 espèces seulement (*E. encrasicolus*, *E. gurnardus*, *M. merlangius* et *S. canicula*). Par ailleurs, une majorité de régressions, significatives ou non, ont des pentes négatives. Une relation négative, ou l'absence de relation significative entre taille et niveau trophique peut donc être interprétée comme une alimentation au sein de l'écosystème benthique (Cohen et al., 1993; Maxwell et Jennings, 2006). **Il n'est donc pas surprenant de détecter aussi peu de relations positives, y compris pour des espèces classiquement considérées comme pélagiques (e. g. *C. harengus*, *E. encrasicolus*, *T. trachurus*) dans un contexte où les ressources benthiques ont une importance forte** (Figure 14). Par contre, il est surprenant que deux espèces purement benthiques comme *S. canicula* et *E. gurnardus* soient les seules qui montrent des relations positives et significatives. Ce patron pourrait être lié à des phénomènes de changements alimentaires avec la croissance. Une analyse plus poussée des résultats des contenus stomacaux, et notamment des changements alimentaires avec la taille, devrait permettre d'apporter des éléments de réponse à cette question.

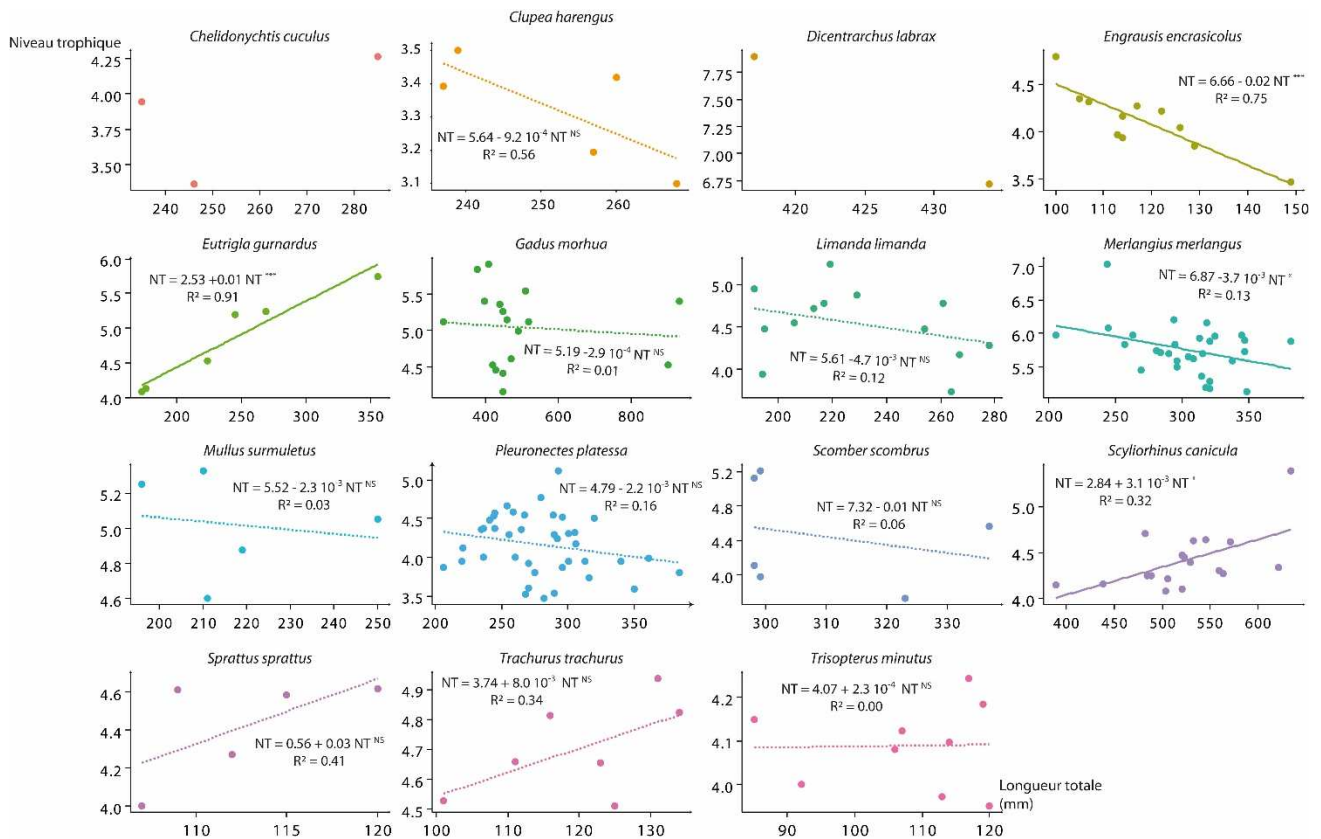


Figure 16. Relations entre longueur totale (en mm, abscisse) et niveau trophique (ordonnées). Les paramètres statistiques de chaque relation (équation,  $R^2$  et p-value) figurent sur chaque figure (\*\*\*) p-value < 0.001 ; \*\* p-value < 0.01 ; \* p-value < 0.05, NS : non significatif, p-value > 0.05). Les droites sont tracées en trait pleins quand la relation est significative. Les relations n'ont pas été calculées pour *D. labrax* (2 points) et *C. cuculus* (3 points).

#### d. Eléments traces métalliques

Les tendances moyennes issues de l'analyse des éléments traces métalliques sont détaillées dans le Tableau 10 ci-dessous. Elles permettent tout d'abord de séparer le mercure et l'arsenic, éléments pour lesquels les concentrations mesurées dans tous les individus sont supérieures aux limites de détection et de quantification. Au contraire, le plomb est retrouvé chez quelques individus pour l'ensemble des espèces, et le cadmium est retrouvé à des concentrations supérieures à la limite de détection quasiment exclusivement chez la petite roussette..

Tableau 10. Résultats de l'analyse des éléments traces métalliques. N : nombre de poissons analysés par espèce. L'indice après le N précise l'effectif utilisé pour chaque analyse. Pour Pb et le Cd, l'effectif inférieur correspond uniquement aux poissons pour lesquels des valeurs >LD ont été mesurées. Les analyses de métaux traces ont été effectués pour les mêmes individus pour chaque espèces, la gamme de longueur totale (LT) et la moyenne du niveau trophique (NT) correspondent aux valeurs mesurées spécifiquement pour ces individus et pas pour tous les individus de l'espèce, ce qui explique les différences de valeurs entre ce tableau et le tableau 11.

Espèces	LT (mm)	Niv. Troph	Hg ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	
	(min-max)	moyenne $\pm$ sd	N	Moyenne $\pm$ sd	N	Moyenne $\pm$ sd	N	Moyenne $\pm$ sd	N	Moyenne $\pm$ sd
<i>G. morhua</i>	286-409	5.57 $\pm$ 0.38	5	0.09 $\pm$ 0.01	5	8.59 $\pm$ 10.73	3	0.07 $\pm$ 0.11	1	0,002
<i>M. merlangus</i>	257-382	5.72 $\pm$ 0.30	16	0.08 $\pm$ 0.02	16	4.83 $\pm$ 1.62	3	0.01 $\pm$ 0.00	1	0,004
<i>P. platessa</i>	256-340	4.15 $\pm$ 0.48	12	0.09 $\pm$ 0.06	12	15.40 $\pm$ 5.84	9	0.01 $\pm$ 0.01	3	0.002 $\pm$ 0.001
<i>S. scombrus</i>	298-337	4.45 $\pm$ 0.61	16	0.12 $\pm$ 0.07	16	1.34 $\pm$ 0.86	2	0.11 $\pm$ 0.15	1	0,001
<i>S. canicula</i>	389-634	4.43 $\pm$ 0.34	13	0.36 $\pm$ 0.11	13	44.55 $\pm$ 17.83	8	0.005 $\pm$ 0.002	12	0.003 $\pm$ 0.001

La comparaison interspécifique des résultats montre que pour 3 des 4 éléments analysés (Hg, As et Cd), **les valeurs moyennes les plus élevées sont retrouvées chez la rousette**. Il est classique de retrouver des concentrations fortes en métaux chez cette espèce, et aussi les valeurs les plus élevées lorsque des comparaisons interspécifiques sont effectuées (Cresson et al., 2014a; Storelli et al., 2005). Cette tendance est également retrouvée sur les façades « golfe de Gascogne » et « mer Celtique » dans le cadre de la DCSMM. Il est également intéressant de noter que ces concentrations sont comparables avec ce qui est mesuré dans des mers adjacentes (mer Celtique, mer du Nord) pour cette espèce (De Gieter et al., 2002; Domi et al., 2005). Un effet trophique ne peut pas être proposé comme élément d'explication, car cette espèce ne montre pas le niveau trophique moyen le plus élevé. Ces résultats peuvent néanmoins s'expliquer par la capacité d'accumulation des contaminants déjà mesurées chez les sélaciens, et notamment *S. canicula* (Jeffree et al., 2006; Cresson et al., 2014a, 2016b). Il convient donc de s'interroger quant à l'efficacité de l'utilisation de cette espèce comme bioindicateur de la contamination environnementale, du fait de sa capacité à accumuler les contaminations. **Il est par ailleurs difficile de conclure quant aux différences interspécifique pour les autres métaux, plomb et cadmium essentiellement, du fait des effectifs assez faibles**. Il existe de plus assez peu de données dans la littérature concernant les contaminations métalliques dans les poissons en Manche, et nettement moins que pour les autres façades. Par ailleurs, la plupart des travaux disponibles concernent des prélèvements côtiers. Un effort d'acquisition de connaissance à propos des niveaux de contamination et des facteurs biotiques et abiotiques pourrait être nécessaire.

Des corrélations significatives entre niveau trophique et contaminants ont pu être mises en évidence pour deux couples espèce - contaminant seulement (Figure 17). Dans les deux cas, les corrélations sont positives, conformément à l'hypothèse de bioamplification mais les pentes des droites sont faibles (0.02 et 0.04), ce qui pourrait témoigner d'une amplification assez limitée. La corrélation observée pour le plomb chez la plie *P. platessa* pourrait être le reflet de l'exposition chronique de cette espèce à ce contaminant via son mode de vie benthique, et la concentration souvent élevée en plomb dans les sédiments. Les poissons plats sont souvent considérés à ce titre comme de bons indicateurs de la contamination des milieux, même si peu de relations significatives entre contamination et descripteurs biologiques sont observés (e. g. Henry et al., 2004). Cependant, des travaux montrent également que les pleuronectiformes ont des facteurs de concentrations des métaux plus faibles que ceux des autres espèces de téléostéens, peut-être une conséquence évolutive de la vie en contact avec le sédiment contaminé (Jeffree et al., 2010; Cresson et al., 2016b). Un effort certain de recherche et d'acquisition

de connaissance serait donc nécessaire, pour disposer d'analyses sur un plus grand nombre d'individus, et pour s'affranchir de la forte variabilité interindividuelle classiquement mesurée.

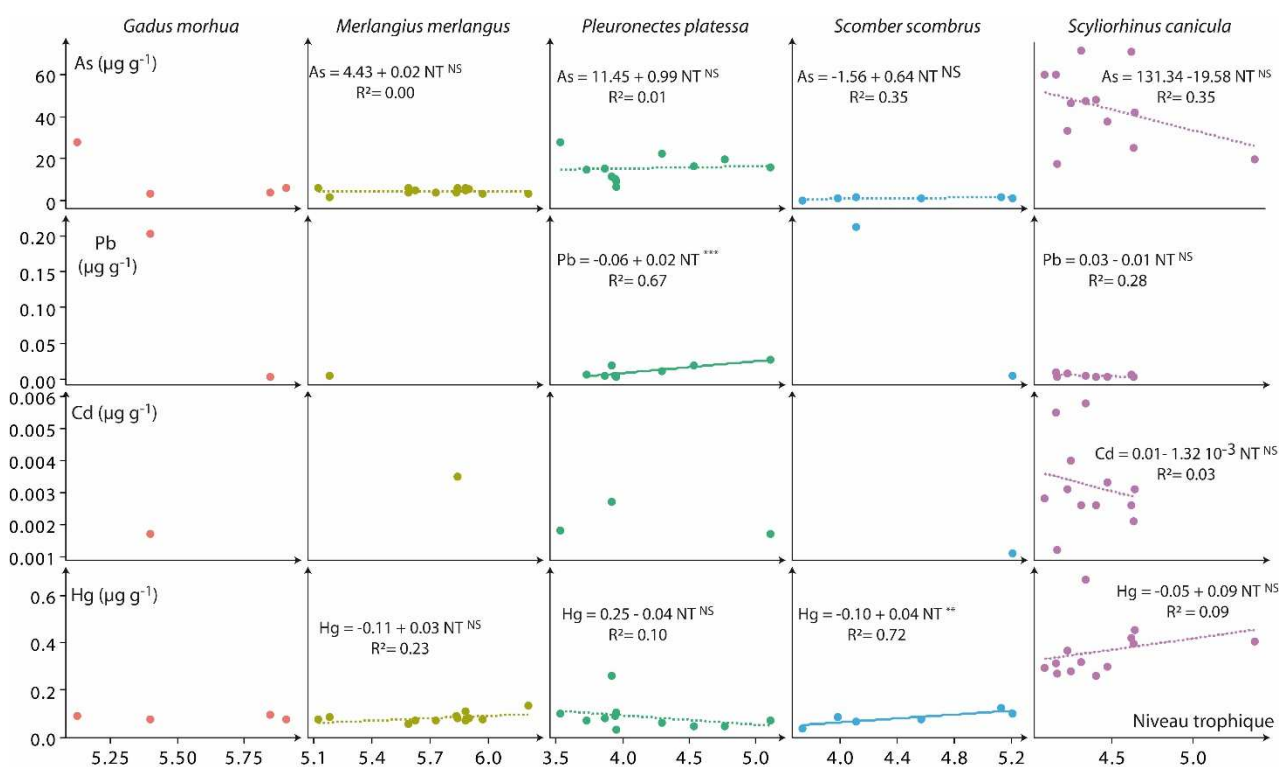


Figure 17. Relations entre niveau trophique (abscisse) et concentration en contaminant (ordonnées). Les paramètres statistiques de chaque relation (équation,  $R^2$  et  $p$ -value) figurent sur chaque figure (\*\*\*)  $p$ -value < 0.001 ; \*\*  $p$ -value < 0.01 ; \*  $p$ -value < 0.05, NS : non significatif,  $p$ -value > 0.05). Les droites sont tracées en trait pleins si la relation est significative. Les relations ont été calculées lorsque l'effectif était supérieur à 4 valeurs individuelles par espèce et par contaminant.

### e. Polluants organiques persistants (POP)

Les tendances moyennes issues de l'analyse des POP sont détaillées dans le Tableau 11 ci-après. Les molécules organiques se décomposent en trois grandes classes de composés, les PCDD (Polychlorodibenzo-p-dioxine) classiquement appelées dioxines, les PCDF (polychlorodibenzofuranes) et les PCB (polychlorobiphényles). Chaque classe regroupe un grand nombre de congénères partageant une structure chimique comparable. Dans ce travail, 7 congénères de PCDD, 10 congénères de PCDF et 18 congénères de PCB ont été analysés. Il a été choisi de représenter les résultats des différents congénères selon des sommes de composés aux propriétés similaires, comme recommandé dans la littérature. Pour les PCDF et PCDD, la somme des concentrations pour tous les congénères a été considérée et désignée par la suite avec le symbole S PCDF et S PCDD. Pour les PCB, deux descripteurs ont été calculés, conformément aux travaux disponibles dans la littérature : le congénère CB 153, classiquement considéré comme un bon proxy de la contamination (e. g. Bodiguel et al., 2008; Harmelin-Vivien et al., 2012; Cresson et al., 2016b) car il est fortement corrélé à la contamination globale ( $r^2 = 0.99$ ,  $p$ -value <  $10^{-4}$  dans le cas présent). Le deuxième indicateur considéré est la somme des 7 congénères de l'ICES (congénères CB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180), désignée par la suite par le symbole S7.



Tableau 11. Résultats de l'analyse des polluants organiques persistants (POP). N : nombre total de poisson analysé par espèce. LT : gamme de longueur totale des poissons analysés. Niv. Troph : niveau trophique moyen. Les différences de longueur totale et de niveau trophique par rapport aux valeurs pour ces espèces dans le tableau 11 proviennent du fait qu'elles ont été calculées ici spécifiquement pour les individus inclus dans l'analyse des polluants organiques persistants.

Espèce	N	% Masse grasse	LT (min-max)	Niv. Troph moyenne $\pm$ sd	CB 153		S7 (ng g <sup>-1</sup> ) moyenne $\pm$ sd	SPCDDs (pg g <sup>-1</sup> ) moyenne $\pm$ sd	SPCDF (pg g <sup>-1</sup> ) moyenne $\pm$ sd
					(ng g <sup>-1</sup> )	% CB153			
<i>G. morhua</i>	5	0.67 $\pm$ 0.15	286-409	5.57 $\pm$ 0.38	1.06 $\pm$ 0.55	40.3 $\pm$ 1.9	2.39 $\pm$ 1.15	0.14 $\pm$ 0.04	0.53 $\pm$ 0.26
<i>M. merlangus</i>	16	0.53 $\pm$ 0.09	257-382	5.72 $\pm$ 0.30	0.57 $\pm$ 0.37	38.4 $\pm$ 2.9	1.33 $\pm$ 0.78	0.08 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.03
<i>P. platessa</i>	12	0.94 $\pm$ 0.24	256-344	4.15 $\pm$ 0.48	1.12 $\pm$ 1.08	37.0 $\pm$ 2.8	2.73 $\pm$ 2.51	0.24 $\pm$ 0.10	0.68 $\pm$ 0.35
<i>S. scombrus</i>	13	8.08 $\pm$ 2.17	298-337	4.45 $\pm$ 0.61	14.00 $\pm$ 11.52	37.1 $\pm$ 2.5	34.73 $\pm$ 27.38	0.61 $\pm$ 0.21	4.58 $\pm$ 2.42
<i>S. canicula</i>	16	1.57 $\pm$ 0.22	389-634	4.43 $\pm$ 0.34	0.49 $\pm$ 0.21	37.7 $\pm$ 1.0	1.21 $\pm$ 0.52	0.13 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.03

Pour l'ensemble des descripteurs de la contamination en POP, les **valeurs les plus élevées sont retrouvées dans le maquereau *S. scombrus*** alors que ce n'est pas pour cette espèce que le niveau trophique est le plus élevé. La bioamplification des contaminants le long du réseau trophique n'est donc pas suffisante pour expliquer les différences de contamination. Par contre, **on note que le maquereau est l'espèce pour laquelle le taux de masse lipidique est le plus élevé**. Les POP sont des molécules à structure chimique complexe, fortement lipophiles, et classiquement retrouvés dans les organes gras (e. g. Bodiguel et al., 2009). Il n'est donc pas surprenant que les concentrations les plus élevées soient retrouvées dans l'espèce la plus riche en lipides.

Un autre indicateur typiquement analysé dans l'étude de la contamination en PCB est le profil de contamination, c'est-à-dire la proportion relative des composés en fonction de leur degré de chloration. Le nombre d'atomes de chlore conditionne la stabilité et la persistance des congénères de PCB, il est donc assez classique que ce profil soit dominé par des congénères à 6 et 7 atomes de chlore. Par ailleurs, comparer un profil et non des concentrations absolues, permet de s'affranchir des différences interspécifiques du niveau de contamination. Des différences de profil sont la plupart du temps expliquées par des sources ou des processus de contamination différents (Dierking et al., 2009; Peterson et al., 2014). La tendance observée dans les poissons de Manche est cohérente avec la grande majorité des travaux, puisque **les congénères hexa et heptachlorés représentent 70 à 80 % de la contamination en PCB** (Figure 18), avec le CB 153 (congénère hexachloré) qui représente entre 37 et 38 % de la contamination totale en PCB, sauf chez la morue où cette valeur est légèrement supérieure à 40 % (Tableau 11). En conséquence, la proportion des congénères hexachlorés est de 2 à 6 % plus élevée chez la morue. Lorsque l'on considère l'ensemble des espèces, **un effet faible mais significatif du niveau trophique sur la proportion de congénères hexachlorés est observé** ( $r^2=0.08$ , p-value < 0.05). Une modification des congénères majoritaires est ainsi observé chez des espèces de mammifères piscivores chez qui les hexa- et heptachlorés deviennent prépondérants (Muir et al., 1988; Hoekstra et al., 2003).

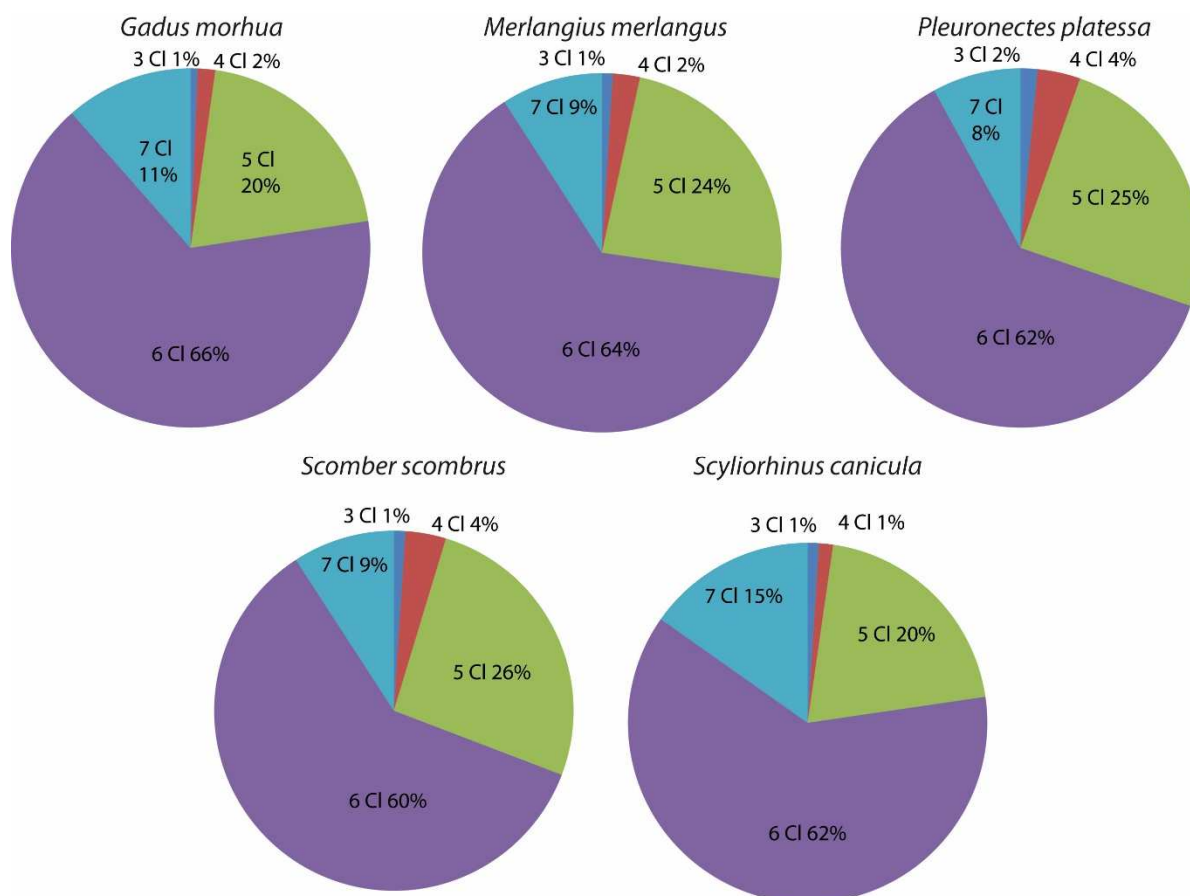


Figure 18. Proportions relatives des différentes classes de PCB dans la contamination de chaque espèce.

La détermination des relations entre descripteurs de la contamination en POP et niveau trophique montre au final peu de corrélations significatives : une relation entre la concentration absolue en CB153 et le niveau trophique est observée uniquement chez *S. scombrus* (Figure 19). Cette absence de relation semble contradictoire avec le caractère bioamplifiable des POP. De nombreux travaux ont montré qu'il pouvait exister une forte variabilité interindividuelle de la contamination en polluants organiques persistants liée à différents facteurs abiotiques ou biotiques, tels que les niveaux de contamination environnementale, l'âge, la croissance, le sexe, le taux de lipides, les mécanismes d'accumulation ou de détoxification ou les comportements alimentaires (e. g. Bodiguel et al., 2008, 2009; Dierking et al., 2009; Harmelin-Vivien et al., 2012; Koenig et al., 2012; Peterson et al., 2014; Cresson et al., 2015, 2016b). Un travail récent basé sur une synthèse bibliographique a par ailleurs montré que la bioamplification n'était pas réellement démontrée pour les poissons profonds, et qu'un effort d'échantillonnage plus important sur ces espèces pourrait être nécessaire (Cresson et al., 2016b). Une des conclusions de ces travaux est par ailleurs que si un échantillonnage limité peut permettre de discuter partiellement des différences interspécifiques, il ne permet pas de conclure quant aux variations intraspécifiques. La même conclusion s'impose ici, ou la contamination pour certaines espèces n'est décrite que par un nombre limité de valeurs pour chaque espèce.

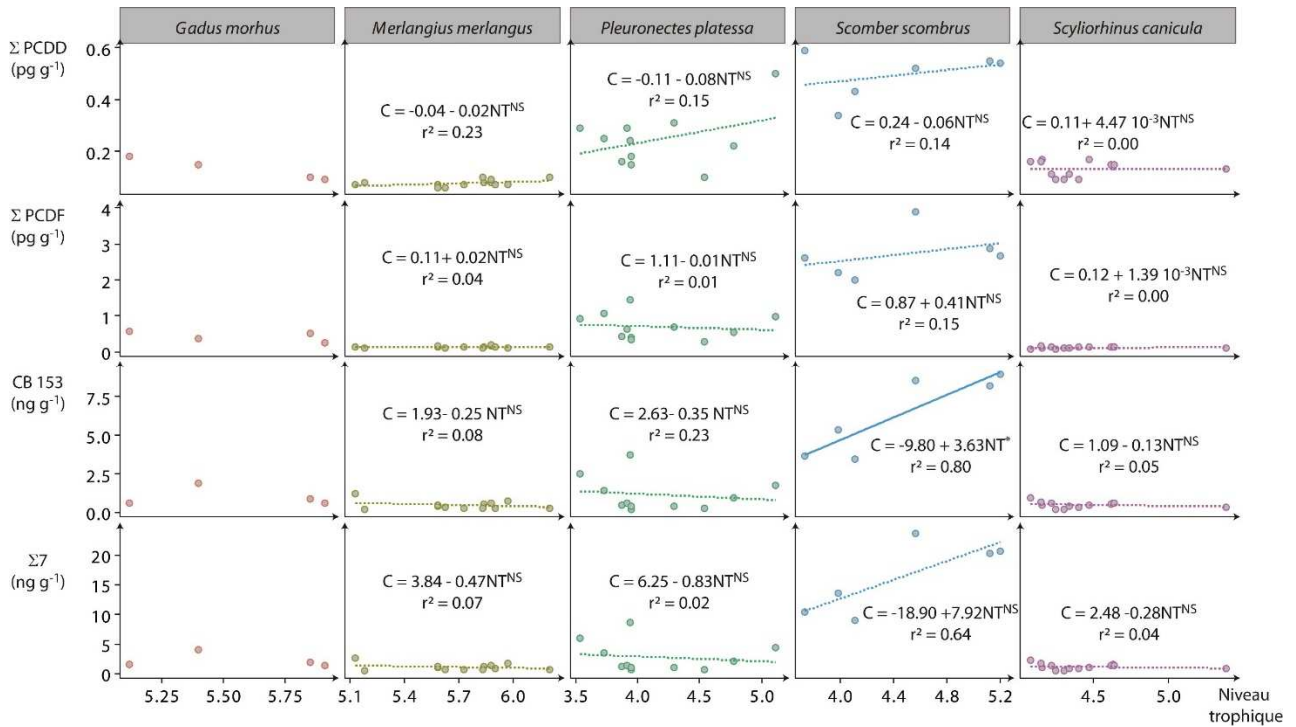


Figure 19. Relations entre niveau trophique (abscisse) et concentration en contaminant (ordonnées). Les paramètres statistiques de chaque relation (équation,  $R^2$  et  $p$ -value) figurent sur chaque figure (\*\*\*)  $p$ -value < 0.001 ; \*\*  $p$ -value < 0.01 ; \*  $p$ -value < 0.05, NS : non significatif,  $p$ -value > 0.05). Les droites ne sont tracées en trait pleins que si la relation est significative. Les relations ont été calculées lorsque l'effectif était supérieur à 4 valeurs individuelles par espèce et par contaminant.

## f. Densités énergétiques des poissons fourrages

Spitz J. & Dabkowski H.

Observatoire PELAGIS, UMS 3462, Université de La Rochelle / CNRS, 5 allées de l'océan 17000 La Rochelle, France. [jspitz@univ-lr.fr](mailto:jspitz@univ-lr.fr)

### Méthodologie

Les individus sont préparés un par un. Après avoir laissé décongeler les poissons à température ambiante pendant quelques heures, chaque individu est pesé et mesuré. Ils sont ensuite broyés puis lyophilisés. Chaque lyophilisat sera ensuite réduit en une poudre homogène. Les poudres ne sont pas utilisables directement dans le calorimètre, en effet la poudre pourrait provoquer une explosion. Des pastilles sont donc réalisées à partir des poudres et de l'aide d'une presse.

Un calorimètre adiabatique (Parr® 6772) est utilisé pour mesurer les densités énergétiques des poissons. La combustion de l'échantillon libère de la chaleur ; la variation de température sera convertie en énergie. Les densités énergétiques mesurées sont exprimées en masse fraîche pour l'individu entier.

## Résultats

En Manche, 6 espèces échantillonnées durant l'hiver 2015 sur IBTS ont fait l'objet d'une mesure de leur densité énergétique, soit un total de 49 individus analysés (Tableau 12).

Tableau 12. Espèces et nombre d'échantillons pour la campagne IBTS 2015 pour les analyses de calorimétrie.

Nom latin	Espèces		Nombre	Longueur totale (cm)	
	Nom commun			moyenne $\pm$ sd	Min-Max
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois		5	9.6 $\pm$ 0.5	[9.1-10.2]
<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat		4	10.6 $\pm$ 0.5	[9.9-11]
<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun		15	13 $\pm$ 3.5	[7.5-17]
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau		5	20.8 $\pm$ 1.6	[18.9-22.5]
<i>Mullus surmulatus</i>	Rouget barbet		19	12.3 $\pm$ 1.9	[10.1-17]
<i>Trisopterus minutus</i>	Petit tacaud		1	9.0	-

Les individus analysés sur IBTS 2015 présentent une gamme de valeur de densité énergétique comprise entre 3,7 et 8,6 kJ.g<sup>-1</sup> (Figure 20). Le petit tacaud est l'espèce présentant la plus faible densité énergétique mais malheureusement un seul individu a pu faire l'objet d'une mesure. L'anchois et le chinchard avec des valeurs inférieures à 6 kJ.g<sup>-1</sup> présentent en hiver en Manche des densités énergétiques assez faible pour ces espèces (Spitz & Jouma'a, 2013). Le maquereau présente la plus forte variabilité intra-spécifique. Néanmoins, le nombre d'individus par espèce est faible pour quatre des six espèces échantillonnées limitant la robustesse des résultats présentés pour IBTS 2015.

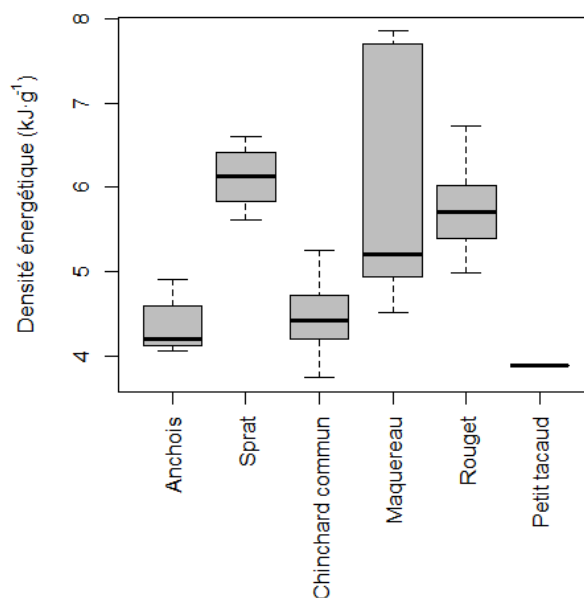


Figure 20. Boxplots des densités énergétiques des espèces de poissons échantillonnées sur IBTS 2015.

## 2. Résultats obtenus sur la façade Atlantique (EVHOE 2014 et PELGAS 2015)

François Le Loc'h ([francois.le.loch@ird.fr](mailto:francois.le.loch@ird.fr))

Laboratoire des sciences de l'environnement marin (LEMAR), UMR 6539, IUEM Technopôle Brest-Iroise - rue Dumont d'Urville - 29280 Plouzané

Participation aux illustrations graphiques sous R (contaminants) : Nathalie Wessel (Ifremer Nantes)

### Résumé des principaux résultats

- Les régimes alimentaires de deux espèces de sélaciens (raie fleurie, petite roussette) ont été étudiés dans les deux zones d'étude : le golfe de Gascogne Nord et la mer Celtique. Ils montrent l'importante part des crustacés dans leur régime.
- L'analyse des compositions isotopiques montre une différenciation entre certaines espèces pélagiques (sprat, sardine) et benthodémersales (émissole et petite roussette).
- La petite roussette présente des concentrations en éléments traces métalliques plus élevées que celles des autres espèces. Elle semble montrer également une corrélation significative entre son niveau trophique et sa concentration en mercure, négative en Nord Gascogne et positive en mer Celtique.
- La sardine et le maquereau présentent quant à eux les concentrations les plus élevées en polluants organiques persistants dans le golfe de Gascogne et également en mer Celtique pour le maquereau.
- Les résultats de cette phase d'essai complètent les données épisodiquement acquises sur la densité énergétique chez les poissons fourrages dans le golfe de Gascogne.
- Les premiers résultats obtenus suggèrent principalement une baisse des densités énergétiques dans le golfe de Gascogne chez les poissons échantillonnés à l'automne, suggérant d'une diminution de certaines capacités trophiques de cet écosystème.
- Un suivi à long terme de ce paramètre contribuera à renseigner l'état de cet écosystème et anticiper certains impacts sur les niveaux trophiques supérieurs.

## **a. Bilan de l'échantillonnage et des analyses**

Ce chapitre présente les premières analyses réalisées sur les poissons collectés lors des campagnes EVHOE 2014 et PELGAS 2015. Durant la campagne, 15 espèces de poissons ont été collectées. Un effort particulier a été mené sur deux espèces de sélaciens pour l'étude de leur régime alimentaire : la petite roussette (*Scyliorhinus canicula*) et la raie fleurie (*Leucoraja naevus*). Le choix de ces deux espèces est lié à la collaboration avec l'Association pour l'Etude et la Conservation des Sélaciens (APECS) qui a réalisé l'échantillonnage lors de la campagne EVHOE 2014 dans la partie Nord du golfe de Gascogne et en mer Celtique. Aucun bivalve n'a pu être collecté durant la campagne EVHOE. La ligne de base isotopique a donc été évaluée uniquement sur un prélèvement de mesozooplancton effectué dans le cadre de la thèse d'Aurélié Dessier (2015) à l'UMR LIENSs.

Les mesures, les pesées et les dissections des poissons se sont faites sur le bateau pour les espèces de sélaciens. Les autres espèces ont été traitées au laboratoire LIENSs à La Rochelle. Tous les échantillons ont été congelés à bord du N/O « Thalassa ». La méthodologie employée pour conserver et conditionner les échantillons avant analyse est la même que celle utilisée pour traiter les échantillons de la Manche (Cf. chapitre précédent).

## **b. Alimentation - Analyse des contenus stomacaux**

L'analyse des contenus stomacaux a porté sur 336 individus de deux espèces de sélaciens : la petite roussette (*Scyliorhinus canicula*) et la raie fleurie (*Leucoraja naevus*). 101 petites roussettes ont été capturées dans chacune des deux zones. Elles mesuraient de 21 à 63 cm (longueur totale). Sur l'ensemble des estomacs, seuls 7 étaient vides, tous dans le golfe de Gascogne. Pour la raie fleurie, 134 individus ont été récoltés, 36 dans le golfe de Gascogne et 98 en mer Celtique. Leur gamme de taille s'étendait de 21,5 à 66 cm et aucun des estomacs n'était vide sur les deux zones. Les individus ont été classés en classes de taille en fonction de leur longueur totale dans le golfe de Gascogne et en mer Celtique (Figure 21).

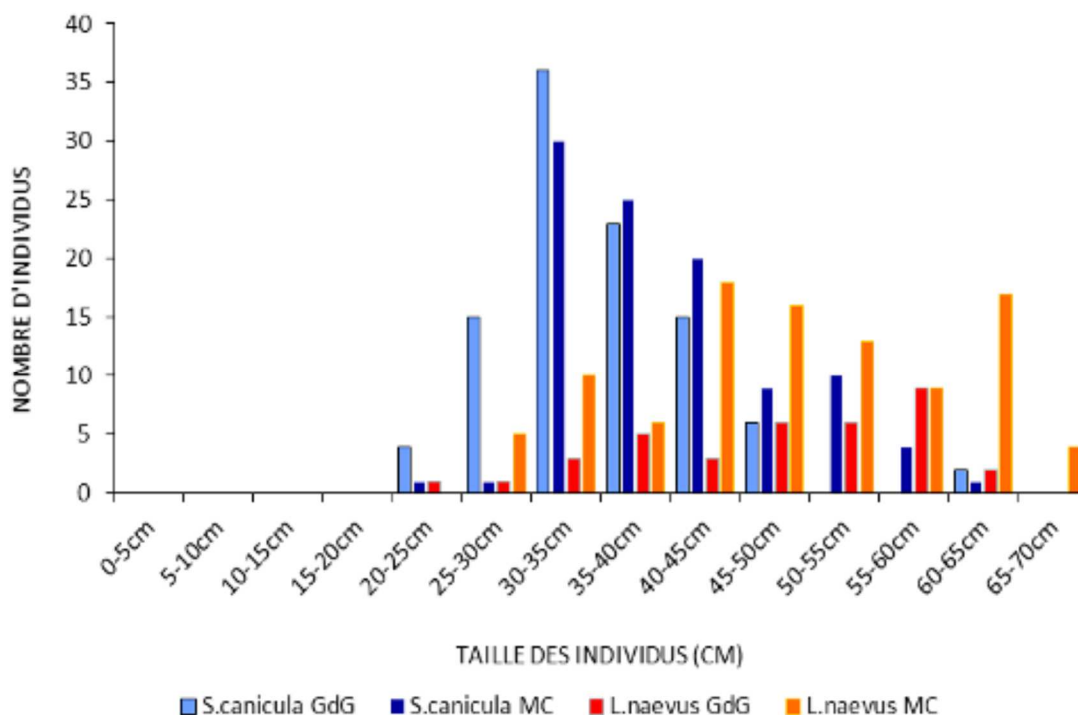


Figure 21. Nombre d'individus par classes de taille pour *S. canicula* et *L. naevus* dans les deux zones d'étude : golfe de Gascogne (GdG) et mer Celtique (MC).

Après dissection des poissons, les proies contenues dans l'estomac ont été déterminées au niveau taxonomique le plus précis possible puis dénombrées lorsqu'ils n'étaient pas trop dégradés. Pour les résidus dégradés, la méthode la plus parcimonieuse a été adoptée : le nombre de pièces dures (otolithes, pinces etc.) a été compté puis divisé pour retrouver le nombre minimal d'individus pouvant aboutir à ce nombre de pièces. Le poids sec de chaque proie a été déterminé après passage à l'étuve à 60 °C durant 48 heures minimum. Les trois indices ainsi obtenus (pourcentage d'occurrence, d'abondance et de masse) ont été combinés au sein de l'indice d'importance relative (IRI) qui permet de prendre en compte l'occurrence, l'abondance et la biomasse des proies. 43 espèces de proies ont été identifiées ainsi que 15 familles (quand il était impossible de déterminer jusqu'à l'espèce). Les résultats sont présentés par espèce et par zone, sans tenir compte des classes de taille, et en agrégeant les proies à un niveau taxonomique assez élevé (échinoderme, mollusque, crustacé etc.).

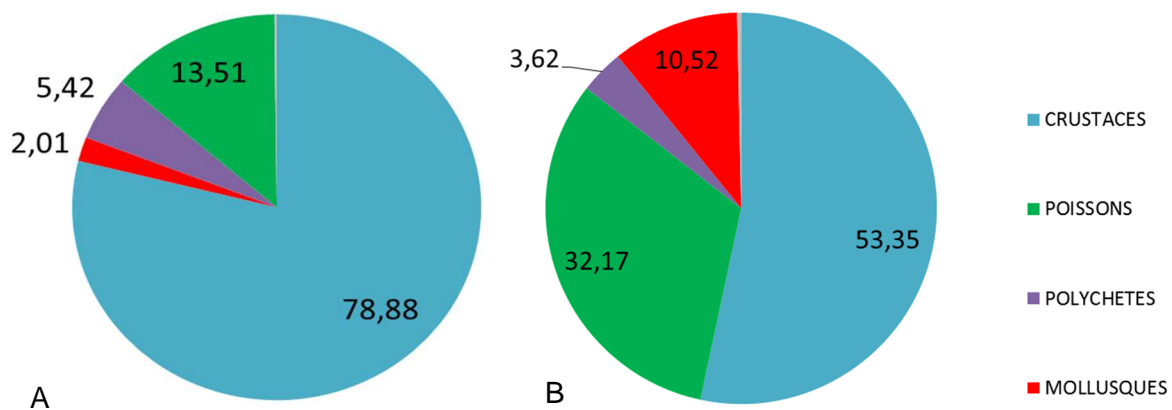


Figure 22. Spectre alimentaire (pourcentage IRI par type de proie) pour les roussettes du Golfe de Gascogne (A ; n = 101; taux de vacuité = 7 %) et de la mer Celtique (B ; n = 101; taux de vacuité = 0 %)

La Figure 22 représente l'indice d'importance relative (% IRI) pour chacune des catégories de proies pour les deux zones d'étude du régime alimentaire de *Scylliorhinus canicula*. En fonction des zones, les crustacés représentent entre 53 et 79 % de l'IRI et les poissons entre 13 et 32 %. Les mollusques et les polychètes ne représentent que 2 à 10 % de l'IRI.

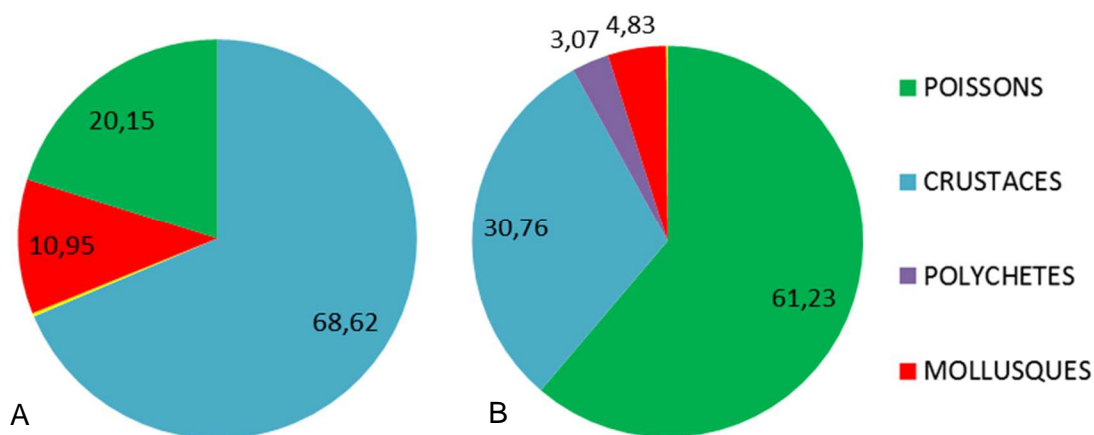


Figure 23. Spectre alimentaire (pourcentage IRI par type de proie) pour les raies fleuries du Golfe de Gascogne (A ; n = 36; taux de vacuité = 0 %) et de la mer Celtique (B ; n = 98; taux de vacuité = 0 %)

La Figure 23 représente l'indice d'importance relative (% IRI) pour chacune des catégories de proies pour les deux zones d'étude du régime alimentaire de *Leucoraja naevus*. En fonction des zones, les poissons représentent entre 20 et 61 % de l'IRI et les crustacés entre 30 et 68 %. Les mollusques et les polychètes ne représentent que 3 à 11 % de l'IRI.



### c. Position relative des espèces au sein du réseau trophique - Rapports isotopiques du C et du N

Le Tableau 13 synthétise les résultats des analyses des isotopes stables du carbone et de l'azote pour les poissons échantillonnés lors de la campagne EVHOE 2014 dans le Nord Gascogne et en mer Celtique. Dans le golfe de Gascogne, les anchois et merlan bleu ont les  $\delta^{15}\text{N}$  les plus bas (10,6 – 10,8 ‰) et le tacaud commun le plus élevé (14,2 ‰). Les plus fortes valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  sont celles de la petite roussette, la raie fleurie et le tacaud commun (-17,4 – 17,1 ‰). Les niveaux trophiques s'échelonnent de 3,1 (anchois) à 4,1 (tacaud). En mer Celtique, le merlan bleu a le  $\delta^{15}\text{N}$  les plus bas (10,5 ‰) et le chinchard commun le plus élevé (13,1 ‰). Les plus fortes valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  sont celles de l'émissole tachetée (-16,7 ‰) et les plus faibles celles du chinchard (-19,7 ‰). Les niveaux trophiques s'échelonnent de 3,0 à 3,8.

Tableau 13. Echantillons du golfe de Gascogne et de mer Celtique, effectif, taille, masse, composition isotopique stable en carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) et azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ), rapport C/N et niveau trophique

Espèces	Nom commun	N	Longueur totale (mm)		Masse totale (g)		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	Niveau trophique
			moyenne $\pm$ sd	min-max (mm)	moyenne $\pm$ sd	min-max (mm)	moyenne $\pm$ sd	moyenne $\pm$ sd		
<b>Golfe de Gascogne</b>										
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois	6	126 $\pm$ 13	114 / 145	13.0 $\pm$ 6.0	7.8 / 22.7	-18.39 $\pm$ 0.64	10.65 $\pm$ 0.82	3.2	3.12 $\pm$ 0.24
<i>Leucoraja naevus</i>	Raie Fleurie	23	466 $\pm$ 116	260 / 615	NA	NA	-17.43 $\pm$ 0.39	11.43 $\pm$ 0.55	2.5	3.35 $\pm$ 0.16
<i>Merluccius merluccius</i>	Merlu	19	210 $\pm$ 54	102 / 300	145.0 $\pm$ 103.1	36.3 / 320.0	-18.96 $\pm$ 0.40	12.03 $\pm$ 0.72	3.1	3.53 $\pm$ 0.21
<i>Micromesistius poutassou</i>	Merlan Bleu	22	157 $\pm$ 8	150 / 180	22.1 $\pm$ 4.7	16.5 / 32.5	-19.44 $\pm$ 0.36	10.92 $\pm$ 0.77	3.2	3.2 $\pm$ 0.23
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardine	6	117 $\pm$ 15	99 / 143	13.3 $\pm$ 6.3	5.7 / 24.4	-18.24 $\pm$ 1.01	12 $\pm$ 1.19	3.2	3.51 $\pm$ 0.35
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau	6	279 $\pm$ 36	207 / 302	180.2 $\pm$ 62.9	61.9 / 252.6	-18.63 $\pm$ 0.37	12.19 $\pm$ 0.88	3.2	3.57 $\pm$ 0.26
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite Roussette	25	336 $\pm$ 32	295 / 410	118.4 $\pm$ 43.7	82.0 / 226.5	-17.75 $\pm$ 0.33	12.11 $\pm$ 0.41	2.7	3.56 $\pm$ 0.12
<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat	5	NA	NA	NA	NA	-19.2 $\pm$ 0.45	11.93 $\pm$ 0.76	3.1	3.5 $\pm$ 0.22
<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun	6	134 $\pm$ 54.04	85 / 215	27.1 $\pm$ 28.0	5 / 76.9	-19.19 $\pm$ 0.96	11.8 $\pm$ 1.64	3.2	3.46 $\pm$ 0.48
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun	6	233 $\pm$ 14	214 / 256	139.0 $\pm$ 32.6	98.2 / 195.2	-17.12 $\pm$ 0.73	14.24 $\pm$ 0.50	3.1	4.18 $\pm$ 0.15
<b>Mer celtique</b>										
<i>Eutrigla gurnardus</i>	Grondins Gris	6	202 $\pm$ 32	175 / 260	76.3 $\pm$ 41.4	47.1 / 154	-18.24 $\pm$ 0.17	11.63 $\pm$ 0.92	3.1	3.41 $\pm$ 0.27
<i>Leucoraja naevus</i>	Raie Fleurie	9	493 $\pm$ 132	260 / 660	NA	NA	-17.87 $\pm$ 0.15	12.01 $\pm$ 0.73	2.6	3.52 $\pm$ 0.22
<i>Merluccius merluccius</i>	Merlu	22	288 $\pm$ 36	213 / 360	197.6 $\pm$ 73.0	109.2 / 353.0	-19.01 $\pm$ 0.44	12.57 $\pm$ 0.59	3.1	3.68 $\pm$ 0.17
<i>Micromesistius poutassou</i>	Merlan Bleu	25	170 $\pm$ 8	160 / 180	28.6 $\pm$ 4.9	20.7 / 39.1	-19.52 $\pm$ 0.38	10.53 $\pm$ 0.65	3.2	3.08 $\pm$ 0.19
<i>Mustelus asterias</i>	Émissole Tachetée	9	78 $\pm$ 9	64 / 94	NA	NA	-16.75 $\pm$ 0.76	12.64 $\pm$ 0.54	2.6	3.7 $\pm$ 0.16
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau	6	269 $\pm$ 56	196 / 317	183.1 $\pm$ 99.9	61.3 / 280.5	-18.8 $\pm$ 0.71	11.34 $\pm$ 0.93	3.2	3.32 $\pm$ 0.27
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite Roussette	26	454 $\pm$ 88	325 / 600	376.9 $\pm$ 250.1	132.1 / 1013.7	-17.97 $\pm$ 0.47	12.17 $\pm$ 0.52	2.6	3.57 $\pm$ 0.15
<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun	6	152 $\pm$ 48	120 / 250	39.9 $\pm$ 46.1	17.6 / 134	-19.78 $\pm$ 0.27	13.17 $\pm$ 0.80	3.4	3.86 $\pm$ 0.24

Les niveaux trophiques ont été estimés à partir d'une ligne de base zooplanctonique (mesozooplankton 200-300  $\mu\text{m}$ , principalement herbivore, NT = 2). Les prélèvements de zooplancton et leur analyse ont été réalisés dans le cadre de la thèse d'Auréli Dessier (2015). La signature de la ligne de base ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{LB}}$ ) correspond à la moyenne des signatures de 3 espèces majoritaires du mesozooplankton, pondérée par leur biomasse. Le niveau trophique des espèces de poissons a été calculé avec la formule NT =  $[(\delta^{15}\text{N} - \delta^{15}\text{N}_{\text{LB}}) / 3,4] + 2$ .

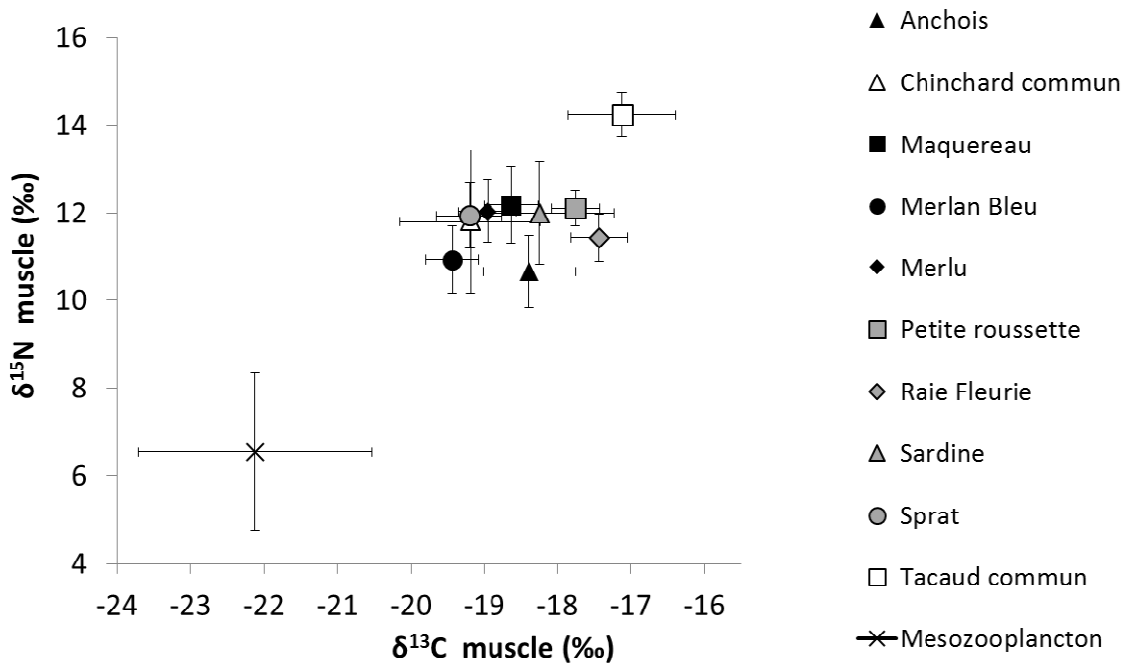


Figure 24. Compositions isotopiques moyennes ( $\pm$  écart type) des espèces échantillonnées dans le Golfe de Gascogne

La représentation des données de  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  sous forme de biplot permet de mieux appréhender la structure du réseau trophique. Dans le golfe de Gascogne le tacaud commun se détache nettement des autres espèces de poisson, ayant les plus fortes valeurs pour le  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$ . Les autres espèces ont des valeurs de  $\delta^{15}\text{N}$  relativement proches mais il existe toute de même une différenciation avec le  $\delta^{13}\text{C}$  entre certaines pélagiques (sprat, sardine) et benthodermersales (merlan bleu et petite roussette) (Figure 24), les autres espèces étant moins bien discriminées. Pour la mer Celtique (Figure 25), il existe de plus fortes différences de compositions isotopiques du carbone avec un gradient des espèces à affinité benthique (émissole tachetée, petite roussette, raie fleurie) aux espèces à affinité pélagique (chinchard, merlan bleu).

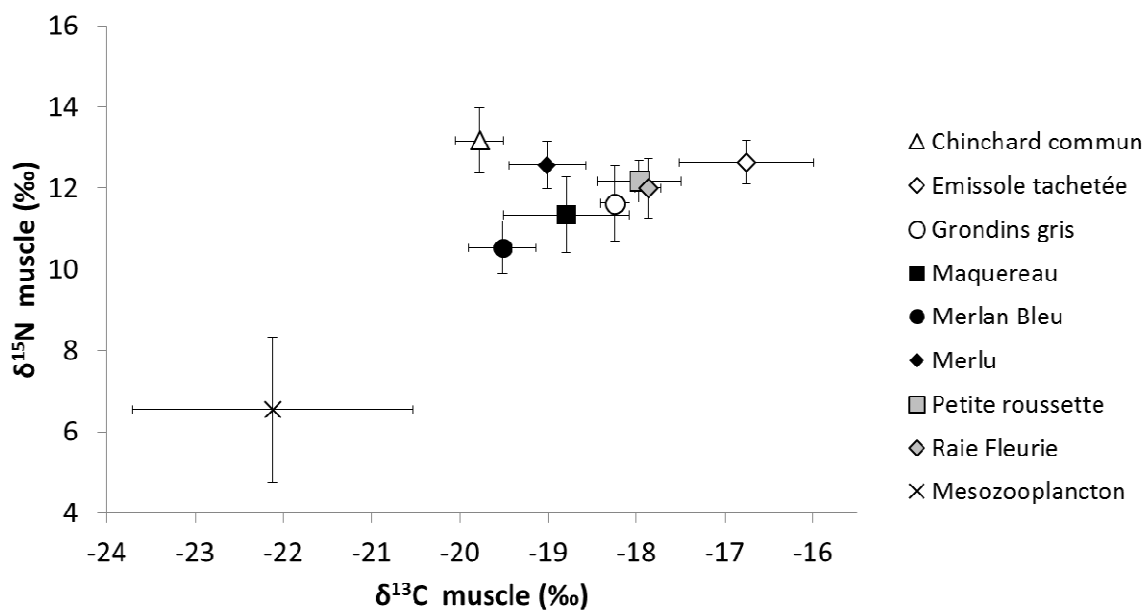


Figure 25. Compositions isotopiques moyennes ( $\pm$  écart type) des espèces échantillonnées en mer Celtique

Pour une zone donnée, certaines espèces montrent des évolutions significatives de leur composition isotopique en azote avec la taille comme par exemple le chinchard commun, le merlu, la raie fleurie (Figure 26 et Figure 27). Il est à noter qu'à l'exception de la raie fleurie, relativement peu d'individus ont été analysés par espèce et dans des tailles relativement proches, limitant la possibilité de déterminer une relation niveau trophique / taille.

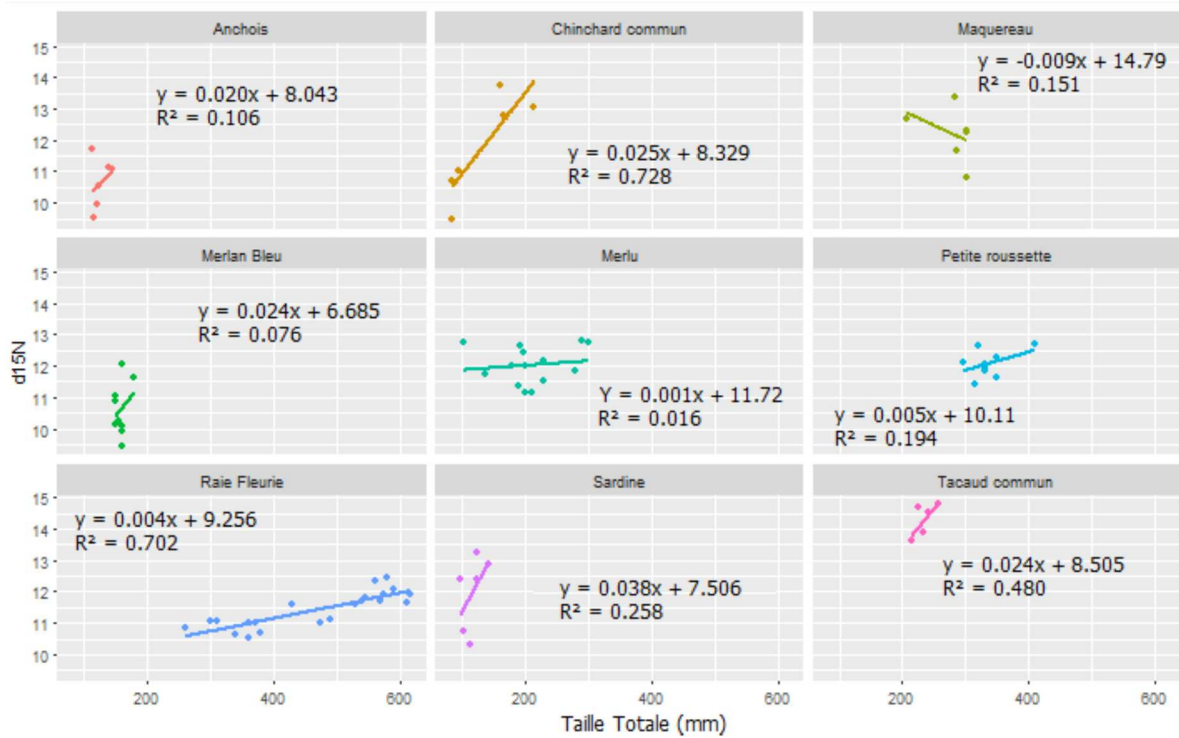


Figure 26. Evolution des  $\delta^{15}N$  avec la taille des poissons dans le golfe de Gascogne.

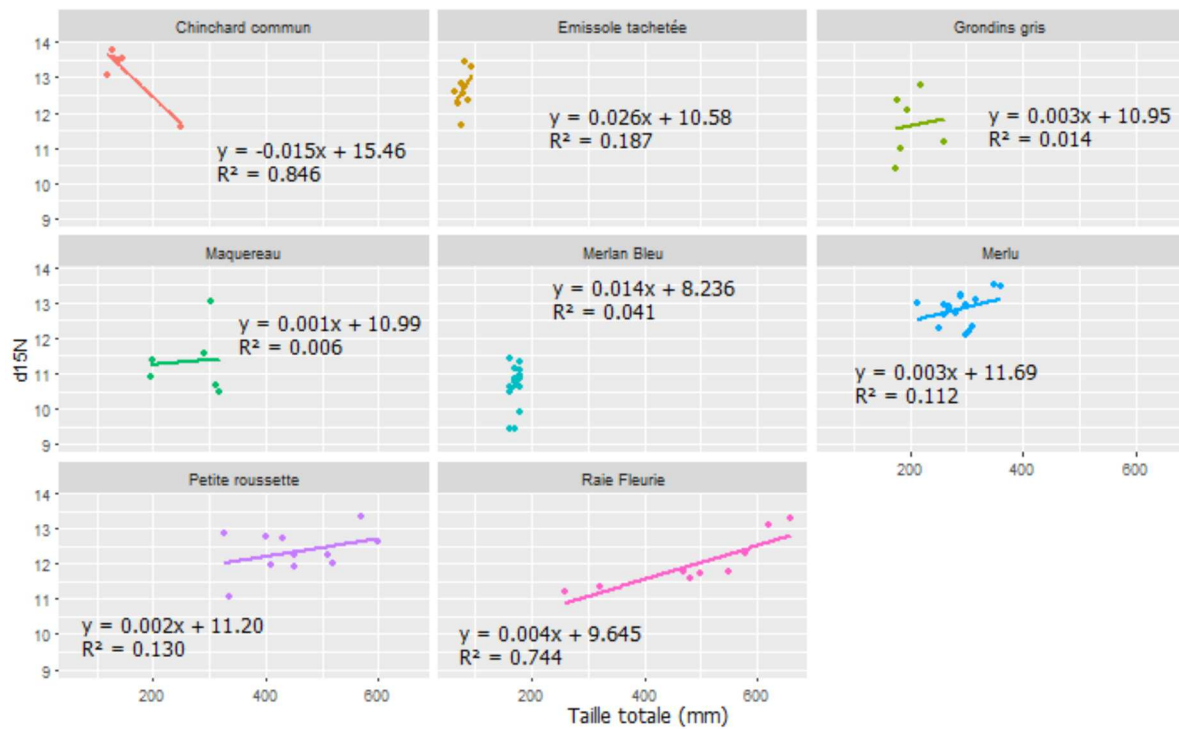


Figure 27. Evolution des  $\delta^{15}N$  avec la taille des poissons en mer Celtique.

#### d. Eléments traces métalliques

Les concentrations moyennes issues de l'analyse des contaminants traces métalliques sont détaillées dans le Tableau 14. Les analyses révèlent que la petite roussette est le poisson le plus contaminé pour les 4 éléments traces analysés et pour les 2 zones d'étude. Les Figure 28 Figure 29 montrent les évolutions des concentrations en éléments traces métalliques en fonction du niveau trophique, respectivement dans le golfe de Gascogne et en mer Celtique. Il est à noter que la gamme de niveau trophique est relativement faible pour certaines espèces (0,25) limitant les interprétations. Il est également à noter que la petite roussette semble montrer une évolution inverse des concentrations en éléments trace en fonction du niveau trophique, décroissante pour le Nord Gascogne et croissante en mer Celtique (Tableau 16).

Tableau 14. Echantillons du golfe de Gascogne et de la mer Celtique, noms, effectif, taille, masse, concentration en mercure, arsenic, plomb et cadmium

Espèces	Nom commun	LT (mm)	Masse tot. (g)	N	Hg ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	As ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
		moyenne $\pm$ sd	moyenne $\pm$ sd		Moyenne $\pm$ sd	Moyenne $\pm$ sd	Moyenne $\pm$ sd	Moyenne $\pm$ sd
<b>Golfe de Gascogne Nord</b>								
<i>S. scombrus</i>	Maquereau	232 $\pm$ 56	112.5 $\pm$ 83.0	12	0.023 $\pm$ 0.012	1.20 $\pm$ 0.29	0.004 $\pm$ 0.001	0.003 $\pm$ 0.003
<i>M. poutassou</i>	Merlan Bleu	174 $\pm$ 23	33.2 $\pm$ 17.3	14	0.017 $\pm$ 0.009	5.95 $\pm$ 1.43	0.013 $\pm$ 0.012	0.006 $\pm$ 0.006
<i>M. merluccius</i>	Merlu	236 $\pm$ 33	91.6 $\pm$ 41.3	12	0.023 $\pm$ 0.003	2.53 $\pm$ 0.37	0.006 $\pm$ 0.005	0.002 $\pm$ 0.008
<i>S. canicula</i>	Petite Roussette	305 $\pm$ 28	87.5 $\pm$ 22.0	8	<b>0.105 <math>\pm</math> 0.013</b>	<b>9.94 <math>\pm</math> 2.13</b>	<b>0.026 <math>\pm</math> 0.020</b>	<b>0.040 <math>\pm</math> 0.020</b>
<i>S. pilchardus</i>	Sardine	110 $\pm$ 15	11.4 $\pm$ 4.9	12	0.015 $\pm$ 0.004	2.26 $\pm$ 0.47	0.025 $\pm$ 0.025	0.004 $\pm$ 0.003
<b>Mer celtique</b>								
<i>S. scombrus</i>	Maquereau	249 $\pm$ 60	151.0 $\pm$ 103.2	8	0.027 $\pm$ 0.016	1.77 $\pm$ 0.49	0.006 $\pm$ 0.003	0.003 $\pm$ 0.001
<i>M. poutassou</i>	Merlan Bleu	166 $\pm$ 8	27.7 $\pm$ 4.0	5	0.012 $\pm$ 0.002	4.0 $\pm$ 0.54	0.003 $\pm$ 0.000	0.006 $\pm$ 0.002
<i>M. merluccius</i>	Merlu	289 $\pm$ 35	190.8 $\pm$ 80.2	7	0.026 $\pm$ 0.008	3.27 $\pm$ 0.78	NA	NA
<i>S. canicula</i>	Petite Roussette	380 $\pm$ 47	201.9 $\pm$ 49.4	5	<b>0.138 <math>\pm</math> 0.045</b>	<b>12.60 <math>\pm</math> 1.89</b>	<b>0.016 <math>\pm</math> 0.012</b>	<b>0.010 <math>\pm</math> 0.006</b>

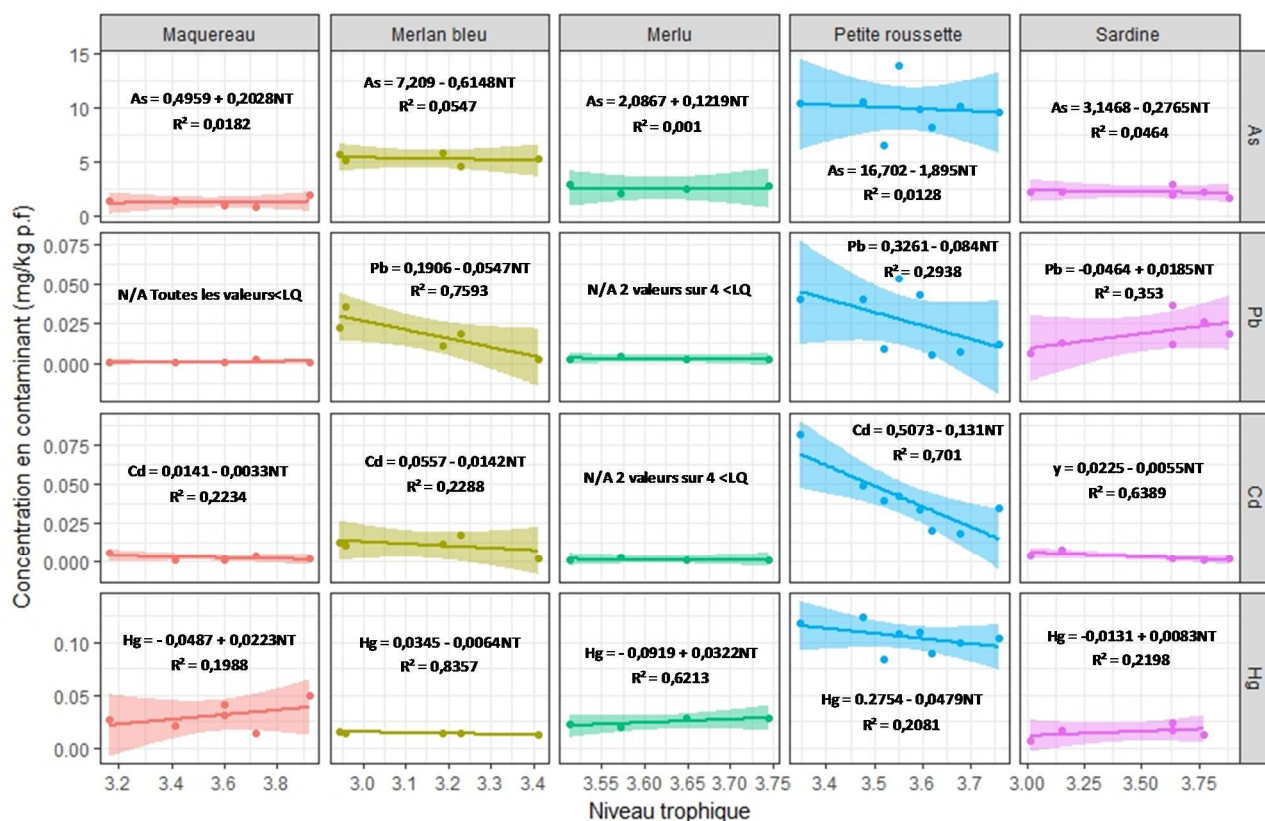


Figure 28. Concentrations en éléments traces métalliques en fonction du niveau trophique chez les espèces pêchées en Nord Gascogne : maquereau, merlan bleu, merlu, petite roussette et sardine. Les droites représentent les droites de régression. La surface autour des droites représente l'intervalle de confiance à 95 %.

Tableau 15. Corrélations entre les concentrations en éléments traces métalliques et le niveau trophique chez la petite roussette dans le golfe de Gascogne (Test de Pearson).

Petite roussette						
	NT	LT	As	Cd	Pb	Hg
NT		R = -0.125 p-value = 0.768	R = -0.113 p-value = 0.789	<b>R = -0.837</b> <b>p-value &lt; 0.01</b>	R = -0.542 p-value = 0.165	R = -0.456 p-value = 0.256
LT	R = -0.125 p-value = 0.768		R = 0.410 p-value = 0.314	R = 0.164 p-value = 0.697	R = 0.563 p-value = 0.146	<b>R = 0.742</b> <b>p-value = 0.035</b>
As	R = -0.113 p-value = 0.789	R = 0.410 p-value = 0.314		R = 0.236 p-value = 0.574	<b>R = 0.756</b> <b>p-value = 0.030</b>	R = 0.648 p-value = 0.082
Cd	<b>R = -0.837</b> <b>p-value &lt; 0.01</b>	R = 0.164 p-value = 0.697	R = 0.236 p-value = 0.574		R = 0.578 p-value = 0.133	R = 0.622 p-value = 0.099
Pb	R = -0.542 p-value = 0.165	R = 0.563 p-value = 0.146	<b>R = 0.756</b> <b>p-value = 0.030</b>	R = 0.578 p-value = 0.133		R = 0.768 p-value = 0.056
Hg	R = -0.456 p-value = 0.256	<b>R = 0.742</b> <b>p-value = 0.035</b>	R = 0.648 p-value = 0.082	R = 0.622 p-value = 0.099	R = 0.768 p-value = 0.056	

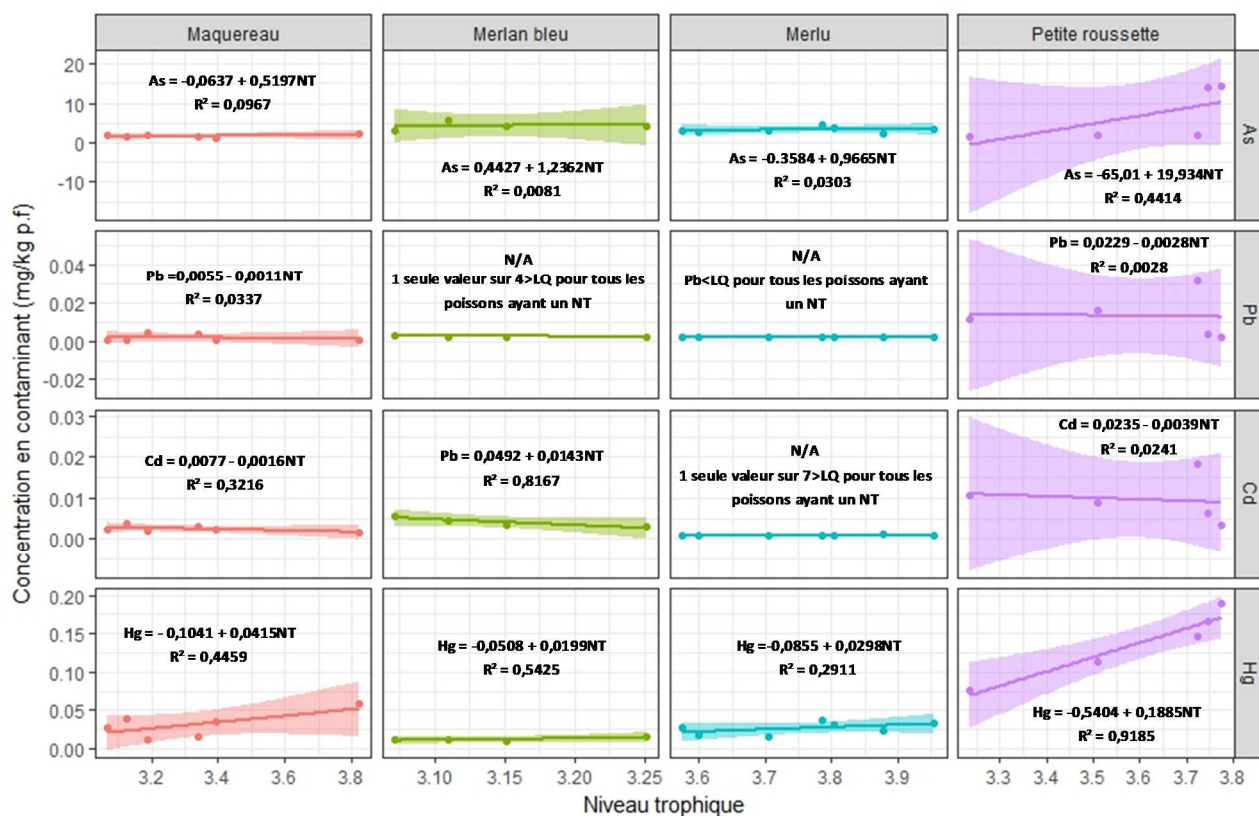


Figure 29. Concentrations en éléments traces métalliques en fonction du niveau trophique chez les espèces pêchées en mer Celtique : maquereau, merlan bleu, merlu et petite roussette. Les droites représentent les droites de régression. La surface autour des droites représente l'intervalle de confiance à 95 %.

Tableau 16. Corrélations entre les concentrations en éléments traces métalliques et le niveau trophique chez la petite roussette en mer Celtique (Test de Pearson).

Petite roussette					
	NT	As	Cd	Pb	Hg
NT		R = 0.664 p-value = 0.221	R = -0.155 p-value = 0.803	R = -0.053 p-value = 0.933	<b>R = 0.958</b> <b>p-value = 0.010</b>
As	R = 0.664 p-value = 0.221		R = -0.758 p-value = 0.138	R = -0.765 p-value = 0.132	R = 0.819 p-value = 0.090
Cd	R = -0.155 p-value = 0.803	R = -0.758 p-value = 0.138		<b>R = 0.957</b> <b>p-value = 0.011</b>	R = -0.375 p-value = 0.534
Pb	R = -0.053 p-value = 0.933	R = -0.765 p-value = 0.132	<b>R = 0.957</b> <b>p-value = 0.011</b>		R = -0.288 p-value = 0.638
Hg	<b>R = 0.958</b> <b>p-value = 0.010</b>	R = 0.819 p-value = 0.090	R = -0.375 p-value = 0.534	R = -0.288 p-value = 0.638	

## e. Polluants organiques persistants (POP)

Les concentrations moyennes issues de l'analyse des contaminants organiques persistants sont détaillées dans le Tableau 17. Les analyses révèlent que la sardine et le maquereau sont les poissons le plus contaminés en polluants organiques. Cette différence peut s'expliquer par le taux de lipides élevé chez ces espèces. La faible gamme de niveau trophique et le faible nombre d'individus pour chacune des espèces ne permettent pas de déterminer des tendances d'évolution des concentrations en polluants organiques persistants.

Tableau 17. Echantillons du golfe de Gascogne et de la mer Celtique, noms, effectif, taille, masse, concentration PCB 153, ICES, PCDD et PCDF

Espèce	Nom commun	LT (mm) moyenne ± sd	Masse tot. (g) moyenne ± sd	N	PCB 153 (ng/g) Moyenne ± sd	Σ7 ICES (ng/g) Moyenne ± sd	Σ PCDD (ng/g) Moyenne ± sd	Σ PCDF (ng/g) Moyenne ± sd
<b>Golfe de Gascogne Nord</b>								
<i>M. merluccius</i>	Merlu	256 ± 30	125.8 ± 49.6	13	0.47 ± 0.29	1.085 ± 0.636	0.0944 ± 0.0391	0.1266 ± 0.0476
<i>M. poutassou</i>	Merlan Bleu	201 ± 43	56.9 ± 35.8	13	0.25 ± 0.14	0.610 ± 0.299	0.2257 ± 0.2287	0.2444 ± 0.1935
<i>S. pilchardus</i>	Sardine	100 ± 13	11.4 ± 4.9	12	<b>2.91 ± 1.41</b>	<b>6.089 ± 2.912</b>	<b>0.6973 ± 0.3741</b>	<b>1.1173 ± 0.3558</b>
<i>S. scombrus</i>	Maquereau	218 ± 52	112.5 ± 83.0	12	<b>1.97 ± 1.52</b>	<b>4.754 ± 3.723</b>	<b>0.3598 ± 0.2223</b>	<b>0.9772 ± 0.8174</b>
<i>S. canicula</i>	Petite Roussette	352 ± 30	140.8 ± 45.9	7	0.30 ± 0.19	0.740 ± 0.477	0.3938 ± 0.0747	0.4988 ± 0.1921
<b>Mer celtique</b>								
<i>M. merluccius</i>	Merlu	294 ± 18	179.0 ± 31.0	6	1.16 ± 1.70	2.661 ± 3.824	0.1637 ± 0.0919	0.2199 ± 0.1068
<i>M. poutassou</i>	Merlan Bleu	176 ± 5	32.4 ± 4.1	9	0.11 ± 0.05	0.303 ± 0.118	0.1820 ± 0.0506	0.2213 ± 0.0639
<i>S. scombrus</i>	Maquereau	234 ± 56	151.0 ± 103.2	8	<b>5.36 ± 10.23</b>	<b>12.982 ± 23.432</b>	<b>0.3202 ± 0.1695</b>	<b>1.6857 ± 1.8755</b>
<i>S. canicula</i>	Petite Roussette	516 ± 61	522.8 ± 258.9	6	0.22 ± 0.09	0.559 ± 0.204	0.1930 ± 0.0393	0.2151 ± 0.0318



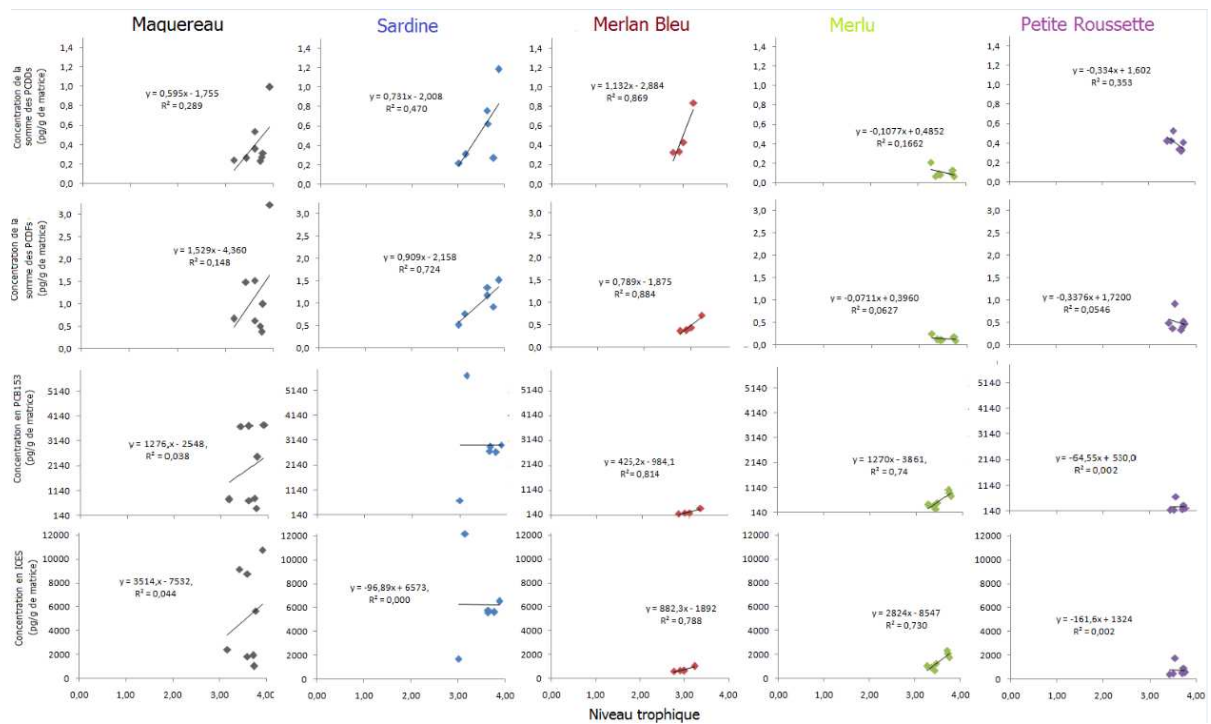


Figure 30. Concentrations en polluants organiques persistants en fonction du niveau trophique chez les espèces pêchées en mer Nord Gascogne : maquereau, merlan bleu, merlu, petite roussette et sardine. Les droites représentent les droites de régression. La surface autour des droites représente l'intervalle de confiance à 95 %. Les concentrations sont exprimées en pg/g p.f pour les PCDDs, les PCDFs, et la somme des 7 PCB, et en ng/g p.l pour le PCB153.

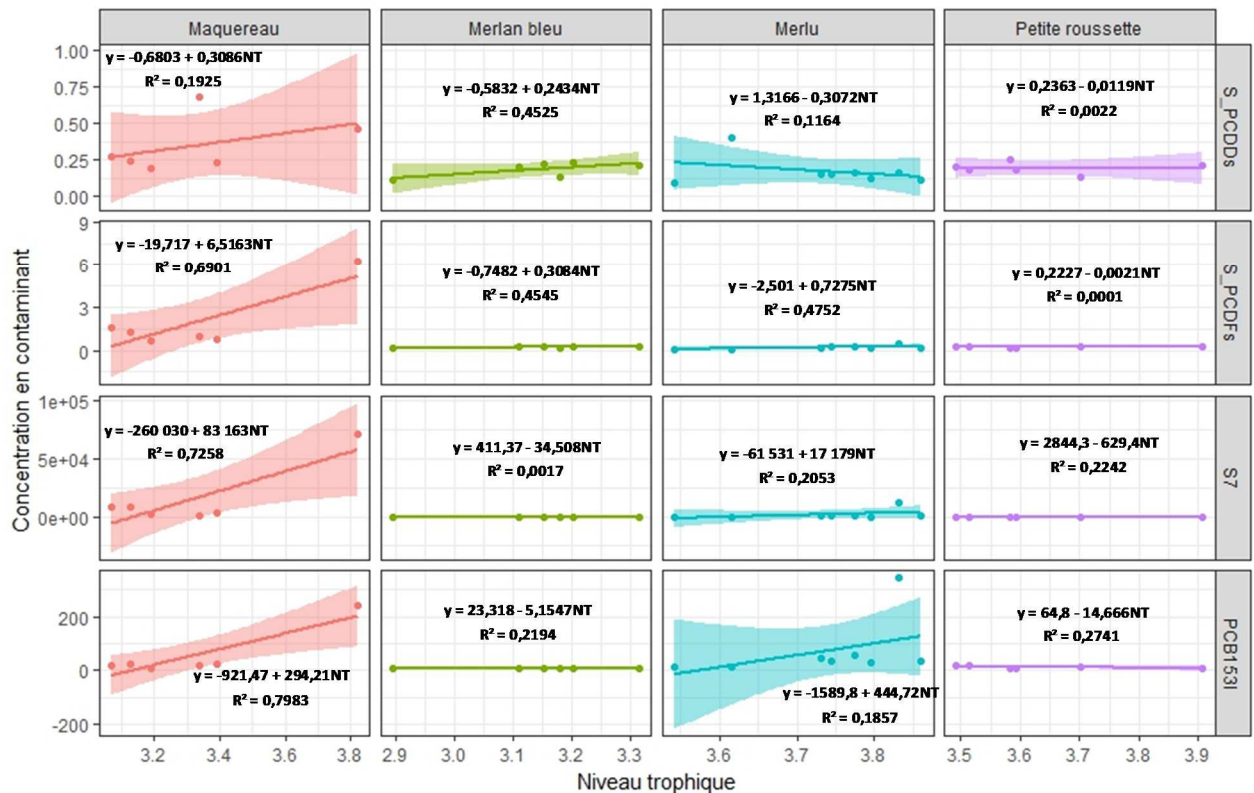


Figure 31. Concentrations en polluants organiques persistants en fonction du niveau trophique chez les espèces pêchées en mer Celtique : maquereau, merlan bleu, merlu et petite roussette. Les droites représentent les droites de régression. La surface autour des droites représente l'intervalle de confiance à 95 %. Les concentrations sont exprimées en pg/g p.f pour les PCDDs, les PCDFs, et la somme des 7 PCB, et en ng/g p.l pour le PCB153.

## f. Densités énergétiques des poissons fourrages

Spitz J. & Dabkowski H.

Observatoire PELAGIS, UMS 3462, Université de La Rochelle / CNRS, 5 allées de l'océan 17000 La Rochelle, France. [jspitz@univ-lr.fr](mailto:jspitz@univ-lr.fr)

### Méthodologie

Cf. le chapitre méthodologique détaillé dans le chapitre dédié à la Manche.

### Résultats

Dans le golfe de Gascogne, 6 espèces échantillonnées durant l'automne 2014 sur EVHOE ont fait l'objet d'une mesure de leur densité énergétique, soit un total de 58 individus analysés (Tableau 18 et Figure 32).

Tableau 18. Espèces et nombre d'échantillons pour la campagne EVHOE 2014 pour les analyses de calorimétrie.

Nom latin	Espèces		Nombre	Longueur totale (cm)	
	Nom latin	Nom commun		moyenne $\pm$ sd	Min-Max
<i>Engraulis encrasicolus</i>		Anchois	12	10.9 $\pm$ 1.5	[8.7-12.8]
<i>Sardina pilchardus</i>		Sardine	12	9.7 $\pm$ 1	[7.7-11.5]
<i>Sprattus sprattus</i>		Sprat	4	11.1 $\pm$ 0.7	[10.2-11.8]
<i>Trachurus trachurus</i>		Chincharde commun	12	10.8 $\pm$ 2.4	[8-14.6]
<i>Scomber scombrus</i>		Maquereau	4	15.8 $\pm$ 0.8	[15.1-16.9]
<i>Trisopterus minutus</i>		Petit tacaud	14	16.3 $\pm$ 1.7	[13.8-18.9]

Les individus analysés sur EVHOE 2014 présentent une gamme de valeur de densité énergétique comprise entre 4,1 et 8,0 kJ.g<sup>-1</sup>. Le maquereau est l'espèce présentant la plus faible densité énergétique, 4,6 kJ.g<sup>-1</sup> en moyenne, inférieure même au petit tacaud. Bien que limitées à quatre individus, les valeurs obtenues pour le maquereau sont bien inférieures aux densités énergétiques mesurées antérieurement pour cette espèce (Spitz & Jouma'a, 2013; Spitz et al., 2010). Les autres espèces présentent des densités énergétiques proches avec des valeurs moyennes comprises entre 5,5 et 6,0 kJ.g<sup>-1</sup>. Les valeurs observées en automne 2014 sont plus faibles que celle habituellement relevées à cette saison pour le golfe de Gascogne (Spitz & Jouma'a, 2013).

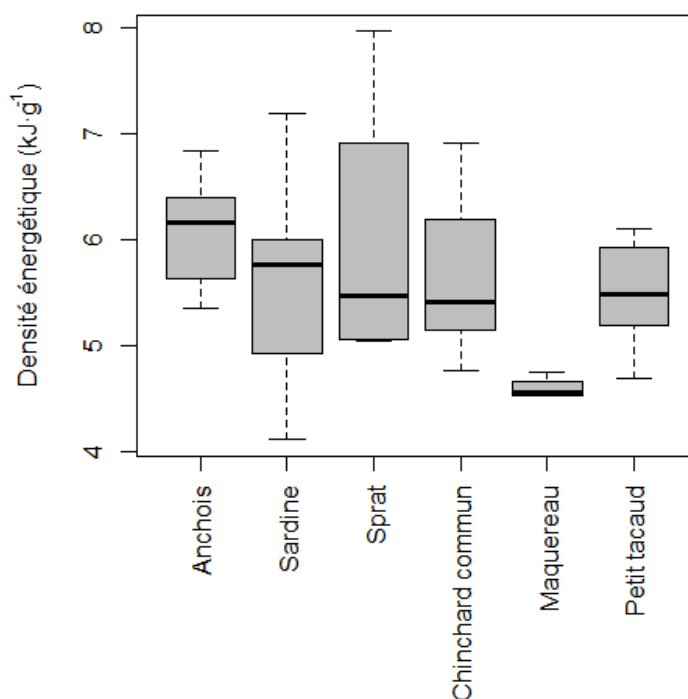


Figure 32. Boxplots des densités énergétiques des espèces de poissons échantillonnées sur EVHOE 2014.

Dans le golfe de Gascogne, 8 espèces échantillonnées durant le printemps 2015 sur PELGAS ont fait l'objet d'une mesure de leur densité énergétique, soit un total de 213 individus analysés (Tableau 19).

Tableau 19. Espèces et nombre d'échantillons pour la campagne PELGAS 2015 pour les analyses de calorimétrie.

Nom latin	Espèces		Nombre	Longueur totale (cm)	
	Nom commun			moyenne $\pm$ sd	Min-Max
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois		37	10.7 $\pm$ 2	[7.5-14.8]
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardine		24	16.3 $\pm$ 1.4	[14.2-18.9]
<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat		34	9 $\pm$ 0.9	[7.7-11.3]
<i>Trachurus trachurus</i>	Chincharde commun		28	10.8 $\pm$ 2.8	[7.9-17.4]
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau		35	20.9 $\pm$ 1	[18.4-22.3]
<i>Ammodytidae</i>	Lançon		8	22.9 $\pm$ 2.3	[19.2-24.9]
<i>Micromesistius poutassou</i>	Merlan bleu		16	19 $\pm$ 1.5	[16.7-20.8]
<i>Merluccius merluccius</i>	Merlu		31	20.6 $\pm$ 1.7	[15.5-22.8]

Les individus analysés sur PELGAS 2015 présentent une gamme de valeur de densité énergétique comprise entre 3,4 et 11,3 kJ.g<sup>-1</sup> (Figure 33). Le merlu est l'espèce présentant la plus faible densité énergétique, 4,1 kJ.g<sup>-1</sup> en moyenne. Cette espèce présente classiquement de faibles densités énergétiques (Spitz & Jouma'a, 2013). A l'opposé de la gamme, le sprat est l'espèce présentant la plus forte densité énergétique, 8,1 kJ.g<sup>-1</sup> en moyenne. Les autres espèces présentent des densités énergétiques proches avec des valeurs moyennes comprises entre 5,4 et 6,0 kJ.g<sup>-1</sup>.

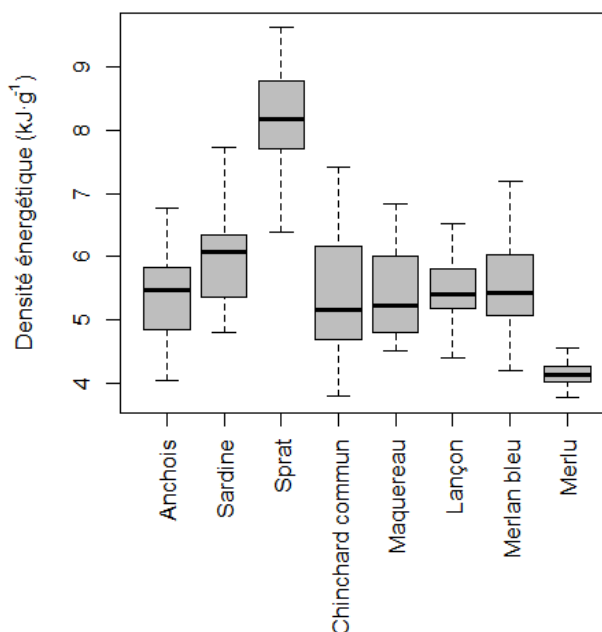


Figure 33. Boxplots des densités énergétiques des espèces de poissons échantillonnées sur PELGAS 2015.

### 3. Résultats obtenus sur la façade Méditerranéenne (MEDITS et PELMED 2015)

*Institut Méditerranéen d'Océanographie (M.I.O.)*

*Responsables : Daniela Banaru & Mireille Harmelin-Vivien*

*[daniela.banaru@mio.osupytheas.fr](mailto:daniela.banaru@mio.osupytheas.fr) & [mireille.harmelin@mio.osupytheas.fr](mailto:mireille.harmelin@mio.osupytheas.fr)*

*Participation aux illustrations graphiques sous R : Nathalie Wessel (Ifremer Nantes)*

*Stagiaires : C. Ortu, A. Esposito, M. Roscian, N. Bassols et L. Merquiol*

#### Résumé des principaux résultats

- Les espèces prédatrices montrent des régimes alimentaires différents : certaines espèces se nourrissent majoritairement d'espèces pélagiques (p. ex. le tacaud), tandis que d'autres ont des régimes typiquement benthiques (p. ex. la roussette). L'alimentation des espèces étudiées confirme les observations faites lors d'études précédentes, avec certaines variations spécifiques qu'il sera intéressant d'exploiter dans de futurs travaux.
- Les analyses isotopiques montrent par ailleurs qu'il est indispensable de considérer à la fois des sources pélagiques (mesozooplancton) et benthiques (bivalves) pour étudier les réseaux trophiques en Méditerranée et calculer des niveaux trophiques.
- Les premiers résultats obtenus sur les densités énergétiques des petits pélagiques montrent **des valeurs relativement plus faibles en Méditerranée** comparativement à la Manche et au golfe de Gascogne. Un suivi à plus long terme de la densité énergétique pourrait contribuer à mieux comprendre la dynamique de certains stocks de poissons méditerranéens, notamment les petits pélagiques (p. ex. anchois, sardine).
- Les résultats obtenus sur les concentrations en ETMs et POPs dans le merlu et le maquereau du golfe du Lion montrent qu'il existe des différences entre espèces, probablement liées à leur alimentation et leur physiologie. Par ailleurs, les analyses réalisées indiquent que pour comparer correctement les espèces entre elles, il faut tenir compte des différences de longueur et de teneur en lipides qui peuvent masquer les différences interspécifiques. Pour des comparaisons entre sites ou entre régions, il conviendra de bien prendre en compte ces différences entre espèces et entre populations échantillonnées.

## a. Bilan de l'échantillonnage et des analyses

Ce rapport concerne les résultats des dissections et des analyses des contenus stomacaux réalisés par le M.I.O. sur les échantillons prélevés dans le **golfe du Lion** lors des campagnes MEDITS et PELMED 2015. Au total 708 échantillons ont été disséqués en 2016. La liste des espèces concernées ainsi que le nombre d'individus disséqués et d'analyses de contenus stomacaux prévues et effectués sont indiqués dans le Tableau 20.

Tableau 20. Espèces et nombres d'échantillons prévus pour l'échantillonnage lors des campagnes MEDITS et PELMED 2015, ainsi que nombres de dissections et d'analyses de contenus stomacaux réalisées en 2016 et qui restent à effectuer en 2017. No. = nombre ; CS = contenus stomacaux ; Obs. = observations sur le nombre d'échantillons prélevés ; ~ = à titre indicatif, données fournies par l'IFREMER ; + = plus d'échantillons que prévu ; - = moins d'échantillons que prévu ; ? = nombre total d'échantillons restant à analyser.

Campagne - année	No. individus		No. analyses CS		No. dissections		Obs.
	prélevés	prévus	effectués	à effectuer	effectués	à effectuer	
Espèces (nom commun)	(~)		en 2016	en 2017	en 2016	en 2017	
<b>MEDITS 2015 (Zone GLO)</b>							
Encornet rouge	26	26	26	0	26	0	Ok
Merlan bleu	0	0	0	0	0	0	0
Merlu (classe 1 : 12-24 cm)	104	100	114	0	114	0	+
Merlu (classe 2 : 25-35 cm)	23	23	18	0	18	0	-
Merlu (classe 3 : >36 cm)	2	2	3	0	3	0	+
Petite roussette	112	100	36	64	48	52	?
Bivalves et ascidies	20	0	0	0	28	0	+
<b>MEDITS 2015 (Zone GLE) GL2</b>							
Encornet rouge	9	9	14	0	14	0	+
Merlan bleu	34	34	34	0	34	0	Ok
Merlu (classe 1 : 12-24 cm)	18	18	39	0	39	0	+
Merlu (classe 2 : 25-35 cm)	18	18	28	0	28	0	+
Merlu (classe 3 : >36 cm)	1	0	1	0	1	0	0
Petite roussette	22	22	0	22	31	0	+
Bivalves et ascidies	13	0	0	0	17	0	+
<b>PELMED 2015 (Zone GLO) GL1</b>							
Anchois	182	100	0	100	9	91	?
Maquereau	64	64	0	64	9	55	?
Chinchard	78	78	0	75	75	0	-
Sardine <50 m PRF	70	70	0	70	33	37	?
Sardine >50 m PRF	80	80	0	80	20	60	?
<b>PELMED 2015 (Zone GLE) GL2</b>							
Anchois	135	100	0	100	9	91	?
Maquereau	13	13	26	0	26	0	+
Chinchard	0	0	0	0	0	0	0
Sardine <50 m PRF	80	80	0	80	81	0	+
Sardine >50 m PRF	93	93	0	93	45	48	?
	Total	1021	339	748	708	434	+

Les dissections ont été réalisées en suivant les protocoles indiqués pour les contaminants et les isotopes stables fournies par l'ANSES, le LABERCA et le LIENSs.

Au mois d'avril, un nombre total de 82 échantillons de maquereau et de merlu ont été envoyés à ANSES et LABERCA pour les analyses des contaminants métalliques (41) et organiques (41). Par la suite, au mois d'octobre, un nombre total de 256 d'échantillons détaillés dans le Tableau 21 ont été envoyés au LIENSs pour les analyses des isotopes stables  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$ .

Tableau 21. Espèces et nombres d'échantillons disséqués et envoyés à LIENSs, ANSES et LABERCA pour les analyses des isotopes stables (IS), des contaminants métalliques (CM) et organiques (CO).

<b>Nom latin</b>		<b>Nom commun</b>	<b>Taille/ Profondeur</b>	<b>GLO (ouest)</b>	<b>GLE (est)</b>	<b>Analyses</b>
<i>Ascidia</i>	<i>mentula</i>	Ascidie rose		21	12	IS
<i>Cardium</i>	<i>echinatum</i>	Bucarde rouge		6	4	IS
<i>Engraulis</i>	<i>encrasicolus</i>	Anchois commun		9	9	IS
<i>Illex</i>	<i>coindetii</i>	Encornet rouge		9	9	IS
<i>Merluccius</i>	<i>merluccius</i>	Merlu commun	T1	9	9	IS
<i>Merluccius</i>	<i>merluccius</i>	Merlu commun	T2	9	9	IS
<i>Micromesistius</i>	<i>poutassou</i>	Merlan bleu		0	27	IS
<i>Mimaclamysis</i>	<i>varia</i>	Pétoncle noir		0	1	IS
<i>Pecten</i>	<i>jacobaeus</i>	Coq. St Jacques		1	0	IS
<i>Sardina</i>	<i>pilchardus</i>	Sardine commune	<50m	9	9	IS
<i>Sardina</i>	<i>pilchardus</i>	Sardine commune	>50m	9	9	IS
<i>Scomber</i>	<i>scombrus</i>	Maquereau		9	9	IS
<i>Scylliorhinus</i>	<i>canicula</i>	Petite roussette		27	22	IS
<i>Trachurus</i>	<i>trachurus</i>	Chinchard		9	0	IS
<b>Total</b>				<b>127</b>	<b>129</b>	<b>256</b>
<i>Merluccius</i>	<i>merluccius</i>	Merlu		19	5	CM
<i>Scomber</i>	<i>scombrus</i>	Maquereau		12	5	CM
<b>Total</b>				<b>31</b>	<b>10</b>	<b>41</b>
<i>Merluccius</i>	<i>merluccius</i>	Merlu		19	5	CO
<i>Scomber</i>	<i>scombrus</i>	Maquereau		12	5	CO
<b>Total</b>				<b>31</b>	<b>10</b>	<b>41</b>

## b. Mesures biométriques

Lors des dissections, la longueur totale et la masse totale pour toutes ces espèces ont été mesurées et sont indiquées dans le Tableau 22.

Tableau 22. Mesures biométriques des espèces analysées. *N* = nombre d'individus ; *Moy* = moyenne ; *SD* = écart-type ; *Min* = minimum ; *Max* = maximum.

Espèces		N	Longueur totale (LT) en cm				Masse totale (MT) en g			
nom latin	nom commun		Moy	SD	Min	Max	Moy	SD	Min	Max
<i>Ascidia mentula</i>	Ascidie rose	33	3.2	0.7	2.3	5.2				
<i>Cardium echinatum</i>	Bucarde rouge	7	4.5	0.4	4.0	5.4				
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois commun	18	11.0	1.3	8.0	13.6	9.2	3.1	4.6	15.7
<i>Illex coindetii</i>	Encornet rouge	40	35.7	4.9	24.7	47.2	111.3	46.3	34.3	255.7
<i>Merluccius merluccius</i>	Merlu commun	213	20.4	6.2	11.9	41.5	81.2	89.5	9.1	844.3
<i>Micromestius poutassou</i>	Merlan bleu	34	25.1	1.3	22.0	27.1	106.4	15.0	72.2	134.8
<i>Mimaclamysis varia</i>	Pétoncle noir	1	10.2		102.0	10.2				
<i>Pecten jacobaeus</i>	Coq. St Jacques	1	10.6		10.6	10.6				
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardine commune	179	11.8	1.0	8.8	14.7	12.2	5.4	5.5	70.9
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau commun	35	17.9	2.8	12.0	23.4	44.5	22.7	9.0	116.8
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	79	36.3	8.7	13.7	52.6	160.7	97.7	6.6	405.4
<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun	75	10.6	1.2	8.0	12.7	9.2	3.0	3.7	13.8

## c. Analyses des contenus stomacaux

Un nombre total de 339 contenus stomacaux, concernant principalement les échantillons de la campagne MEDITS, ont été analysés en 2016 (Tableau 21). Les espèces concernées ont été : le merlan bleu, le merlu, le maquereau, la petite roussette et l'encornet rouge (Figure 34 a, b, c, d, e). L'indicateur choisi pour la représentation des résultats est l'IRI (indice d'abondance relative) qui permet de prendre en compte l'occurrence, l'abondance et la biomasse des proies.

Globalement, au niveau du golfe du Lion, les résultats ont montré que ces espèces, tout en étant prédateurs, ont une alimentation différente. Le maquereau commun a consommé des téléostéens, principalement de l'anchois *E. encrasicolus*. Si le maquereau commun se nourrit essentiellement de proies pélagiques, les autres consomment également des proies benthiques et tout particulièrement la petite roussette dont l'alimentation est dominée par des crustacés benthiques (crabes et crevettes). L'alimentation du merlan bleu est partagée entre crustacés et majoritairement le krill *Meganyciphanes norvegica* et les téléostéens, notamment *Maurolicus muelleri*. L'alimentation de l'encornet rouge est dominée par des téléostéens, suivis par les décapodes et autres crustacés. Le merlu consomme principalement des téléostéens, notamment de l'anchois, ainsi que des crevettes.



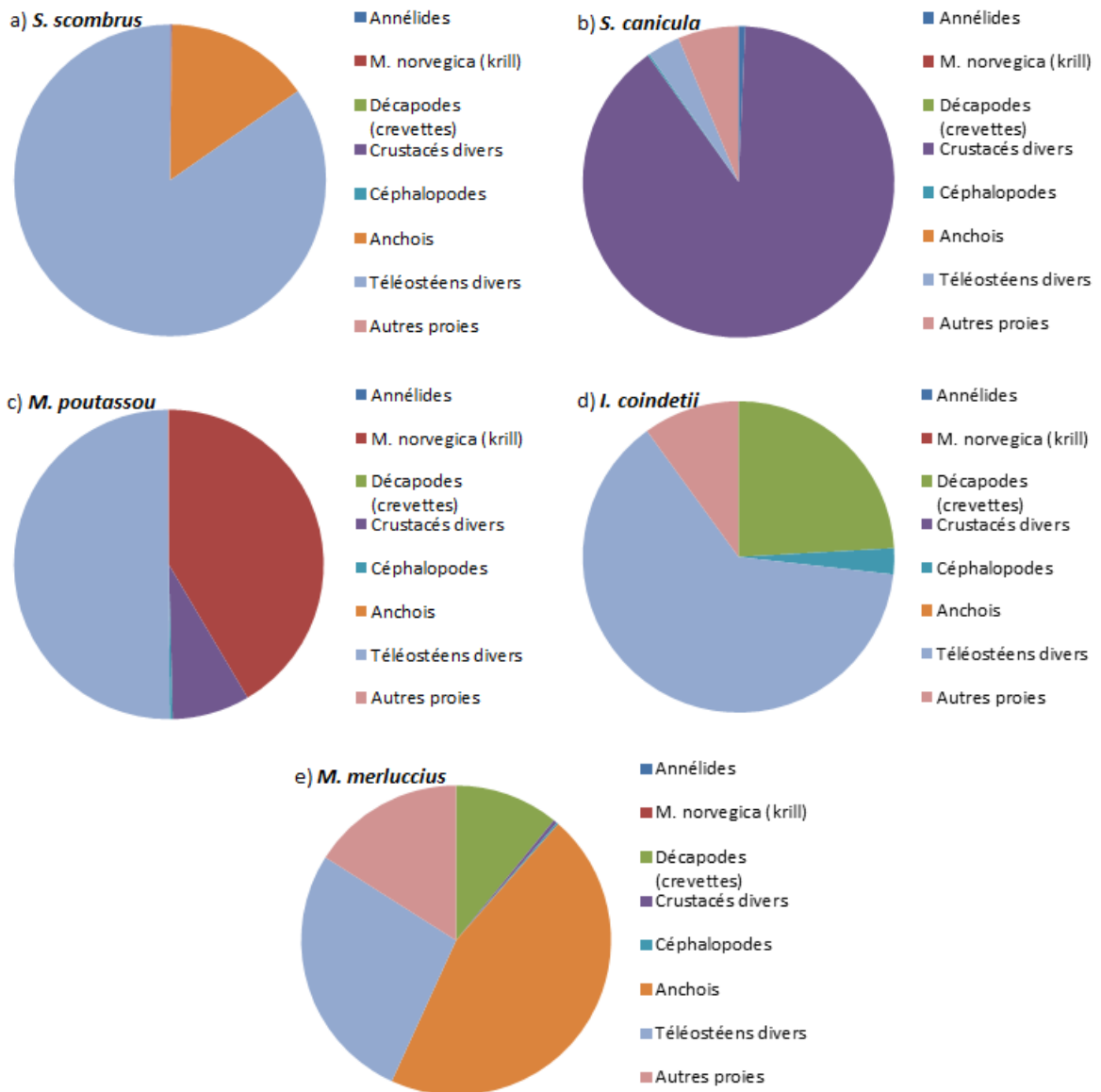


Figure 34. Représentation graphique de l'indice d'importance relative (IRI), exprimé en %, ou %IRI = % Occurrence x (%Nombre + %Masse) des principales catégories de proies du maquereau commun (a), de la petite roussette (b), du merlan bleu (c), de l'encornet rouge (d) et du merlu commun (e).

#### d. Ratios des isotopes stables $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$

Un nombre total de 251 échantillons ont obtenu des résultats validés (Tableau 23). Les analyses des ratios isotopiques  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  ont montré les plus faibles valeurs en  $\delta^{13}\text{C}$  pour la l'ascidie rose (moyenne =  $-21,3\text{‰}$  ; écart-type =  $0,4\text{‰}$ ) et les plus élevées pour la petite roussette (moyenne =  $-18,2\text{‰}$  ; écart-type =  $0,4\text{‰}$ ). Concernant le  $\delta^{15}\text{N}$ , les plus faibles valeurs ont été trouvées pour la coquille St. Jacques (moyenne =  $3,8\text{‰}$ ) et les plus élevées chez le chinchard commun (moyenne =  $9,8\text{‰}$ ) (Figure 35). Les rapports C/N varient entre 2,6 chez la petite roussette et 9,6 chez l'ascidie rose.

Tableau 23. Longueur totale, ratios isotopiques et rapport C/N des espèces analysés. N = nombre d'individus ; Moy = moyenne ; SD = écart-type ; Min = minimum ; Max = maximum.

Espèces	N	LT				$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$		$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$		C/N	
		Min	Max	Moy	SD	Moy	SD	Moy	SD	Moy	SD
Anchois (EE)	18	8.0	13.6	11.0	1.3	-19.3	0.3	7.8	0.7	3.2	0.0
Ascidie rose (AR)	33	2.3	5.2	3.2	0.7	-21.3	0.4	6.1	0.5	9.6	1.1
Bucarde rouge (Biv.BR)	7	4.0	5.4	4.5	0.4	-19.1	0.3	4.2	0.4	3.5	0.2
Chinchard (TT)	9	10.3	12.7	11.5	0.9	-19.3	0.2	9.8	0.4	3.2	0.0
Coq. St. Jacques (Biv.SJ)	1	10.6	10.6	10.6		-18.9		3.8		3.5	
Encornet rouge (IC)	16	24.7	47.2	36.0	6.5	-19.1	0.3	9.4	0.7	3.4	0.1
Maquereau (SS)	18	12.7	23.4	18.7	3.0	-19.1	0.2	9.5	0.4	3.2	0.1
Merlan bleu (MP)	27	22.0	27.1	25.1	1.4	-19.1	0.2	9.0	0.4	3.2	0.0
Merlu (MM)	36	11.9	31.7	22.0	6.7	-19.1	0.6	8.9	1.0	3.2	0.1
Petite roussette (SC)	49	21.0	52.6	36.2	8.4	-18.2	0.4	9.1	0.6	2.6	0.1
Pétoncle noir (Biv.PN)	1	2.5	2.5	2.5		-18.7		4.6		3.4	
Sardine (SP)	36	10.2	14.7	12.2	1.2	-20.0	0.6	8.3	1.4	3.5	0.3

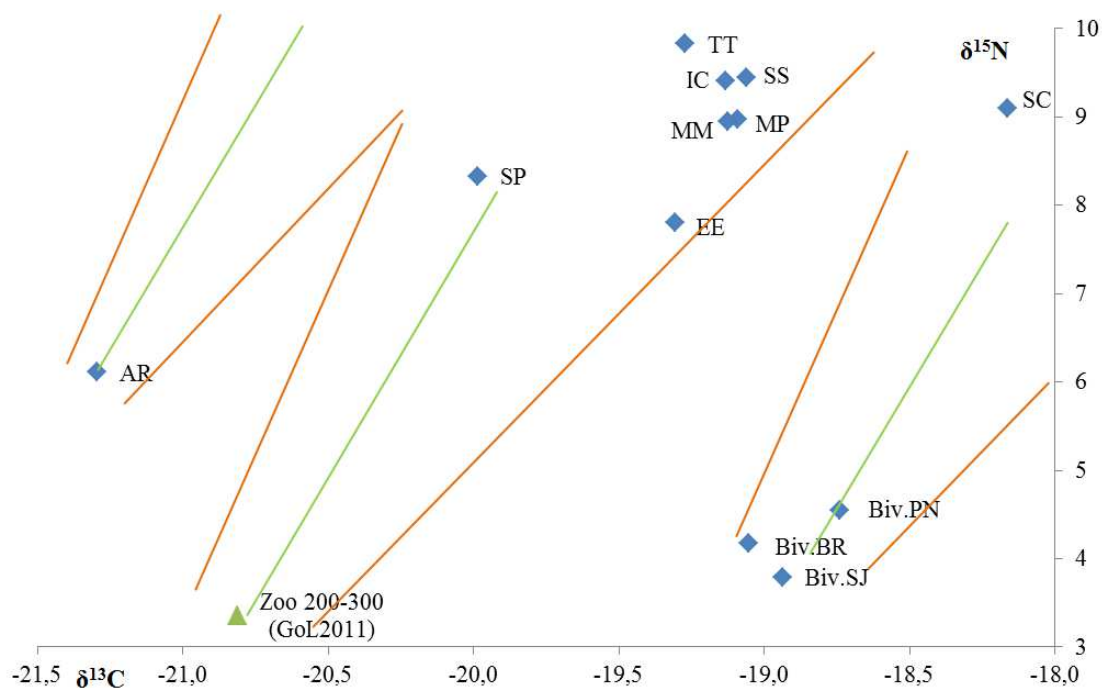


Figure 35. Représentation graphique des valeurs moyennes des ratios isotopiques par espèces (abréviations indiquées dans le Tabl.4). La ligne verte indique l'augmentation des valeurs à partir des lignes de base potentielles avec un fractionnement 1‰ en  $\delta^{13}\text{C}$  et 3‰ en  $\delta^{15}\text{N}$ . Les lignes orange indiquent une gamme de valeurs à partir des mêmes lignes de base ( $\pm$  écart-type) avec un fractionnement plus large 1 à 2‰ en  $\delta^{13}\text{C}$  et 2,5 à 4,5‰ en  $\delta^{15}\text{N}$ .

Les valeurs très élevées des rapports C/N chez l'ascidie rose sont probablement dues à la composition biochimique de la tunique des ascidies. Celle-ci est composée en grande partie de tunicine qui est une variété de cellulose, ce qui augmente la quantité de carbone de ces tissus. Il peut y avoir aussi des particules détritiques adhérant à cette tunique qui n'ont pas pu être enlevées lors de la dissection. Une correction des ratios  $\delta^{13}\text{C}$  a été testée pour ces valeurs (>3,5 selon Post et al., 2007), mais n'a

finalement pas été retenue par manque de cohérence avec les autres compartiments du réseau trophique dans la mesure où l'augmentation du C/N n'est pas liée à une augmentation de la quantité de lipides, comme cela est le cas pour les tissus musculaires pour lesquels ces corrections ont été calculées.

### e. Niveaux trophiques

Les bivalves et les ascidies ont été prélevés dans le but d'être utilisés comme base de calcul pour le niveau trophique des autres organismes, en supposant qu'ils sont des filtreurs et donc de niveau trophique 2. Cependant, la représentation graphique des ratios isotopiques de toutes les espèces analysées (Figure 35), montre qu'en considérant un fractionnement isotopique classique de 1‰ en  $\delta^{13}\text{C}$  et 3‰  $\delta^{15}\text{N}$ , les bivalves et les ascidies ne sont probablement pas le choix le plus judicieux comme base du réseau trophique, du moins pour les organismes pélagiques et démersaux. Ces organismes filtreurs ont consommé des proies ou des particules (ou mélange de particules) organiques qui ne semblent pas correspondre à la ligne de base (LB) du réseau trophique aboutissant aux poissons et céphalopodes étudiés. Le mesozooplankton (200-300  $\mu\text{m}$ ) pourrait constituer un meilleur choix pour cette ligne de base tel que suggéré par les données de 2011 de la même zone d'étude (Banaru et al., en préparation). Les niveaux trophiques des poissons et céphalopodes étudiés dans le cadre de la DCSMM ont donc été calculés avec ces différentes lignes de base (Tableau 24). Il n'y a que pour la petite roussette qui se nourrit essentiellement d'organismes benthiques qu'une ligne de base constituée par les bivalves (valeur moyenne  $\delta^{15}\text{N} = 4,2\text{‰}$ ) pourrait être retenue. Pour les autres organismes, le choix des ascidies et des bivalves comme ligne de base mènerait à une sous-estimation des niveaux trophiques des consommateurs (Tableau 24) par rapport à celui calculé à partir du mesozooplankton.

Tableau 24. Niveaux trophiques estimés en utilisant comme ligne de base les ratios  $\delta^{15}\text{N}$  du zooplankton 200-300  $\mu\text{m}$  (golfe du Lion, 2011), ainsi que l'ascidie rose et les bivalves récoltés en 2015. Le niveau trophique a été calculé avec la formule  $NT = [(\delta^{15}\text{N} - \delta^{15}\text{N}_{\text{LB}}) / 3,4] + 2$ . \* = Stergiou et Karpouzi, 2002 ; \*\* = Roscian, 2016a.

Espèces	NT-LB zoo200 $\mu\text{m}$	NT-LB ascidie	NT-LB bivalves	NT- littérature	
Anchois	3.5	2.5	3.1	$3.5 \pm 0.5$	*
Chincharde	4.1	3.1	3.7	$3.6 \pm 0.6$	*
Encornet rouge	3.9	3.0	3.5	3.8	**
Maquereau	4.0	3.0	3.5	$3.9 \pm 0.7$	*
Merlan bleu	3.8	2.8	3.4	$4.4 \pm 0.8$	*
Merlu	3.8	2.8	3.4	$3.8 \pm 0.6$	*
Petite roussette	3.8	2.9	3.4	$3.8 \pm 0.6$	*
Sardine	3.6	2.7	3.2	$3.1 \pm 0.3$	*

### f. Eléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques (As, Cd, Hg et Pb) ont été mesurés dans les muscles blancs de 17 maquereaux et 24 merlus du golfe du Lion (Tableau 25). Pour les calculs de concentrations ( $\text{mg kg}^{-1}$  poids frais), l'ensemble des individus a été pris en compte, quelles que soient les valeurs mesurées. Si la concentration en ETMs dans les muscles était inférieure à la limite de détection de l'appareil, cette

valeur a été retenue. Si la concentration se situait entre la LD et la LQ (limite de quantification), la valeur de LQ a été utilisée. Le tableau 1 donne les valeurs des LD et LQ des différents éléments traces métalliques analysés ainsi que le nombre d'individus dont les concentrations dépassaient la valeur de LQ. Il apparaît que pour As et Hg tous les individus présentaient des concentrations supérieures à la LQ pour les deux espèces. Ce n'est pas le cas pour Pb et Cd, particulièrement pour le merlu, mais les concentrations en ces deux éléments sont très faibles (Tableau 26).

Tableau 25. Valeurs des limites de détection (LD) et de quantification (LQ) des différents ETMs analysés et nombre d'individus de merlus et de maquereaux du Golfe du Lion présentant des concentrations supérieures à la LQ.

ETM	LD	LQ	Merlu (Total 24)	Maquereau (Total 17)
As	0.0012	0.0041	24	17
Cd	0.0002	0.0008	2	10
Hg	0.0012	0.0041	24	17
Pb	0.0007	0.0024	6	10

Les longueurs totales moyennes des merlus sont significativement plus élevées que celles des maquereaux, mais le niveau trophique moyen des individus analysés ne diffère pas significativement entre les deux espèces (Tableau 26). Les concentrations en Hg et As sont plus élevées chez le merlu, tandis que Cd et Pb sont plus concentrés chez le maquereau, même si ces dernières valeurs sont faibles chez les deux espèces. Cependant, il convient de prendre en compte la différence de taille moyenne entre les groupes de merlu et de maquereau analysés. Une analyse de covariance (ANCOVA) qui élimine l'effet de la taille sur les paramètres analysés montre en effet qu'une différence significative entre les espèces ne subsiste que pour As ( $p < 0.001$ ), tandis que pour les trois autres ETMs la différence de concentration entre espèces n'est plus significative : pour le Cd ( $p = 0.157$ ), le Pb ( $p = 0.179$ ) et le Hg ( $p = 0.111$ ).

Tableau 26. Moyennes et écarts-types (Moy  $\pm$  sd) de la longueur standard (LT), du niveau trophique (NT, calculé selon Hussey et al. (2014) et des concentrations en mercure (Hg), arsenic (As), plomb (Pb) et cadmium (Cd) mesurées dans les merlus (*Merluccius merluccius*) et maquereaux (*Scomber scombrus*) du golfe du Lion, et comparaison statistique entre espèces (test-t). N LT : nombre d'individus dont la longueur totale a été mesurée. N NT : nombre d'individus sélectionnés pour calculer le niveau trophique ; N ETM : nombre d'individus chez qui les concentrations en éléments traces métalliques ont été mesurées. t = valeur absolue du test-t, p = probabilité, ns = non significatif, \*\* = significatif à  $p < 0.01$ , \*\*\* = significatif à  $p < 0.001$ .

Espèces	LT (mm) (min-max)	N LT	NT Moy $\pm$ sd	N NT	Hg (mg kg <sup>-1</sup> ) Moy $\pm$ sd	As (mg kg <sup>-1</sup> ) Moy $\pm$ sd	Pb (mg kg <sup>-1</sup> ) Moy $\pm$ sd	Cd (mg kg <sup>-1</sup> ) Moy $\pm$ sd	N ETM
<i>S. scombrus</i>	127-234 (185 $\pm$ 29)	18	3.45 $\pm$ 0.12	18	0.05 $\pm$ 0.02	2.34 $\pm$ 0.57	0.005 $\pm$ 0.004	0.002 $\pm$ 0.002	17
<i>M. merluccius</i>	119-317 (274 $\pm$ 21)	36	3.53 $\pm$ 0.13	36	0.24 $\pm$ 0.11	7.58 $\pm$ 1.87	0.002 $\pm$ 0.001	0.0003 $\pm$ 0.0002	24
<b>t</b>	11.397		1.495		7.215	11.150	2.796	2.938	
<b>p</b>	<0.001***		0.145 ns		<0.001***	<0.001***	0.008**	0.006**	

Les concentrations des quatre ETMs ne sont pas corrélées au niveau trophique des individus, ni chez le merlu, ni chez le maquereau (Figure 36). Par ailleurs les concentrations des différents éléments ne sont pas corrélées entre elles chez le merlu (Tableau 27), tandis que chez le maquereau, seules les concentrations en Cd et Pb sont significativement corrélées entre elles (Tableau 28).

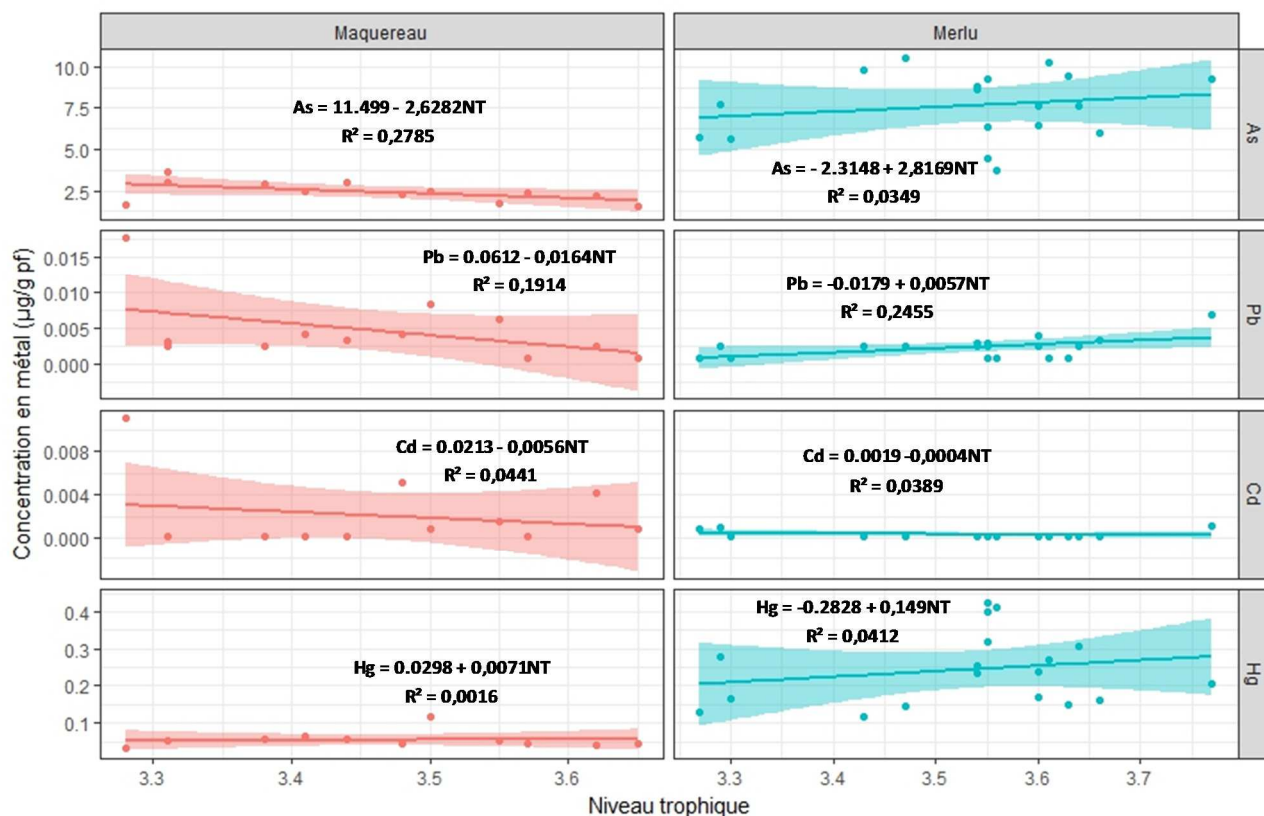


Figure 36. Concentrations en éléments traces métalliques en fonction du niveau trophique chez le maquereau et le merlu. La surface autour des droites représente l'intervalle de confiance à 95 %.

Tableau 27. Corrélations entre les concentrations en ETM et le niveau trophique chez le merlu.

Merlu					
	NT	As	Cd	Pb	Hg
NT		R = 0.187 p-value = 0.458	Non calculable : Ecart type nul	R = 0.444 p-value = 0.065	R = 0.201 p-value = 0.425
As	R = 0.187 p-value = 0.458		Non calculable : Ecart type nul	R = 0.202 p-value = 0.422	R = -0.304 p-value = 0.220
Cd	Non calculable : Ecart type nul	Non calculable : Ecart type nul		Non calculable : Ecart type nul	Non calculable : Ecart type nul
Pb	R = 0.444 p-value = 0.065	R = 0.202 p-value = 0.422	Non calculable : Ecart type nul		R = -0.087 p-value = 0.731
Hg	R = 0.201 p-value = 0.425	R = -0.304 p-value = 0.220	Non calculable : Ecart type nul	R = -0.087 p-value = 0.731	

Tableau 28. Corrélations entre les concentrations en ETM et le niveau trophique chez le maquereau.

Maquereau					
	NT	As	Cd	Pb	Hg
NT		R = -0.528 p-value = 0.078	R = -0.210 p-value = 0.512	R = -0.437 p-value = 0.155	R = 0.040 p-value = 0.901
As	R = -0.528 p-value = 0.078		R = -0.470 p-value = 0.057	R = -0.339 p-value = 0.183	R = 0.321 p-value = 0.209
Cd	R = -0.210 p-value = 0.512	R = -0.470 p-value = 0.057		<b>R = 0.768</b> <b>p-value &lt;0.001</b>	R = -0.425 p-value = 0.089
Pb	R = -0.437 p-value = 0.155	R = -0.339 p-value = 0.183	<b>R = 0.768</b> <b>p-value &lt;0.001</b>		R = -0.100 p-value = 0.703
Hg	R = 0.040 p-value = 0.901	R = 0.321 p-value = 0.209	R = -0.425 p-value = 0.089	R = -0.100 p-value = 0.703	

Par contre, des corrélations significatives ont été trouvées entre la longueur totale des individus (LT cm) et la concentration de certains ETM (Tableau 29). Une corrélation positive significative est observée entre la taille et la concentration en Hg dans le merlu (Figure 37). Inversement, des corrélations négatives significatives apparaissent entre la taille et la concentration en Pb chez le maquereau, et entre la taille et la concentration en Cd chez les deux espèces de poissons (

Tableau 29).

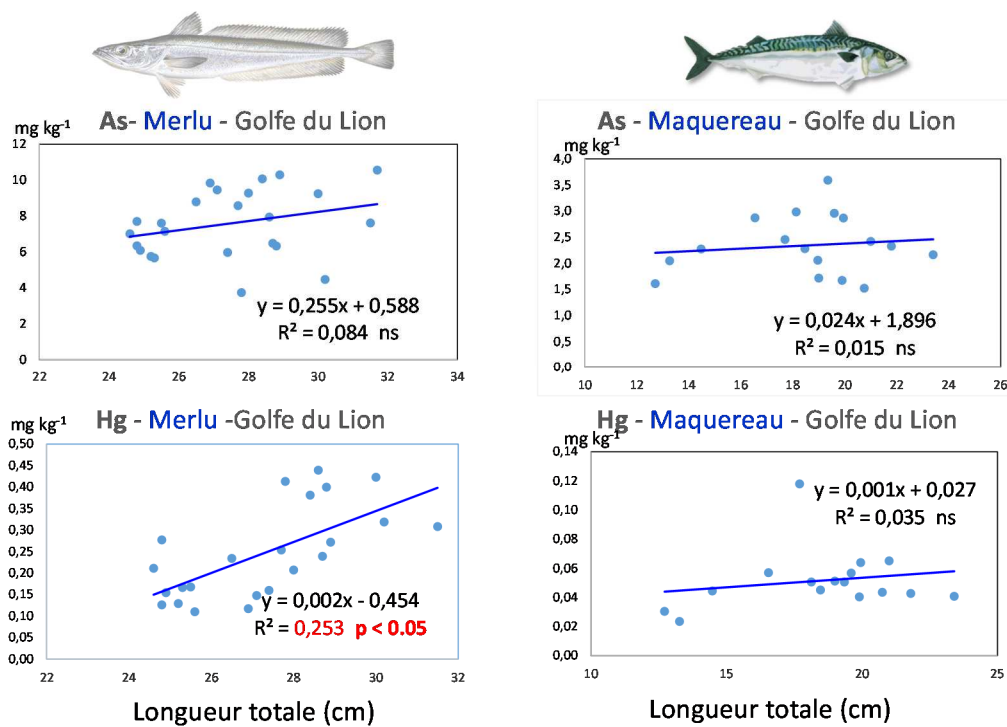


Figure 37. Corrélations entre la taille des individus (longueur totale en cm) et les concentrations en Hg et As chez le merlu et le maquereau.

Tableau 29. Corrélations entre les concentrations en ETM et la longueur totale (cm) chez le merlu et le maquereau du Golfe du Lion. R = coefficient de corrélation, p = significativité, ns = non significatif, \* = significatif à  $p < 0.05$ , \*\* = significatif à  $p < 0.01$ , \*\*\* = significatif à  $p < 0.001$ .

Espèces	Corrélation	Hg (mg kg <sup>-1</sup> )	As (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg kg <sup>-1</sup> )
<i>S. scombrus</i>	R	0.190	0.123	-0.752	-0.610
	P	0.466 ns	0.638 ns	<b>0.0004 ***</b>	<b>0.009 **</b>
<i>M. merluccius</i>	R	<b>0.503</b>	0.289	0.240	-0.431
	p	<b>0.012 *</b>	0.171 ns	0.259 ns	<b>0.036 *</b>

Il semble donc y avoir d'un côté une bioaccumulation du Hg avec la taille chez le merlu, et de l'autre une biodilution du Pb chez le maquereau et du Cd chez les deux espèces au cours de la croissance de ces espèces. En revanche, il n'y a aucune relation entre les concentrations de ces quatre ETM et le niveau trophique des individus.

### g. Polluants organiques persistants

Le pourcentage de matière grasse (% lipides) est significativement plus élevé chez les maquereaux analysés que chez les merlus (Tableau 30). Les concentrations en CB 153 et la somme des 7 PCB exprimés en ng/g lipides indicateurs sont significativement plus élevées chez le merlu que chez le maquereau. Cependant, le % de CB 153 par rapport à la somme de tous les congénères analysés pour les PCB ne diffère pas entre les deux espèces, de même que la somme des dioxines (PCDD). En revanche, la somme des concentrations en PCDF (dibenzofuranes) est significativement plus élevée chez le maquereau.

Les concentrations en CB153 et  $\sum 7\text{PCB}$  (en poids frais) ne sont pas corrélées au pourcentage de lipides, ni chez le merlu ( $R = 0.271$ ,  $p = 0.199$  ns et  $R = 0.275$ ,  $p = 0.193$  ns respectivement), ni chez le maquereau ( $R = 0.194$ ,  $p = 0.457$  ns et  $R = 0.115$ ,  $p = 0.660$  ns respectivement).

Tableau 30. Moyennes et écarts-types (Moy  $\pm$  sd) du % de matière grasse (Lipides) et des concentrations en contaminants organiques mesurées chez le merlu ( $N = 24$ ) et le maquereau ( $N = 17$ ). S7 = somme des 7 polychlorobiphényles (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180) sélectionnés par la Communauté Européenne, SPCDDs = somme des polychlorodibenzodioxines, SPCDF = somme des polychlorodibenzofuranes, pl = poids de lipides, pf = poids frais. t = valeur absolue du test-t, p = probabilité, ns = non significatif, \*\* = significatif à  $p < 0.01$ , \*\*\* = significatif à  $p < 0.001$ .

Espèces	% Lipides Moy $\pm$ sd	CB 153 (ng g <sup>-1</sup> pl) Moy $\pm$ sd	% CB153 Moy $\pm$ sd	S7 (ng g <sup>-1</sup> pl) Moy $\pm$ sd	SPCDDs (pg g <sup>-1</sup> pf) Moy $\pm$ sd	SPCDF (pg g <sup>-1</sup> pf) Moy $\pm$ sd
<i>S. scombrus</i>	1.107 $\pm$ 0.480	304.80 $\pm$ 150.33	32.04 $\pm$ 2.98	916.12 $\pm$ 453.58	0.360 $\pm$ 0.133	0.285 $\pm$ 0.057
<i>M. merluccius</i>	0.657 $\pm$ 0.139	542.57 $\pm$ 278.79	33.30 $\pm$ 4.79	1492.37 $\pm$ 647.53	0.293 $\pm$ 0.100	0.130 $\pm$ 0.061
t	4.363	3.195	0.961	3.156	1.843	8.229
p	<0.001 ***	0.003 **	0.342 ns	0.003 **	0.073 ns	<0.001 ***

Cependant, si on élimine les effets respectifs des différences de taille et de pourcentage de lipides entre les deux espèces par une analyse de covariance (ANCOVA), il s'avère qu'il n'y a pas de différence de concentration en PCB153 ( $p = 0.273$ ) et  $\sum 7\text{PCB}$  ( $p = 0.272$ ) entre le merlu et le maquereau. Par



contre la différence de concentration en  $\Sigma$ PCDF ( $p = 0.009$  \*\*) reste significative avec des concentrations plus élevées chez le maquereau que chez le merlu.

En ce qui concerne les PCBs, les pourcentages de classes de chloration sont similaires chez les deux espèces ( $\chi^2 = 1.659$ ,  $p = 0.798$  ns) (Figure 38).

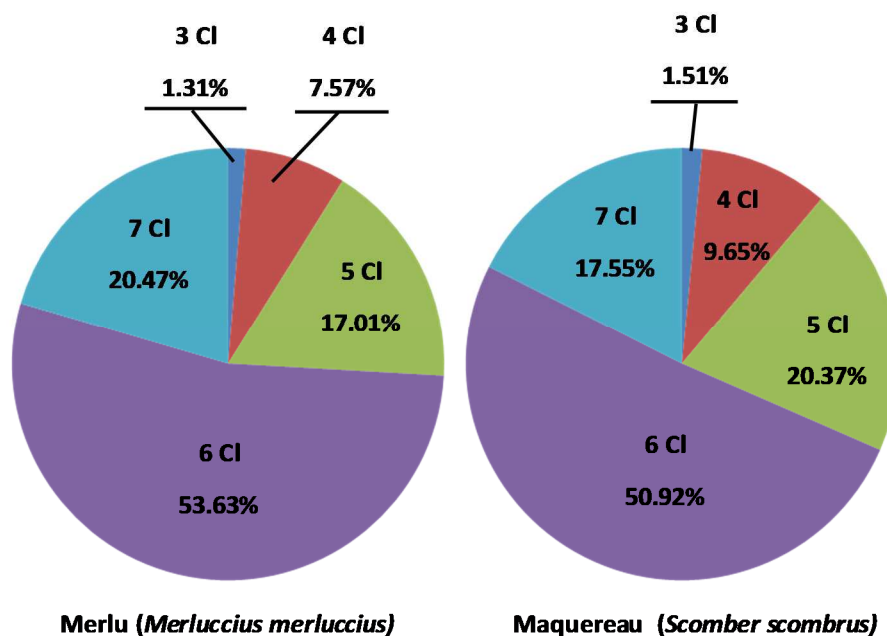


Figure 38. Proportions relatives des différentes classes de PCB dans la contamination de chaque espèce.

Des corrélations positives significatives existent entre les concentrations en PCB 153,  $\Sigma$ 7PCB et  $\Sigma$ PCDD chez le merlu (Figure 39, Tableau 31), mais aucune avec les concentrations en  $\Sigma$ PCDF. Par ailleurs, tous les groupes de POPs sont positivement corrélés entre eux (Tableau 31). Chez le maquereau, les concentrations en PCB 153 et  $\Sigma$ 7PCB sont négativement corrélées de façon significative avec le niveau trophique des individus, tandis que les corrélations négatives avec les sommes  $\Sigma$ PCDD et  $\Sigma$ PCDF ne sont pas significatives (Figure 39, Tableau 32). Seules les concentrations en PCB 153 et  $\Sigma$ 7PCB sont positivement corrélées entre elles chez le maquereau (Tableau 32).

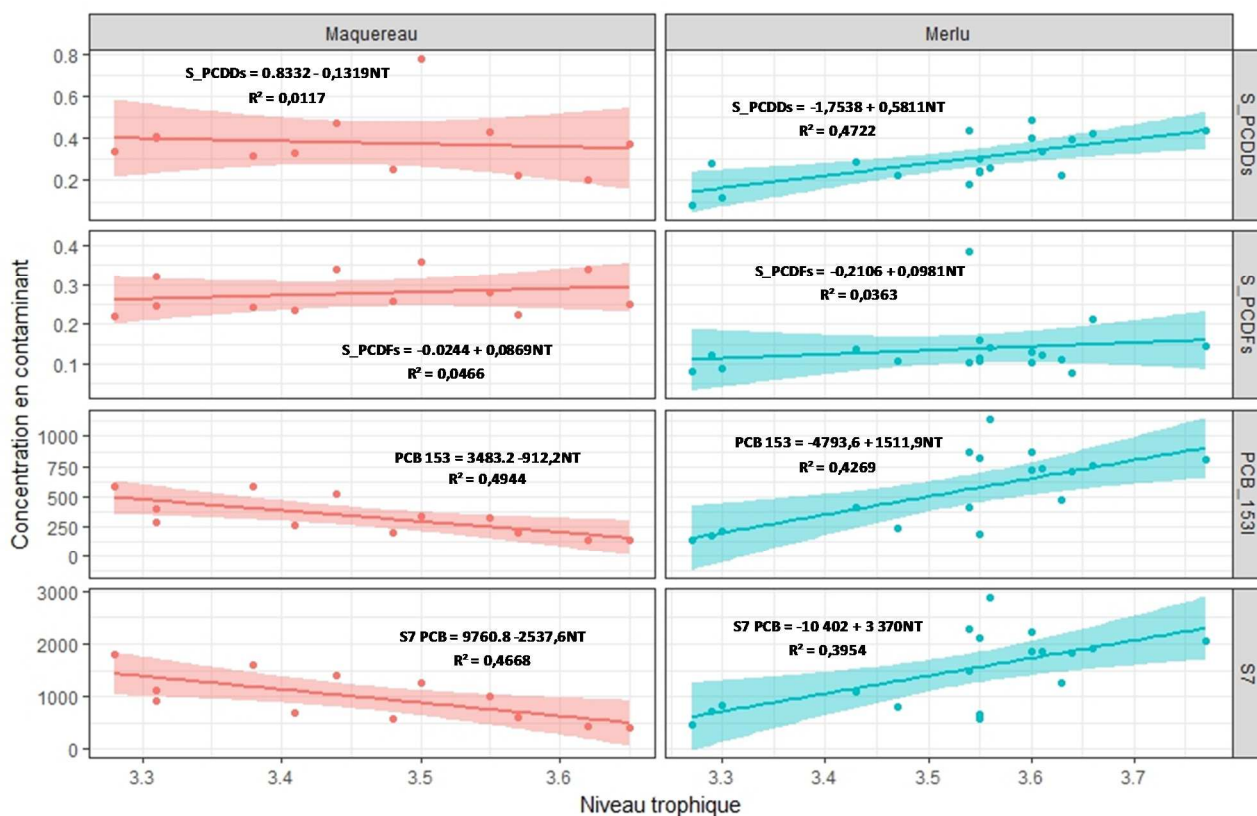


Figure 39. Concentrations en contaminants organiques en fonction du niveau trophique pour le maquereau et le merlu. La surface autour des droites représente l'intervalle de confiance à 95 %. Les concentrations sont exprimées en pg/g p.f pour les PCDDs, les PCDFs, et la somme des 7 PCB, et en ng/g p.l pour le PCB153.

Tableau 31. Corrélations entre les concentrations en POP et le niveau trophique chez le merlu.

Merlu					
	NT	$\Sigma$ PCDDs	$\Sigma$ PCDFs	PCB 153	$\Sigma$ 7 PCB
NT		<b>R = 0.169</b> p-value < 0.01	R = 0.191 p-value = 0.449	<b>R = 0.653</b> p-value < 0.01	<b>R = 0.629</b> p-value < 0.01
$\Sigma$ PCDDs	<b>R = 0.169</b> p-value < 0.01		<b>R = 0.482</b> p-value < 0.05	<b>R = 0.676</b> p-value < 0.001	<b>R = 0.639</b> p-value < 0.001
$\Sigma$ PCDFs	R = 0.191 p-value = 0.449	<b>R = 0.482</b> p-value < 0.05		<b>R = 0.425</b> p-value < 0.05	<b>R = 0.420</b> p-value < 0.05
PCB 153	<b>R = 0.653</b> p-value < 0.01	<b>R = 0.676</b> p-value < 0.001	<b>R = 0.425</b> p-value < 0.05		<b>R = 0.988</b> p-value < 0.001
$\Sigma$ 7 PCB	<b>R = 0.629</b> p-value < 0.01	<b>R = 0.639</b> p-value < 0.001	<b>R = 0.420</b> p-value < 0.05	<b>R = 0.988</b> p-value < 0.001	

Tableau 32. Corrélations entre les concentrations en POP et le niveau trophique chez le maquereau.

Maquereau					
	NT	$\Sigma$ PCDDs	$\Sigma$ PCDFs	PCB 153	$\Sigma$ 7 PCB
NT		R = -0.108 p-value = 0.738	R = 0.216 p-value = 0.500	<b>R = -0.703</b> <b>p-value &lt; 0.05</b>	<b>R = -0.683</b> <b>p-value &lt; 0.05</b>
$\Sigma$ PCDDs	R = -0.108 p-value = 0.738		R = 0.282 p-value = 0.272	R = 0.330 p-value = 0.195	R = 0.452 p-value = 0.068
$\Sigma$ PCDFs	R = 0.216 p-value = 0.500	R = 0.282 p-value = 0.272		R = -0.214 p-value = 0.410	R = -0.212 p-value = 0.415
PCB 153	<b>R = -0.703</b> <b>p-value &lt; 0.05</b>	R = 0.330 p-value = 0.195	R = -0.214 p-value = 0.410		<b>R = 0.973</b> <b>p-value &lt; 0.001</b>
$\Sigma$ 7 PCB	<b>R = -0.683</b> <b>p-value &lt; 0.05</b>	R = 0.452 p-value = 0.068	R = -0.212 p-value = 0.415	<b>R = 0.973</b> <b>p-value &lt; 0.001</b>	

Si les concentrations en POPs, excepté la  $\Sigma$ PCDF, sont positivement corrélées au niveau trophique des individus chez le merlu, aucune corrélation n'est observée avec la taille des individus (Tableau 33). En revanche, chez le maquereau des corrélations négatives significatives sont observées entre la taille des individus et les concentrations en CB153 et  $\Sigma$ 7PCB (Tableau 33).

Tableau 33. Corrélations entre les concentrations en % lipides et les différents groupes de POPs, et la longueur totale (cm) des merlus et maquereaux du Golfe du Lion. R = coefficient de corrélation, p = significativité, ns = non significatif, \* = significatif à  $p < 0.05$ , \*\* = significatif à  $p < 0.01$ , \*\*\* = significatif à  $p < 0.001$ .

Espèces	Corr.	% Lipides	CB 153	% CB 153	$\Sigma$ 7 PCB	$\Sigma$ PCDD	$\Sigma$ PCDF
<i>S. scombrus</i>	R	0.564	-0.605	0.235	-0.669	-0.175	0.305
	P	<b>0.018 *</b>	<b>0.010 *</b>	0.365 ns	<b>0.003 **</b>	0.502 ns	0.234 ns
<i>M. merluccius</i>	R	0.142	0.042	0.193	0.004	0.233	0.055
	p	0.507 ns	0.845 ns	0.365 ns	0.985 ns	0.274 ns	0.798 ns

## h. Conclusions (alimentations et concentrations en contaminants)

Globalement, dans le golfe du Lion, l'alimentation du merlu est similaire à celle observée dans les travaux précédents en 2004 (Merquiol, 2016). Concernant l'alimentation du maquereau commun et du merlan bleu les résultats sont semblables à ceux de l'été 2011 pour les proies principales (Banaru et al., en préparation). Cependant en 2011 le maquereau commun avait consommé une part non négligeable de siphonophores et le merlan bleu avait consommé moins de téléostéens et de krill et plus de décapodes. L'encornet rouge a consommé en 2015 plus de décapodes et moins de téléostéens

(Roscian, 2016 a, b). La comparaison détaillée de l'alimentation de ces espèces avec les données de la littérature est réalisée dans 4 rapports de stages (Bassols, 2016 ; Merquiol, 2016 ; Roscian, 2016 a, b ; Ortu, 2016).

Les résultats obtenus sur les concentrations en ETMs et POPs dans le merlu et le maquereau du golfe du Lion montrent qu'il existe des différences entre espèces, probablement liées à leur alimentation et leur physiologie. Par ailleurs, les analyses réalisées indiquent que pour comparer correctement les espèces entre elles, il faut tenir compte des différences de longueur et de pourcentage de lipides qui peuvent masquer les différences interspécifiques. Pour des comparaisons entre sites ou entre régions, il conviendra de bien prendre en compte ces différences entre espèces et entre populations échantillonnées.

## **i. Réflexions sur les limites de la surveillance et de l'évaluation du bon état écologique des réseaux trophiques**

La structure et le fonctionnement des écosystèmes marins étant influencés par les activités anthropiques depuis une période antérieure à la mise en place de suivi, la définition d'un état non impacté du réseau trophique est difficilement réalisable. Il en est de même pour la définition d'un "bon état écologique" des réseaux trophiques du golfe du Lion, tout au plus peut-on parler de l'état à un instant « t » (ici 2015).

Dans les études environnementales, les auteurs comparent souvent des écosystèmes impactés par les activités humaines avec des écosystèmes en « bon état » choisies au sein des aires marines protégées. Cependant, pour que ces comparaisons soient valables, il est indispensable que les conditions environnementales soient similaires. Hors il n'existe pas d'aire marine protégée à cette échelle spatiale qui puisse remplir ces critères et être comparée au golfe du Lion. De plus, les réseaux trophiques sont caractéristiques d'un milieu donné, or au sein du golfe du Lion il existe des conditions environnementales assez différentes entre les parties Est et Ouest par exemple (et même à plus petite échelle spatiale), conditions qui sont très variables dans le temps et dans l'espace. Du point de vue spatial, on pourrait même parler de deux réseaux trophiques, un à l'Est et l'autre à l'Ouest dans le golfe du Lion étant données les différences observées en terme d'alimentation des espèces et de ratios isotopiques des proies et des consommateurs poissons et céphalopodes (Banaru et al., en préparation).

Cette étude est ainsi préliminaire et pas assez exhaustive pour fournir des conclusions robustes. Quelques recommandations s'imposent :

- Compléter l'échantillonnage pour toutes les espèces avec des méthodes de pêche différentes (filets, palangres, etc.) afin d'élargir la gamme de tailles échantillonnée.
- Compléter l'échantillonnage spatial.
- Réaliser un suivi saisonnier car l'alimentation des espèces est susceptible de varier selon les saisons.
- Augmenter le nombre d'échantillons à analyser notamment pour les isotopes stables et les contaminants.
- Pour les estimations du niveau trophique à l'aide des isotopes stables, choisir comme ligne de base du réseau trophique du golfe du Lion le zooplancton de taille 200-300  $\mu\text{m}$ , essentiellement constitué de copépodes de niveau trophique 2 (Banaru et al., 2014).

A partir de ces espèces choisies comme étant représentatives en terme de biomasse et importantes pour le fonctionnement du réseau trophique du golfe du Lion (Banaru et al., 2013), et en tenant compte des recommandations évoquées, il faudrait réaliser une étude plus complète de la variation ontogénique et spatio-temporelle de leur alimentation principalement par des études de contenus stomacaux, en lien avec l'analyse des ratios isotopiques et des contaminants.

Cette étude future serait ainsi assez exhaustive pour servir de référence temporelle valable pour le suivi « réseaux trophiques » de la DCSMM et pouvoir évaluer les changements du réseau trophique en lien avec les changements environnementaux et avec ceux liés aux activités humaines dans les années à venir.

Une telle étude est probablement en dehors des buts poursuivis par la DCSMM.

## j. Densités énergétiques des poissons fourrages

Spitz J. & Dabkowski H.

Observatoire PELAGIS, UMS 3462, Université de La Rochelle / CNRS, 5 allées de l'océan 17000 La Rochelle, France. [jspitz@univ-lr.fr](mailto:jspitz@univ-lr.fr)

### Méthodologie

Cf. le chapitre méthodologique détaillé dans le chapitre dédié à la Manche.

### Résultats

Dans le golfe du Lion, 7 espèces échantillonnées durant le printemps 2015 sur PELMED ont fait l'objet d'une mesure de leur densité énergétique, soit un total de 81 individus analysés (Tableau 34).

Tableau 34. Espèces et nombre d'échantillons pour la campagne PELMED 2015 pour les analyses de calorimétrie.

Nom latin	Espèces		Nombre	Longueur totale (cm)	
	Nom commun			moyenne $\pm$ sd	Min-Max
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois		7	10.2 $\pm$ 0.9	[9.2-11.3]
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardine		18	10.9 $\pm$ 1.3	[9.5-13.4]
<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat		12	7.4 $\pm$ 0.6	[6.4-8.5]
<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun		9	9.1 $\pm$ 1.4	[6.9-11.8]
<i>Trachurus mediterraneus</i>	Chinchard à queue jaune		10	13.8 $\pm$ 1.2	[12.2-15.5]
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau		14	14.9 $\pm$ 2.2	[11.5-18.5]
<i>Boops boops</i>	Bogue		11	16.4 $\pm$ 1.4	[14.2-18.1]

Les individus analysés sur PELMED 2015 présentent une gamme de valeur de densité énergétique comprise entre 3,1 et 7,7 kJ.g<sup>-1</sup> (Figure 40). Le chinchard commun et l'anchois sont les espèces présentant les plus faibles densités énergétiques, respectivement 3,9 et 4,1 kJ.g<sup>-1</sup> en moyenne, alors que le chinchard à queue jaune atteint une densité énergétique significativement plus élevée, 5,3 kJ.g<sup>-1</sup> en moyenne. Le sprat et le bogue sont les espèces présentant les plus fortes densités énergétiques, respectivement 6,2 et 6,3 kJ.g<sup>-1</sup> en moyenne. De manière générale, les espèces échantillonnées sur PELMED 2015 en Méditerranée présentent des densités énergétiques plus faibles qu'en Atlantique (Spitz et al., 2010).

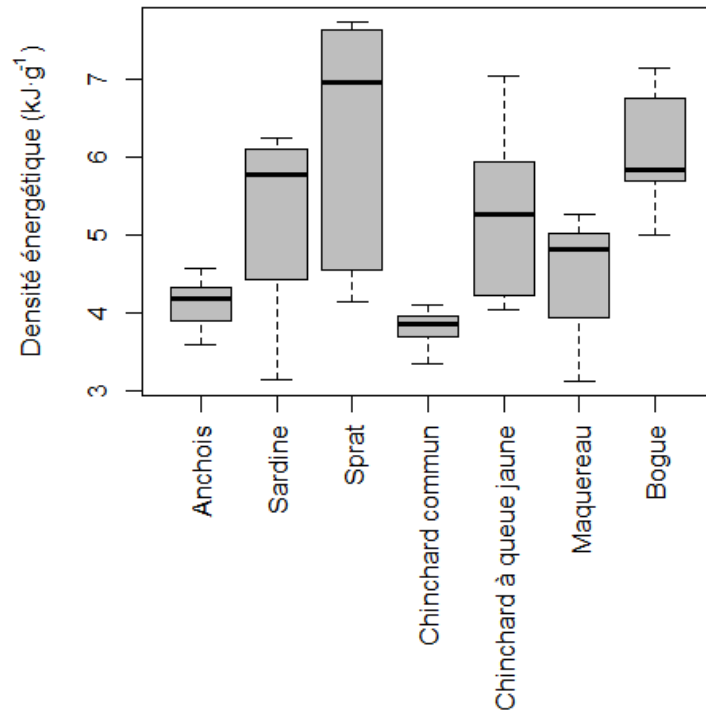


Figure 40. Boxplots des densités énergétiques des espèces de poissons échantillonnées sur PELMED 2015



## **V. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

Photo en page précédente : IBTS 2015 © Jérôme Baudrier - Ifremer



- Baillie, J., C. Hilton-Taylor & S. N. Stuart, 2004. 2004 IUCN Red List of threatened species : a global species assessment. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Bănar, D., F. Carlotti, A. Barani, G. Grégori, N. Neffati & M. Harmelin-Vivien, 2013a. Seasonal variation of stable isotope ratios of size-fractionated zooplankton in the Bay of Marseille (NW Mediterranean Sea). *Journal of Plankton Research* doi:10.1093/plankt/fbt083.
- Banaru, D., B. Le Bourg, E. Le Luherne, Q. Queiros, P. Houssard, H. Bourgogne, C. Saraux, A. Jadaud, J. L. Bigot, P. Richard, F. Carlotti & C. Mellon-Duval, En préparation-a. From plankton to mesopredators: pelagic and demersal foodweb of the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea) elucidated by stable isotope analysis.
- Banaru, D., E. Le Luherne, Q. Queiros, A. Jadaud, D. Roos, J. L. Bigot, P. Richard & C. Mellon-Duval, En préparation-b. From plankton to benthos: mackerels and horse mackerels feeding behaviour in the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea).
- Bănar, D., C. Mellon-Duval, D. Roos, J. L. Bigot, A. Souplet, A. Jadaud, P. Beaubrun & J. M. Fromentin, 2013b. Trophic structure in the Gulf of Lions marine ecosystem (north-western Mediterranean Sea) and fishing impacts. *Journal of Marine Systems* 111–112:45-68 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.09.010>.
- Bassols, N., 2016. Stratégie alimentaire de la petite roussette *Scyliorhinus canicula* dans le golfe du Lion (mer Méditerranée). Stage de Licence 3ème année, Licence sciences de la vie et de la terre, parcours mer, effectué à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (encadrant : Biton Porsmoguer S.). 20 pp.
- Baudrier, J., 2015. Mise en œuvre du programme de surveillance de la DCSMM : synthèse des essais réalisés à bord des campagnes halieutiques. Rapport Ifremer, Dyneco-Vigies, 22 p.
- Baudrier, J., N. Wessel, J.-P. Lecomte & J. Bertrand, 2015. Optimisation des campagnes halieutiques pour la construction d'indicateurs DCSMM. Colloque de l'Association Française d'Halieutique, 1-3 juillet 2015, Aquarium Mare Nostrum Montpellier. Poster.
- Bodiguel, X., V. Loizeau, A.-M. Le Guellec, F. Roupsard, X. Philippon & C. Mellon-Duval, 2009. Influence of sex, maturity and reproduction on PCB and p,p'DDE concentrations and repartitions in the European hake (*Merluccius merluccius*, L.) from the Gulf of Lions (N.W. Mediterranean). *Science of the Total Environment* 408:304-311 doi:10.1016/j.scitotenv.2009.10.004.
- Bodiguel, X., J. Tronczyński, V. Loizeau, C. Munsch, N. Guiot, A. M. Le Guellec, N. Olivier, F. Roupsard & C. Mellon, 2008. Classical and novel organohalogen compounds (PCBs and PBDEs) in hake (*M. merluccius*, L.) from Mediterranean and Atlantic coasts (France). *Environmental Toxicology* 23:157-167.
- Bourdaud, P., D. Gascuel, A. Bentorcha & A. Brind'Amour, 2016. New trophic indicators and target values for an ecosystem-based management of fisheries. *Ecological Indicators* 61, Part 2:588-601 doi:10.1016/j.ecolind.2015.10.010.
- Cachera, M., 2013. Implications des traits morphologiques et fonctionnels pour les relations trophiques dans les communautés de poissons et l'architecture du réseau trophique marin. Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies de Lille, Ecole Doctorale Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement.
- Chassot, E., T. Rouyer, V. M. Trenkel & D. Gascuel, 2008. Investigating trophic-level variability in Celtic Sea fish predators. *Journal of Fish Biology* 73(4):763-781 doi:10.1111/j.1095-8649.2008.01938.x.
- Chouvelon, T., J. Spitz, F. Caurant, P. Mèndez-Fernandez, J. Autier, A. Lassus-Débat, A. Chappuis & P. Bustamante, 2012. Enhanced bioaccumulation of mercury in deep-sea fauna from the Bay of Biscay (north-east Atlantic) in relation to trophic positions identified by analysis of carbon and nitrogen stable isotopes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 65(0):113-124 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2012.02.010>.
- Chouvelon, T., F. Caurant, Y. Cherel, B. Simon-Bouhet, J. Spitz & P. Bustamante, 2014. Species- and size-related patterns in stable isotopes and mercury concentrations in fish help refine marine ecosystem indicators and provide evidence for distinct management units for hake in the Northeast Atlantic. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 71:1073-1087.
- Cohen, J. E., S. L. Pimm, P. Yodzis & J. Saldaña, 1993. Body sizes of animal predators and animal prey in food webs. *Journal of Animal Ecology*:67-78.

- Cresson, P., M. Bouchoucha, F. Morat, F. Miralles, F. Chavanon, V. Loizeau & D. Cossa, 2015. A multitracer approach to assess the spatial contamination pattern of hake (*Merluccius merluccius*) in the French Mediterranean. *Science of The Total Environment* 532:184-194 doi:10.1016/j.scitotenv.2015.06.020.
- Cresson, P., B. Ernande, C. Giraldo, S. Lefebvre, M. Rouquette & M. Travers-Trolet, Effect of depth gradients on fish trophic relationships in the English Channel. In: SFEcologie 2016, International Conference on Ecological Science, Novembre 2016 2016a. Marseille, France.
- Cresson, P., M. C. Fabri, M. Bouchoucha, C. Brach-Papa, F. Chavanon, A. Jadaud, J. Knoery, F. Miralles & D. Cossa, 2014a. Hg in organisms from the Northwestern Mediterranean slope: importance of the food sources. *Science of The Total Environment* 497-498:229-238 doi:10.1016/j.scitotenv.2014.07.069.
- Cresson, P., M. C. Fabri, F. Marco Miralles, J.-L. Dufour, R. Elleboode, K. Sevin, K. Mahé & M. Bouchoucha, 2016b. Variability of PCB burden in 5 fish and sharks species of the French Mediterranean continental slope. *Environmental Pollution* 212:374-381 doi:10.1016/j.envpol.2016.01.044.
- Cresson, P., S. Ruitton, M. Ourgaud & M. Harmelin-Vivien, 2014b. Contrasting perception of fish trophic level from stomach content and stable isotope analyses: A Mediterranean artificial reef experience. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 452:54-62.
- De Gieter, M., M. Leermakers, R. Van Ryssen, J. Noyen, L. Goeyens & W. Baeyens, 2002. Total and Toxic Arsenic Levels in North Sea Fish. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 43:0406-0417 doi:10.1007/s00244-002-1193-4.
- Dessier, A., 2015. Analyse du compartiment mésozooplanctonique et écologie alimentaire printanière de la sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1782), et de l'anchois, *Engraulis encrasicolus* (Linné, 1758) adultes dans le Golfe de Gascogne. Interactions entre organismes., Université de La Rochelle.
- Dierking, J., E. Wafo, T. Schembri, V. Lagadec, C. Nicolas, Y. Letourneur & M. Harmelin-Vivien, 2009. Spatial patterns in PCBs, pesticides, mercury and cadmium in the common sole in the NW Mediterranean, and a novel use of contaminants as a biomarker. *Marine pollution bulletin* 58:1605-1614.
- Domi, N., J. M. Bouquegneau & K. Das, 2005. Feeding ecology of five commercial shark species of the Celtic Sea through stable isotope and trace metal analysis. *Marine Environmental Research* 60.
- Ferraton, F., 2007. Écologie trophique des juvéniles de merlu (*Merluccius merluccius*) dans le golfe du Lion: Implications biologiques de la variabilité spatio-temporelle des ressources alimentaires exploitées dans les zones de nourricerie. Doctoral dissertation, Université de Montpellier II.
- Gascuel, D., Y. Bozec, E. Chassot, A. Colomb & M. Laurans, 2005. The trophic spectrum: theory and application as an ecosystem indicator. *ICES Journal of Marine Science* 62(3):443-452 doi:10.1016/j.icesjms.2004.12.013.
- Giraldo, C., B. Ernande, P. Cresson, D. Kopp, M. Cachera, M. Travers-Trolet & S. Lefebvre, Depth gradient on the resource use of fish community from a semi-enclosed sea. *Limnology and Oceanography*.
- Harmelin-Vivien, M., X. Bodiguel, S. Charmasson, V. Loizeau, C. Mellon-Duval, J. Tronczyński & D. Cossa, 2012. Differential biomagnification of PCB, PBDE, Hg and Radiocesium in the food web of the European hake from the NW Mediterranean. *Marine pollution bulletin* 64:974-983.
- Henry, F., R. Amara, L. Courcot, D. Lacouture & M.-L. Bertho, 2004. Heavy metals in four fish species from the French coast of the Eastern English Channel and Southern Bight of the North Sea. *Environment International* 30:675-683 doi:10.1016/j.envint.2003.12.007.
- Hoekstra, P. F., T. M. O'hara, A. T. Fisk, K. Borgå, K. R. Solomon & D. C. G. Muir, 2003. Trophic transfer of persistent organochlorine contaminants (OCs) within an Arctic marine food web from the southern Beaufort-Chukchi Seas. *Environmental Pollution* 124:509-522.
- Hussey, N. E., M. A. MacNeil, B. C. McMeans, J. A. Olin, S. F. Dudley, G. Cliff, S. P. Wintner, S. T. Fennessy & A. T. Fisk, 2014. Rescaling the trophic structure of marine food webs. *Ecology letters* 17:239-250.

- Jeffree, R. A., F. Oberhansli & J.-L. Teyssie, 2010. Phylogenetic consistencies among chondrichthyan and teleost fishes in their bioaccumulation of multiple trace elements from seawater. *Science of The Total Environment* 408:3200-3210 doi:10.1016/j.scitotenv.2010.04.015.
- Jeffree, R. A., M. Warnau, J.-L. Teyssié & S. J. Markich, 2006. Comparison of the bioaccumulation from seawater and depuration of heavy metals and radionuclides in the spotted dogfish *Scyliorhinus canicula* (Chondrichthys) and the turbot *Psetta maxima* (Actinopterygii: Teleostei). *Science of The Total Environment* 368:839-852 doi:10.1016/j.scitotenv.2006.03.026.
- Jennings, S., S. P. R. Greenstreet, L. Hill, G. J. Piet, J. K. Pinnegar & K. J. Warr, 2002. Long-term trends in the trophic structure of the north sea fish community: Evidence from stable-isotope analysis, size-spectra and community metrics. *Marine Biology* 141(6):1085-1097 doi:10.1007/s00227-002-0905-7.
- Jennings, S. & J. van der Molen, 2015. Trophic levels of marine consumers from nitrogen stable isotope analysis: estimation and uncertainty. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 72:2289-2300.
- Koenig, S., P. Fernández & M. Solé, 2012. Differences in cytochrome P450 enzyme activities between fish and crustacea: relationship with the bioaccumulation patterns of polychlorobiphenyls (PCBs). *Aquatic toxicology* 108:11-17.
- Kopp, D., S. Lefebvre, M. Cachera, M. C. Villanueva & B. Ernande, 2015. Reorganization of a marine trophic network along an inshore–offshore gradient due to stronger pelagic–benthic coupling in coastal areas. *Progress in Oceanography* 130:157-171.
- Lyons, B. P., J. P. Bignell, G. D. Stentiford, T. P. C. Bolam, H. S. Rumney, P. Bersuder, J. L. Barber, C. E. Askem, M. E. E. Nicolaus & T. Maes, Determining Good Environmental Status under the Marine Strategy Framework Directive: Case study for descriptor 8 (chemical contaminants). *Marine Environmental Research* doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.010>.
- Maxwell, T. A. D. & S. Jennings, 2006. Predicting abundance–body size relationships in functional and taxonomic subsets of food webs. *Oecologia* 150:282-290.
- Media, C. f. H. a. N., Guide rapide pour débuter. In.
- Merquiol, L., 2016. Alimentation et condition du merlu européen, *Merluccius merluccius* (L., 1758), dans le Nord-Ouest de la Méditerranée : une comparaison 2004-2015. Stage de Master 1 Université Pierre et Marie Curie, SDUEE/Océanographie et Environnements Marins, effectué à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (encadrant : Harmelin-Vivien M.). 28 pp.
- Muir, D. C. G., R. J. Norstrom & M. Simon, 1988. Organochlorine contaminants in arctic marine food chains: accumulation of specific polychlorinated biphenyls and chlordanes-related compounds. *Environmental Science & Technology* 22:1071-1079 doi:10.1021/es00174a012.
- N., B., 2016. Stratégie alimentaire de la petite roussette *Scyliorhinus canicula* dans le golfe du Lion (mer Méditerranée). Stage de Licence 3ème année, Licence sciences de la vie et de la terre, parcours mer, effectué à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (encadrant : Biton Porsmoguer S.). 20 pp.
- Ortu, C., 2016. Dissections et mesures biométriques des espèces pélagiques (maquereaux et sardines), démersales et benthiques (chinchards, poutassous et petites roussettes) dans le cadre de la DCSMM « Réseau trophique » du golfe du Lion. Stage d'été Licence 1ère année, Licence sciences de la vie et de la terre, effectué à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (encadrant : Banaru D.). 53 pp.
- Parnell, A. C., R. Inger, S. Bearhop & A. L. Jackson, 2010. Source partitioning using stable isotopes: Coping with too much variation. *Plos One* 5:e9672 doi:10.1371/journal.pone.0009672.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese & F. Torres Jr, 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279(5352):860-863 doi:10.1126/science.279.5352.860.
- Peterson, S. H., J. L. Hassrick, A. Lafontaine, J.-P. Thomé, D. E. Crocker, C. Debier & D. P. Costa, 2014. Effects of Age, Adipose Percent, and Reproduction on PCB Concentrations and Profiles in an Extreme Fasting North Pacific Marine Mammal. *PLOS ONE* 9:e96191 doi:10.1371/journal.pone.0096191.

- Pinnegar, J. K., S. Jennings, C. M. O'Brien & N. V. C. Polunin, 2002. Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. *Journal of Applied Ecology* 39(3):377-390 doi:10.1046/j.1365-2664.2002.00723.x.
- Pinnegar, J. K. & N. V. C. Polunin, 1999. Differential fractionation of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. *Functional Ecology* 13:225-231 doi:10.1046/j.1365-2435.1999.00301.x.
- Pinnegar, J. K., N. V. C. Polunin & F. Badalamenti, 2003. Long-term changes in the trophic level of western Mediterranean fishery and aquaculture landings. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(2):222-235 doi:10.1139/f03-016.
- Rijnsdorp, A. D. & F. A. Van Beek, 1991. Changes in growth of plaice *Pleuronectes platessa* L. and sole *Solea solea* (L.) in the North Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 27:441-457.
- Roscian, M., 2016a. Condition corporelle et régime alimentaire des espèces exploitées dans le golfe du Lion. Stage d'été Master 1 Océanographie, spécialité Biologie et Ecologie Marine, effectué à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (encadrant : Banaru D.). 15 pp.
- Roscian, M., 2016b. Etude du régime alimentaire d'*Illex coindetii* (Vérani, 1839) dans le golfe du Lion. Stage de Master 1 Océanographie, spécialité Biologie et Ecologie Marine, effectué à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (encadrant : Banaru D.). 23 pp.
- Spitz, J., T. Chouvelon, M. Cardinaud, C. Kostecki & P. Lorange, 2013. Prey preferences of adult sea bass *Dicentrarchus labrax* in the northeastern Atlantic: implications for bycatch of common dolphin *Delphinus delphis*. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 70:452-461.
- Spitz, J. & J. Jouma'a, 2013. Variability in energy density of forage fishes from the Bay of Biscay (north-east Atlantic Ocean): reliability of functional grouping based on prey quality. *Journal of Fish Biology* 82(6):2147-2152 doi:10.1111/jfb.12142.
- Spitz, J., E. Mouroucq, V. Schoen & V. Ridoux, 2010. Proximate composition and energy content of forage species from the Bay of Biscay: high- or low-quality food? *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 67(5):909-915 doi:10.1093/icesjms/fsq008.
- Spitz, J., A. W. Trites, V. Becquet, A. Brind'Amour, Y. Cherel, R. Galois & V. Ridoux, 2012. Cost of living dictates what whales, dolphins and porpoises eat: the importance of prey quality on predator foraging strategies. *PLoS ONE* 7(11):e50096 doi:10.1371/journal.pone.0050096.
- Stergiou, K. I. & V. S. Karpouzi, 2002. Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. *Rev Fish Biol Fisheries* 11(3):217-254 doi:10.1023/a:1020556722822.
- Storelli, M. M., V. P. Busco & G. O. Marcotrigiano, 2005. Mercury and Arsenic speciation in muscle tissue of *Scyliorhinus canicula* from the Mediterranean Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 75:81-88.
- Sweeting, C. J., N. V. C. Polunin & S. Jennings, 2006. Effects of chemical lipid extraction and arithmetic lipid correction on stable isotope ratios of fish tissues. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20:595-601.
- Timmerman, C.-A., P. Cresson, S. Lefebvre, C. Giraldo, M. Travers-Trolet, M. Rouquette & B. Ernande, Découplage des réseaux trophiques benthiques et pélagiques en Manche : approche couplée isotopes et mercure. In: 28ème forum des jeunes Océanographes, 18-20 Mai 2016 2016. Cherbourg, France.
- Vethaak, A. D., I. M. Davies, J. E. Thain, M. J. Gubbins, C. Martínez-Gómez, C. D. Robinson, C. F. Moffat, T. Burgeot, T. Maes, W. Wosniok, M. Giltrap, T. Lang & K. Hylland, Integrated indicator framework and methodology for monitoring and assessment of hazardous substances and their effects in the marine environment. *Marine Environmental Research* doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.09.010>.
- Vinagre, C., J. P. Salgado, V. Mendonça, H. Cabral & M. J. Costa, 2012. Isotopes reveal fluctuation in trophic levels of estuarine organisms, in space and time. *Journal of Sea Research* 72:49-54 doi:10.1016/j.seares.2012.05.010.
- Wilcox, C., N. J. Mallos, G. H. Leonard, A. Rodriguez & B. D. Hardesty, 2016. Using expert elicitation to estimate the impacts of plastic pollution on marine wildlife. *Marine Policy* 65:107-114 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2015.10.014>.
- WWF, 2007. Resources for Implementing the WWF Project & Programme Standards. Step 1.4, Define: Threat Ranking.