



**NATIONS
UNIES**

EP

UNEP(DEPI)/MED WG.439/Inf.12



**PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT
PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE**

UNEP

28 avril 2017
Original: anglais

Réunion des Points focaux du MED POL

Rome, Italie, 29-31 mai 2017

Point 9 de l'ordre du jour : Autres questions particulières

Définition des espèces les plus représentatives pour l'indicateur candidat 24 de l'IMAP

Pour des raisons environnementales et économiques, le tirage du présent document a été restreint. Les participants sont priés d'apporter leur copie à la réunion et de ne pas demander de copies supplémentaires.

PNUE/PAM
Athènes, 2017

Définition des espèces les plus représentatives pour l'indicateur candidat 24 de l'IMAP

Janvier 2017

Définition des espèces les plus représentatives pour l'indicateur candidat 24 de l'IMAP

Crédits Photographiques:

Figure 1: (A) Cestmed, (B) Huvet, IFREMER). (C) J.Van Franeker, IMARES). (D) COB-IEO/Spain. Figure 2 : (A) M. Matiddi/Ispra, after Werner et al., 2017, (B) F Galgani / Ifremer, (C) M. P. Salinas, d'après Comenero et al., 2017, (D) Alnitak. Figure 3 : (B) Cadiou/ Bretagne vivante

Ce rapport doit être référencé comme suit:

Regional Activity Center for Specially Protected Areas Protocol (Barcelona Convention), 2017, Définition des espèces les plus représentatives pour l'indicateur candidat 24 de l'IMAP; by: Francois Galgani, SPA/RAC, Tunis, 37 pp.

Sommaire

Résumé analytique	4
1. Introduction et contexte général	6
2. Les déchets marins en Méditerranée.	6
3. Ingestion des déchets.....	8
3.1 État de l’art	8
3.2 Espèces bio indicatrices de l’ingestion des déchets marins.....	10
Mammifères marins.....	10
Oiseaux	10
Tortues marines	11
Poissons	14
Invertébrés	14
3.3 Surveillance de l’ingestion des déchets marins par les organismes marins.....	16
Les contraintes biologiques	17
Les contraintes méthodologiques	19
Les contraintes environnementales.....	19
Les contraintes logistiques	20
Les contraintes de conservation et règlementaires	20
3.4 Sélection des approches et des espèces pour la surveillance de l’ingestion	21
4 Emmêlement, étranglement.....	22
4.1 Etat de l’art	22
4.2 Surveillance de l’emmêlement/étranglement des organismes marins.....	26
Aspects biologiques.....	26
Aspects méthodologiques	27
Aspects environnementaux.....	27
Aspects logistiques	27
5. Autres impacts.....	28
6. Conclusions, recommandations et perspectives	29
7. Références	31
Annexe I.....	37

Résumé analytique

En Méditerranée, les déchets marins posent un problème critique en raison des quantités élevées présentes et de leurs effets sur la faune marine. Afin de traiter ce problème, l'ONU Environnement/Plan d'Action pour la Méditerranée - Convention de Barcelone a adopté le premier Plan Régional sur la gestion des Déchets Marins juridiquement contraignant en Méditerranée (Decision IG.21/7). Le Plan Régional sur les Déchets Marins (Ci-après dénommés PRDM), adopté par les Parties Contractantes de la convention de Barcelone lors de la 18^{ème} réunion à Istanbul en 2013, et entré en vigueur en 2014, envisage des séries de mesures de prévention et de réduction, y compris un plan de travail spécifique et un calendrier de mise en œuvre. Son objectif général est d'anticiper et réduire les effets des déchets sur les côtes et dans l'environnement marin en Méditerranée. L'une des mesures identifiées dans le Plan Régional est liée à la mise en œuvre du Programme de surveillance et d'évaluation intégrées de la mer et des côtes méditerranéennes et critères d'évaluation connexes (IMAP), et son 10^{ème} Objectif Ecologique i.e. Déchet Marin, partiellement basé sur l'indicateur candidat 24 « Tendances relatives à la quantité de débris que les organismes marins ingèrent ou dans lesquels ils s'emmêlent, en particulier les mammifères, les oiseaux marins et les tortues marines ».

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer les connaissances sur les impacts et l'évaluation des indicateurs candidats de l'IMAP. Il s'agit en particulier de poursuivre le travail de sélection des espèces les plus représentatives pour l'indicateur commun 24 de l'IMAP (livrable 1, 4.14 du projet « Marine Litter MED »).

Les principaux résultats de l'étude peuvent être résumés comme suit:

- Les déchets marins affectent différents compartiments du milieu marin et le suivi de leurs impacts sur les organismes marins est d'une importance croissante.
- Quelle que soit l'échelle temporelle et spatiale considérée, les déchets marins (principalement en matière plastique) interagissent avec une vaste gamme d'espèces marines. Les différents types d'impact des déchets sur ces organismes peuvent être classés selon leurs modes d'action tels qu'emmêlement, ingestion et transport d'espèces pouvant être colonisatrices.
- Jusqu'à présent, aucune surveillance n'a été effectuée pour évaluer l'impact des déchets sur les organismes marins en Méditerranée, mais on dispose de bonnes bases scientifiques et techniques pour le démarrer.
- Sur la base des informations disponibles, l'approche utilisant la surveillance de l'ingestion des déchets par les tortues marines est cohérente et compatible avec l'ensemble des contraintes biologiques, méthodologiques, environnementales, logistiques et éthiques identifiées. L'espèce cible pour l'indicateur commun 24 de l'IMAP et pour aussi une surveillance à l'échelle du bassin sont les espèces de tortues marines qui se trouvent le plus souvent en Méditerranée, i.e. *Caretta caretta*, a une large répartition dans le bassin méditerranéen et pour laquelle de nombreuses informations sont disponibles. Le potentiel de développement d'un réseau de surveillance correspond aux besoins exprimés par les parties contractantes.
- L'utilisation de cétacés comme espèces indicatrices ne peut être considérée que sur une base opportuniste et à l'initiative de chaque partie contractante disposant de réseaux préexistants de suivi des échouages.
- Bien que des protocoles de suivi de l'ingestion des déchets par les oiseaux marins soient utilisés depuis longtemps dans d'autres régions marines, des travaux sont encore nécessaires pour identifier les espèces les plus représentatives pour développer un suivi de l'impact des déchets sur les oiseaux marins en Méditerranée. Un suivi pilote des déchets dans les nids de cormorans est recommandé, à l'initiative des parties

contractantes.

- Le suivi de l'ingestion des micro-plastiques par les poissons ou invertébrés présente un fort potentiel dans la perspective du développement de la surveillance de l'ingestion des déchets par les organismes marins en Méditerranée. Des travaux complémentaires sont toutefois nécessaires afin de mettre au point un protocole rigoureux excluant les risques de contamination des échantillons examinés et de fausse positivité due par exemple à la présence de fibres naturelles. Pour ces études pilotes ou travaux de recherche approfondis, les espèces communes à large répartition, de pêche aisée, et sensible aux micro-déchets devront être considérées en priorité. Le choix d'espèces de poissons nectobenthiques d'ores et déjà identifiées comme les plus affectées (i.e. *Boops boops*), d'intérêt commercial important (i.e. *Mullus sp.*), ou celui de mollusques d'élevage comme la moule *Mytilus edulis*, pourra faciliter la démarche de surveillance.
- Concernant l'étranglement/emmêlement des espèces marines, les observations sont encore mal décrites, ce qui limite le développement de réseaux de surveillance. La mise en œuvre d'expérimentations pilote coordonnées et basées sur une stratégie d'amélioration de la collecte d'information, paraît la mesure préalable la plus adaptée avant d'envisager le développement d'une surveillance régionale. Les travaux devront porter sur la prévalence des emmêlements/étranglements sur les espèces méditerranéennes, l'identification et la cartographie des zones à risque (présence d'engins de pêche actifs ou fantômes, distribution des espèces sensibles, probabilité de rencontre entre espèces sensibles et déchets marins, etc.) et la rationalisation des procédures d'observation sur la base de dispositifs existants (réseaux d'échouage, réseaux d'observation d'aires marines protégées, analyses opportunistes de plongées Submersibles ou Rovers/Véhicules Télé Opérés).

L'ensemble des démarches recommandées devrait permettre i) d'acquérir une meilleure information pour soutenir la mise en œuvre des mesures de réduction et ii) la définition d'une stratégie de surveillance adaptée au PRDM.

1. Introduction et contexte général

Afin de mettre en œuvre le Plan Régional sur la gestion des Déchets Marins en Méditerranée et d'atteindre le Bon Etat Ecologique (BEE) de la mer Méditerranée, le projet « Marine Litter MED » vise à soutenir les Parties contractantes de la convention de Barcelone, du Sud de la Méditerranée et au voisinage de l'UE en mettant l'accent sur les cinq mesures communes de déchet marin proposées par les Plans d'Action Nationaux (PAN) actualisés. L'une des mesures identifiées est liée à la mise en œuvre du Programme de surveillance et d'évaluation intégrées de la mer Méditerranée et des côtes, basé sur les critères d'évaluation connexes (IMAP), l'Objectif écologique 10 i.e. Déchets marins particulièrement en relation à l'indicateur candidat 24 «Tendances relatives à la quantité de débris que les organismes marins ingèrent ou dans lesquels ils s'emmêlent, en particulier les mammifères, les oiseaux marins et les tortues marines».

L'objectif principal de cette composante du projet Marine Litter Med est d'améliorer les connaissances et l'évaluation de cet indicateur candidat et en particulier de poursuivre le travail de sélection des espèces les plus représentatives afin d'élaborer une stratégie de surveillance la plus adaptée au contexte méditerranéen.

Dans ce contexte, la mise en œuvre du projet se concentrera sur (i) la définition des espèces les plus représentatives pour l'indicateur candidat 24 de l'IMAP (livrable 1, 4.14 du projet Marine Litter MED), (ii) la définition d'un protocole spécifique et le renforcement des capacités de surveillance, notamment des tortues marines pour harmoniser les méthodes et la collecte des données, (iii) l'évaluation des données disponibles pour proposer des seuils et cibles du Bon Etat Ecologique (BEE) pour l'indicateur candidat 24, (iv) l'élaboration d'une stratégie opérationnelle de surveillance de l'indicateur candidat 24, et (v) la constitution d'un réseau méditerranéen sur cet indicateur pour soutenir les échanges de bonnes pratiques.

La démarche prend également en considération l'existence de projets scientifiques en cours comme le projet "Plastic Buster" de l'université de Sienne sur les déchets marins à l'échelle de la Méditerranée et le projet de recherche européen INDICIT (DG ENV 2017-2018), coordonné par le CNRS en France, en soutien à l'harmonisation de la surveillance des impacts des déchets marins en Méditerranée.

Dans ce contexte, le présent rapport vise à identifier et à proposer les espèces les plus pertinentes et représentatives de la Méditerranée pour évaluer les quantités de déchets marins ingérés par les espèces marines et mesurer les taux d'emmêlement/étranglement des espèces marines. Il appuiera la définition des indicateurs candidats pour l'indicateur candidat 24 de l'IMAP.

2. Les déchets marins en Méditerranée.

Les déchets sont constitués d'objets ou fragments d'objets fabriqués ou utilisés par l'homme, jetés ou délibérément abandonnés en mer ou sur les côtes, ou encore ceux apportés par les fleuves ou rivières, les stations d'épuration, les orages ou le vent. Leurs impacts sont principalement chroniques et liés à leur persistance (Gregory, 2009). Les travaux les plus récents (Gall et Thompson, 2015) font état d'environ 700 espèces d'invertébrés, poissons, oiseaux, tortues marines et cétacés impactés, principalement par étranglement/emmêlement et par ingestion.

En raison de la diversité et de la complexité des sources et des apports de déchets en mer, la gestion de ce problème reste difficile. Qui plus est, le contexte méditerranéen est particulier : population humaine importante en région côtière, apports quotidiens de déchets plastiques à la mer élevés évalués à plus de 700 tonnes par jour (UNEP/MAP, 2015), faibles échanges avec

l'Atlantique et sortie de déchets par le détroit de Gibraltar limitée, trafic maritime intense (environ 30% du trafic mondial des navires), et enfin infrastructures de traitement des déchets insuffisantes. La conséquence de cette spécificité est que l'on observe en Méditerranée une densité de déchets parmi les plus importantes dans le monde (tableau 1), pouvant atteindre plus de 100 000 particules par km² sur les fonds (UNEP/MAP, 2015a) et plus de 64 millions de particules/km² dans le cas des micro-plastiques en surface (Den Hal, 2017).

Tableau 1: Synthèse des observations de déchets en Méditerranée (Source UNEP/MAP, 2015, actualisé)

	MIN	MAX	NOMBRE D'ETUDES	LOCALISATION	REFERENCES
Plages	30/km	36000/km	13	Bassin occidental, oriental et central, mer Adriatique	UNEP/MAP, 2015a; Martinez <i>et al.</i> 2009
Déchets flottants	1,98/km ²	45/km ²	10	Ensemble du bassin	UNEP/MAP, 2015a
Déchets sur les fonds	24/km ²	120000/km ²	37	Bassin occidental, oriental et central, mer Adriatique	Ioakeimidis <i>et al.</i> , 2014; Angiolillo <i>et al.</i> , 2015
Micro-plastiques flottants (moyenne par étude)	115000/km ²	1518 340/km ² *	9	Ensemble du bassin	UNEP/MAP, 2015a, Van den Hal <i>et al.</i> 2017
Micro-plastiques sur les plages	10/m ²	920/m ²	3	Espagne, Grèce, France	UNEP/MAP, 2015a

*Maximum par échantillon à 64.800.000 particules par km² en Méditerranée orientale

La circulation est le principal moteur de transport de déchets marins en Méditerranée. Le rôle des courants, cependant, peut être très complexe car il intervient également sur la répartition des espèces pouvant être affectées par les déchets. Les principaux grands schémas d'agrégation observés sont caractérisés par des zones à densité élevée de déchets marins, qui commencent à être assez bien décrites, de même que les phénomènes d'échouage, de transport à la surface ou d'accumulation de déchets en mer (Mansui *et al.*, 2014, Pham *et al.*, 2014).

Les déchets marins en Méditerranée revêtent une grande variété de formes, couleurs, et composition. Outre les mégots sur les plages, les déchets marins les plus fréquents en Méditerranée sont les emballages, bouteilles et bouchons en matière plastique, et dans une moindre mesure les canettes métalliques et bouteilles de verre. Les éléments trouvés indiquent une prédominance de déchets d'origine terrestre, provenant principalement des activités de loisir/tourisme (ARCADIS, 2014) et ils augmentent de manière sensible pendant et après la saison touristique. Cependant, en mer et sur les fonds, certaines régions de la Méditerranée sont très affectées par les déchets issus de la pêche, constituant un risque majeur d'emmêlement/étranglement pour la faune marine.

Les déchets marins peuvent persister pendant de longues périodes dans l'environnement marin en raison d'une vitesse de dégradation lente, basée sur des processus d'abrasion (mécanique), de photo-dégradation thermique, chimique et biologique, et qui peuvent être ralentis en mer dans l'obscurité et à des concentrations faibles d'oxygène. À ce jour, les données disponibles sur la dégradation sont rares et des tests normalisés sont encore nécessaires. L'un des phénomènes de dégradation les plus communs reste la fragmentation qui conduit à la présence de micro-plastiques, de taille inférieure à 5mm, voire potentiellement de nano-plastiques de taille inférieure au micron. On connaît peu de choses quant aux impacts des petites particules de plastique sur les organismes marins, et le taux d'emmêlement des espèces marines dans ces particules semble limité; en revanche, leur ingestion pourrait être la source d'effets plus conséquents devant être pris en compte dans la surveillance. On manque à ce jour de

méthodologies de recherche validées et de données sur leurs concentrations et leurs réels impacts environnementaux, notamment pour les plus petites particules.

Les engins de pêche (filets maillants, trémails, filets fantômes, casiers et pièges) endommagés ou usés, peuvent être jetés ou abandonnés par les pêcheurs, ou cassés et dispersés par les tempêtes. Certains d'entre eux peuvent alors continuer à capturer et tuer des organismes marins (poissons et crustacés, commerciaux ou non, oiseaux, mammifères et tortues marines), pendant des mois, voire des années, jusqu'à leur dégradation (UNEP/MAP, 2015b). Les résultats d'une enquête régionale récente menée auprès de 12 pays méditerranéens non européens par le PNUE/PAM/MEDPOL (UNEP/MAP, 2015b) indiquent que les engins de pêche et les filets fantômes abandonnés sont considérés comme un problème par 71% des pêcheurs, skippers et marins, qui sont bien conscients des dommages environnementaux et des impacts spécifiques qu'ils engendrent. Si les taux de perte d'engins sont faibles, les risques d'impact restent importants, la pêche au filet maillant étant très commune dans tout le bassin méditerranéen avec plus de 20.000 bateaux impliqués dans ce type de pêche (<http://firms.fao.org/firms/fishery/761/en>).

Les déchets marins affectent les organismes marins à différents niveaux d'organisation biologique, par étranglement/emmêlement, par ingestion, par transfert de contaminants, comme vecteur de transport des espèces et par altération des assemblages des différentes espèces (Werner et al. 2017). L'étude de ces impacts doit donc considérer les différents niveaux trophiques. Une synthèse de la littérature publiée entre 1986 et 2014 sur les interactions entre déchets en plastique et organismes marins indique que 134 espèces de différents taxons peuvent être affectées (Deudero et Alomar, 2015). Dans le contexte d'une surveillance, seules quelques espèces présentent un intérêt, notamment celles présentant une sensibilité particulière pour des raisons biologiques. Ainsi, l'impossibilité pour les tortues marines de distinguer les proies gélatineuses de certains emballages en plastique transparent, la possibilité pour certains oiseaux d'accumuler des débris dans le gésier, la présence de certaines espèces (plancton, poissons) dans les couches superficielles des eaux où s'accumulent les micro-plastiques, les taux de filtration importants d'espèces comme les mollusques et cétacés filtreurs, ou le régime détritivore d'autres espèces les conduisant à ingérer des micro-plastiques présents dans les sédiments, sont autant de caractéristiques biologiques méritant une attention particulière dans le choix des espèces cibles pour la surveillance. De même, les informations collectées peuvent avoir un intérêt dans le domaine sanitaire comme l'ingestion de micro-plastiques par les espèces commerciales consommées par les humains. Dans le cas de l'emmêlement, les espèces à statut de conservation vulnérable, en voie de disparition ou rares doivent être également considérées avec attention en raison de leur intérêt patrimonial.

Jusqu'à présent, plus de 80 études ont porté sur les interactions entre organismes marins et déchets marins (principalement en plastique) dans le bassin méditerranéen (revues dans Deudero & Alomar, in CIESM, 2014; Galgani *et al.* 2014; Deudero et Alomar, 2015, UNEP/MAP, 2015). Ces études couvrent un large éventail de profondeurs (0 à 850 m), une échelle temporelle étendue (1986-2017), et identifient une vaste gamme d'espèces affectées par les déchets allant des invertébrés (polychètes, ascidies, bryozoaires, éponges, etc.), aux poissons, reptiles et cétacés. Les effets identifiés dans ces études concernent l'emmêlement, l'ingestion, et dans une moindre mesure la colonisation et le transport des espèces.

3. Ingestion des déchets

3.1 État de l'art

On estime que plus de 62 millions de déchets flottent en Méditerranée (Suaria et Aliani, 2014) et ceux-ci peuvent affecter les organismes marins par des effets indirects sur leur santé, notamment après ingestion. En outre, certaines espèces peuvent également ingérer des déchets directement à

partir des fonds sur lesquels elles se nourrissent. Au-delà de l'impact direct sur la survie, l'ingestion des déchets provoque des effets sub-létaux liés, par exemple, à la diminution proportionnelle de nourriture naturelle à l'intérieur de l'estomac, ou à l'ingestion de substances toxiques adsorbées sur- ou libérées directement par les déchets lorsqu'il s'agit de matière plastique (Gregory, 2009). Ces substances peuvent agir comme des perturbateurs endocriniens et peuvent donc affecter le développement et l'état de santé des individus (Teuten *et al.*, 2009). On a répertorié que plus de 180 espèces marines absorbaient des déchets de plastique, parmi lesquelles différentes espèces d'oiseaux de mer (Van Franeker *et al.*, 2011), de poissons (Boerger *et al.*, 2010), de mammifères marins (De Stefanis *et al.*, 2013) et de nombreuses espèces d'invertébrés, y compris des espèces du plancton (Cole *et al.*, 2013, UNEP, 2016b). On a également observé que toutes les espèces de tortues marines de Méditerranée, listées comme vulnérables ou menacées à l'échelle mondiale (IUCN), ingèrent des déchets. Sauf dans le cas d'occlusions (tortues marines, mammifères etc.) ou de stockage par certaines espèces (Procellariiformes), les particules non digestibles sont en général excrétées dans les matières fécales chez toutes sortes d'organismes. Les effets directs les plus graves de l'ingestion de déchets sont l'occlusion du tube digestif et les lésions internes par des objets tranchants, qui peuvent entraîner la mort (Katsanevakis, 2008). Les effets sub-létaux causés par l'ingestion des déchets peuvent non seulement affecter les individus mais les populations à long terme. Lorsqu'un grand nombre de déchets occupe l'espace stomacal d'un organisme comme une tortue marine, la sensation de satiété est faussée, et l'appétit freiné. Les éléments nutritifs, dilués dans un contenu presque exclusivement composé de matières non naturelles, sont insuffisants pour que l'organisme se développe et assure ses fonctions vitales. Plusieurs conséquences délétères de cet état de malnutrition peuvent s'ensuivre: une diminution du taux de croissance chez les juvéniles, une réduction des performances de reproduction chez les adultes, un état de faiblesse rendant l'individu moins mobile et plus vulnérable aux prédateurs, et ainsi une diminution du taux de survie au plan individuel comme à l'échelle d'une population (McCauley et Bjorndal, 1999). Ces effets sub-létaux des déchets marins et leurs impacts au niveau des populations doivent être approfondis, de même que pour les micro-plastiques (GESAMP, 2015) dont l'absorption en grande quantité pourrait également avoir des effets sur les réserves énergétiques, le comportement alimentaire, les déplacements, la croissance et la reproduction (GESAMP, 2015; Sussarellu *et al.* 2015).

Selon leur stratégie et leur comportement alimentaires, les modalités et les conséquences de l'absorption des déchets par les organismes marins prédateurs, planctonophages, filtreurs, détritivores, etc. sont variables. Les chaînes alimentaires peuvent être longues ou très courtes, comme dans le cas des cétacés filtreurs planctonophages, qui en absorbant d'importants volumes d'eau, filtrent de nombreux micro-plastiques (Fossi *et al.* 2014). La capacité d'excrétion des déchets par les organismes est documentée par plusieurs travaux récents menés in situ, en centre de soins (tortues), ou en laboratoire (Cole, 2013, Camedda *et al.*, 2013, Van Cauwenberghe *et al.*, 2013; Darmon *et al.*, 2014). Les résultats de ces travaux indiquent que la durée moyenne de rétention des déchets dans le tube digestion varie, selon l'espèce, de quelques heures pour le plancton, à quelques jours pour les mollusques filtreurs et à quelques semaines ou mois pour les tortues marines. Chez ces dernières, la durée de rétention dépend de plusieurs facteurs (température de l'environnement, état de santé, type de nourriture, caractéristiques de déchets) et certains déchets peuvent être excrétés tandis que d'autres seront retenus plus longtemps à l'intérieur du tube digestif. Chez la moule, on a pu mesurer le taux de rétention qui est de l'ordre de 0, 013% (Van Cauwenberghe, 2013). Ces éléments d'information laissent à penser que le risque de transfert de déchets dans une chaîne trophique est moins élevé qu'il ne l'était envisagé, du fait de la capacité d'excrétion directe des déchets ingérés par les organismes marins, et de l'excrétion, à chaque niveau trophique, des déchets ingérés par les prédateurs. . A la lumière des données actuelles, l'accumulation de déchets en bout de chaîne alimentaire semble ainsi peu probable; elle n'a en tout état de cause pas été démontrée à ce jour. Dans le cas d'une surveillance des déchets ingérés, l'interprétation des données devra tenir compte de la distance

potentielle parcourue par un individu durant la durée du transit digestif, afin d'éviter toute erreur sur l'origine géographique des déchets. La question du transfert trophique reste cependant posée pour les plus petites particules, de l'ordre de quelques nanomètres ou centaines de nanomètres (nano-plastiques). En effet, si ces particules existent en mer, il est possible que leur taille minuscule leur permette de traverser la paroi intestinale et d'être présents dans les tissus des organismes qui les ont ingérés.

3.2 Espèces bio indicatrices de l'ingestion des déchets marins

Mammifères marins.

L'ingestion de déchets par un large éventail d'espèces de baleines et de dauphins est connue (De Stephanis et al. 2013; Jacobsen et al., 2010; NOAA, 2014). Les travaux publiés concernent des animaux morts, échoués ou capturés accidentellement. L'analyse récente de données d'échouage en Atlantique (Pibot et al., 2012) sur plusieurs milliers d'individus (baleines, dauphins) montre des taux d'incidence généralement faibles, de l'ordre de un pour cent. Dans certains cas, il s'agit d'animaux ingérant des déchets de façon accidentelle lorsqu'ils se nourrissent sur les fonds marins, comme par exemple les cachalots *Physeter macrocephalus*. En Méditerranée, un jeune cachalot a été trouvé mort en 2011 au large de l'île grecque de Mykonos avec 100 déchets en matière plastique dans l'estomac et en mars 2014, l'autopsie d'un cachalot échoué dans le sud de l'Espagne a montré qu'il avait ingéré 59 plastiques. Le plus souvent, le diagnostic des causes de mortalité est difficile, l'ingestion des déchets n'est formellement identifiée comme cause de mortalité que dans de rares cas.

Les travaux sur les baleines mégaptères *Megaptera novaeangliae*, rares en Méditerranée, ont mis en évidence dans le tractus digestif la présence de déchets de polyéthylène, polypropylène, polychlorovinyle, polyéthylène téréphtalate et de nylon, d'une taille variant de 1 mm à 17 cm (Besseling et al., 2015). Les grands organismes marins résidant en Méditerranée et relativement abondants, tels que les baleines à fanons, se nourrissent aussi par filtration. En raison des grandes quantités d'eau filtrées à chaque bouchée (environ 70 000 litres d'eau pour le rorqual commun *Balaenoptera physalis*), ces organismes pourraient être exposés aux risques générés par l'ingestion et la dégradation de micro-plastiques. C'est en effet ce que suggère la présence d'additifs de plastique (par exemple les phtalates) dans les tissus des animaux échoués et dans les échantillons de peau prélevés par biopsie sur les animaux en mer (Fossi et al., 2012).

Malgré ces observations, il semble difficile d'intégrer les mammifères marins comme des espèces indicatrices de la pollution par les macrodéchets marins dans la cadre d'une surveillance régionale. En effet, le suivi de l'ingestion des déchets par les cétacés est difficile en raison du faible nombre et de la répartition hétérogène des animaux échoués, de même que des difficultés logistiques liées à la taille de certaines espèces. Dans le cas des phoques, les populations méditerranéennes sont très localisées et très peu abondantes, ce qui limite le potentiel de suivi de ces espèces et l'acquisition de données suffisantes pour une surveillance régionale et à long terme.

Oiseaux

Les oiseaux sont les espèces les plus étudiées en ce qui concerne l'ingestion des déchets. Dans certaines régions, plus de 50 % des espèces ingèrent des débris (NOAA, 2014). Certaines espèces sont abondantes, et présentent des taux d'ingestion élevés, ce qui en fait des candidats intéressants *a priori* comme indicateurs pour la surveillance. Il existe cependant une grande diversité de comportements et le choix d'espèces adaptées comme indicateurs intègre de nombreux critères. Les plus importants de ces critères sont la répartition géographique des espèces et leur mobilité. La prise en compte de cette caractéristique est importante car les déplacements, parfois migratoires, peuvent limiter la significativité des données mesurées. Les

Procellariiformes (albatros, fulmars, puffins) ont la particularité de garder une partie des déchets ingérés dans leur gésier et sont probablement plus affectés par les déchets marins, du fait d'obstructions et ulcérations pouvant survenir dans le cas de détention prolongée de ces éléments étrangers (NOAA, 2014; Van Franeker *et al.* 2011). Ces espèces se nourrissant principalement en mer et en surface, elles constituent de bons indicateurs car elles reflètent de façon plus significative l'état de pollution de la mer que celles qui se nourrissent également à terre (goélands par exemple). Les déchets ingérés par les oiseaux marins sont des microplastiques, mais également des mésoplastiques (de taille comprise entre 5 et 25mm). Si en apparence l'ingestion de déchets par les oiseaux peut ne pas constituer un problème pour les gestionnaires, les travaux ont cependant montré que les quantités ingérées peuvent être élevées en proportion de leur taille (environ 0,6 g par oiseau pesant 1 kg en moyenne, dans le cas de fulmars de la mer du Nord *Fulmarus glacialis*; Van Franeker *et al.*, 2011), et que l'état physiologique de ces oiseaux s'en trouve amoindri.

En Méditerranée, les travaux sont malheureusement limités à de rares études. En dehors d'une observation vidéo de l'ingestion de plastiques en mer Egée par un faucon (*Falco eleonorae*, Steen *et al.*, 2016), une seule étude s'intéresse à l'ingestion de plastique par les oiseaux marins dans cette région (Codina *et al.*, 2013). Les résultats des travaux, menés sur 171 individus de 9 espèces d'oiseaux accidentellement capturés par les palangres dans l'ouest de la Méditerranée entre 2003 et 2010, montrent des différences de taux d'ingestion très significatifs, sans différence dans les caractéristiques des plastiques ingérés, ni entre les sexes. Les puffins (*Calonectris diomedea*, *Puffinus yelkouan*, *Puffinus mauretanicus*) présentent l'occurrence la plus élevée d'ingestion de déchets (70-94% des individus selon l'espèce) et le plus grand nombre de petites particules de plastique par oiseau affecté. Ces espèces ont cependant une répartition limitée en Méditerranée. Les autres espèces comme les goélands d'Audouin et Leucophaea (*Ichthyophaga audouinii*, *Larus michahellis*), labbes (*Catharacta skua*) et fous de Bassan (*Morus bassanus*), sont moins touchées (10-33 %). Les mouettes tridactyles (*Rissa tridactylus*), avec un taux d'ingestion voisin de 50% représentent une espèce cible intéressante localement mais sa répartition en Méditerranée reste également restreinte.

Tortues marines

Toutes les espèces de tortues marines ingèrent des déchets et les déchets en plastique constituent le principal type de déchets ingérés (NOAA, 2014). D'après Norton (2005), la longue espérance de vie des tortues et leur maturité sexuelle tardive (25-35 ans pour les tortues caouannes) font que ces animaux sont extrêmement vulnérables aux impacts humains.

En Méditerranée, la tortue caouanne (*Caretta caretta*) est le Chélonien marin le plus abondant (Casale et Margaritoulis, 2010). Parmi les déchets ingérés par l'espèce, on trouve des sacs en plastique qu'elle pourrait confondre avec des méduses et autres proies gélatineuses transparentes quand elle se nourrit dans des habitats néritiques et en haute mer. La caouanne est très sensible aux déchets marins et l'une des espèces de tortues marines les plus étudiées en Méditerranée. Bien que cette espèce soit capable d'ingérer toutes sortes de déchets (figure 1), les objets en plastique sont plus fréquemment ingérés (Lazar & Gračan, 2011; Campani *et al.*, 2013; Camedda *et al.*, 2014; Darmon *et al.* 2016). En France, à l'autopsie des caouannes ayant ingéré des déchets, Darmon *et al.* (2016) mettent en évidence dans 80% des cas des déchets en plastique, alors que moins de 2% des déchets ingérés sont en papier, métal ou verre. On n'observe pas de différence entre les déchets trouvés dans les tortues de mer échouées lors des autopsies, et ceux excrétés par les animaux maintenus en centre de soins (Camedda *et al.*, 2014), l'analyse montrant une homogénéité en ce qui concerne l'abondance totale, le poids et la composition des déchets entre les individus vivants et morts.

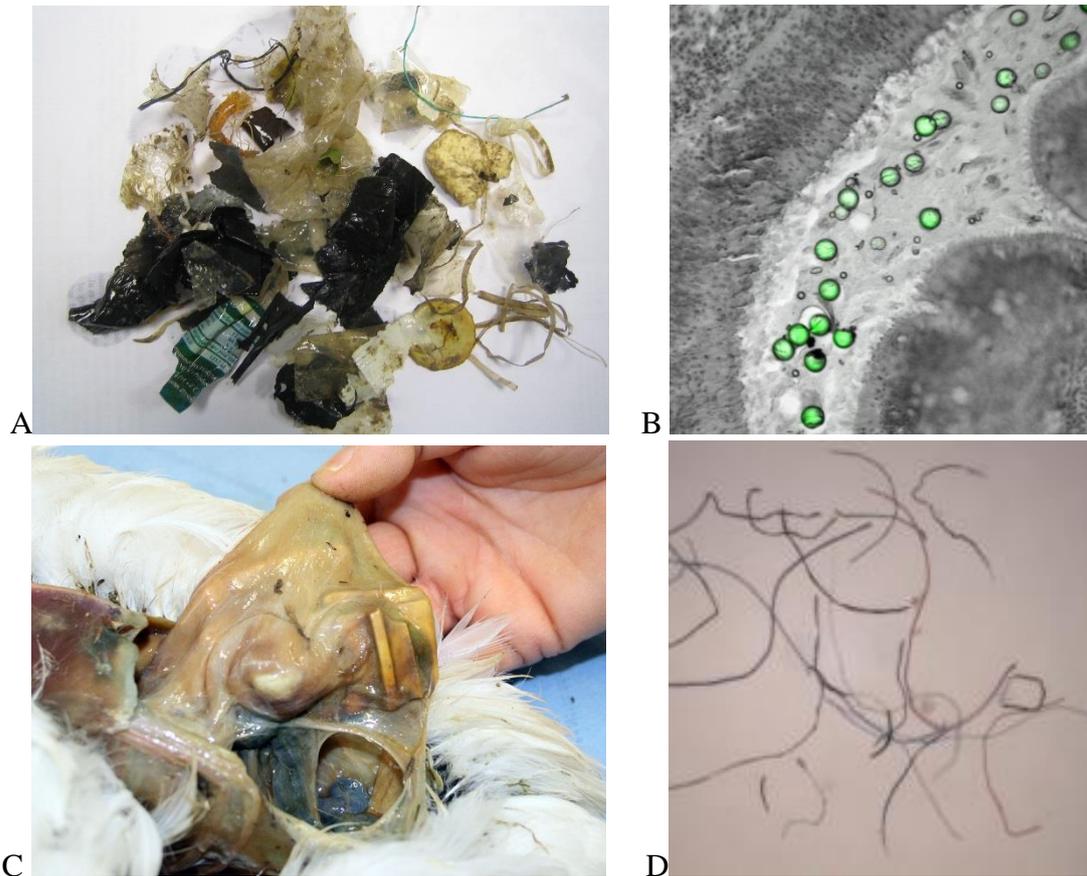


Figure 1: Déchets ingérés par les organismes marins de Méditerranée. (A) déchets excrétés par une tortue en centre de soins en Méditerranée française (espèce *Caretta caretta*, centre de soin CESTMed, crédit CESTMed). (B) Micro-plastiques mis en évidence par fluorescence lors d'une étude expérimentale du transit (in vitro) de microplastiques dans la glande digestive d'huitre (*Crassostrea gigas*) (Crédit A Huvet, IFREMER). (C) déchets ingérés par un fulmar Boréal de mer du Nord (*Fulmaris glacialis*, crédit J.Van Franeker, IMARES). (D) Fibres ingérées par un individu de l'espèce de poisson *Boops boops* prélevé aux îles Baléares (Crédit COB-IEO/Spain)

Les effets de la présence de déchets dans le tractus digestif peuvent être soit directs, soit indirects, à plus ou moins long terme.

Les fragments de plastique et d'autres matériaux anthropiques peuvent être directement responsables de la mort des tortues marines par occlusion du tube digestif ou du fait de lésions de la muqueuse digestive (UNEP/MAP, 2015a) lorsque le volume et la nature des déchets sont tels qu'ils bloquent tout transit et/ou perforent la paroi digestive. Sur le long terme, comme évoqué au paragraphe 3.1, la présence de déchets ingérés par les tortues peut avoir un certain nombre de conséquences sur leur santé, i.e. la croissance, la capacité à se déplacer ce qui dans ce cas peut avoir des répercussions sur leur aptitude migratoire et les chances d'échapper aux prédateurs, et enfin sur la reproduction. Teuten *et al.*, (2009) estime que la longue durée de rétention des déchets de plastique dans le tractus digestif peut provoquer la libération de substances chimiques toxiques (par exemple les phtalates, PCB) qui peuvent agir comme des perturbateurs endocriniens et peut donc compromettre la santé des individus et leurs différentes fonctions endocriniennes. On comprend ainsi à quel point l'ingestion de déchets peut affecter à la fois la survie individuelle mais aussi celle des populations de tortues marines, dont l'état de conservation est déjà très précaire du fait d'autres menaces anthropiques et naturelles.

Les espèces de tortues de mer ont des modes de vie qui varient selon les différents stades de développement. Elles peuvent ainsi fréquenter des domaines différents où elles se nourrissent de proies épipélagiques ou benthiques, dans les zones océaniques et néritiques. Au stade précoce de la vie, les tortues marines sont probablement essentiellement inactives, en surface mais au stade adulte, selon les espèces, elles peuvent exploiter le fond de la mer et la colonne d'eau pour s'alimenter (Casale *et al.*, 2012; Lazar et Graçan, 2012). On a observé que certaines caouannes adultes étaient fidèles à leurs aires d'alimentation néritiques qui peuvent être les mêmes que celles où elles ont été recrutées au stade juvénile (Casale *et al.*, 2012); elles sont ainsi susceptibles d'ingérer des déchets dans différents types d'habitats au cours de leur vie. Le passage de la phase pélagique à la phase néritique se produit en Méditerranée lorsque la longueur courbe de la carapace est d'environ 40 cm (Darmon *et al.*, 2014). Si certaines études ont rapporté que les jeunes tortues océaniques sont plus susceptibles d'ingérer des déchets que les grandes tortues, la plupart des résultats obtenus en Méditerranée ont montré que les spécimens adultes de caouanne présentaient des quantités plus élevées de déchets marins par rapport aux juvéniles (Campani *et al.*, 2013). Les individus adultes sont capables de distinguer les couleurs pour trouver de la nourriture, mais les adultes comme les jeunes ingèrent des matières plastiques «prélevées» sur la surface de la mer ou en sub surface. La tortue caouanne, *Caretta caretta*, présente une grande tolérance à l'ingestion des déchets anthropiques et l'espèce est généralement capable d'excréter ces objets (Casale *et al.*, 2012; Frick *et al.*, 2009). Camedda *et al.* (2014) ont observé que si les tortues marines excrétaient des matériaux anthropiques dans les fèces après plus d'un mois d'hospitalisation, la plupart des déchets sont expulsés dans les 2 premières semaines. Des études sur la durée de transit des substances dans le tractus gastro-intestinal des tortues caouannes ont démontré que les matériaux (comme des sphères de polyéthylène) sont expulsés en environ 10 jours (revue dans Darmon *et al.*, 2014). Par conséquent, ces auteurs concluent que compte tenu de la distance moyenne couverte en 10 jours par *C. caretta*, les déchets excrétés dans les bassins pendant l'hospitalisation sont susceptibles d'avoir été ingérés à une distance de moins de 120 km (Camedda *et al.*, 2014).

Les populations de tortues marines étudiées en Méditerranée sont plus touchées par l'ingestion de déchets que celles des autres régions du monde (revue dans Darmon *et al.*, 2014). Le tableau 2 présente les taux d'ingestion mesurés chez les tortues marines dans diverses régions de la Méditerranée. Chez les tortues marines autopsiées, les cas d'ingestion de déchets marins recensés en provenance de mer Adriatique (35,2%) semblent moins fréquents qu'en Méditerranée occidentale (79,7% pour l'Espagne) et centrale (51,5% pour Lampedusa). Toutefois ces chiffres peuvent être biaisés et sous-estimés, car le nombre d'échantillons pour certaines études est relativement faible, et les analyses datant de plusieurs années dans certaines zones, il est possible que les chiffres aient depuis évolué à la hausse (tableau 2). En France par exemple, on a observé une augmentation du taux d'ingestion avec le temps; en effet, les analyses effectuées dans le cadre de la DCSMM en 2016 mettent en évidence des taux d'ingestion en augmentation par rapport à celles effectuées plus tôt (tableau 2 et Darmon *et al.*, 2014). Entre 2003 et 2008, 35% des tortues autopsiées présentaient des déchets dans leur tractus digestif, alors qu'entre 2013 et 2016, on comptait 76% de taux d'ingestion.

Tableau 2 : Taux d'ingestion de déchets par les tortues marines (principalement *C. caretta*) en Méditerranée (UNEP/MAP 2015a, modifié d'après Darmon *et al.*, 2014). nd= non déterminé ; nc= non communiqué.

Zone	Date	taille (cm)	Nb morts	Avec déchets (%)	Nb* vivants	Avec déchets (%)	Total	Avec déchets (%)	Références
Sardaigne	2008-2012	21-73	30	20	91	12	121	14,04	Camedda <i>et al.</i> , 2013
Toscane	2010-2011	29-73	31	71	-	-	31	71	Campani <i>et al.</i> , 2013

Adriatique	2001-2004	25-79	54	35,2	-	-	54	35,2	Lazar & Gračan, 2011
Turquie	2001	-	-	-	-	-	65**	5	Kaska <i>et al.</i> , 2004
Espagne	nd	34-69	54	79,6	-	-	54	79,6	Tomas <i>et al.</i> , 2012 in UNEP/MAP, 2015a
Lampedusa	2001-2005	25-80	47	51,5	33	44,7	79	48,1	Casale <i>et al.</i> , 2008
Malte	1988	20-69	-	-	99	20,2	99	20,2	Grammentz, 1988, in UNEP/MAP, 2015a
France	2003-2008	nc	20	35	225	0,02	245	0,04	Claro & Hubert, 2011
France	2011-2012	nc	2	0	54	20,4	56	19,6	Dell'Amico & Gambaiani, 2012; UNEP/MAP, 2015a
France	2013-2016	25-65	23	75,6	36	41,7	59	54	Darmon & Miaud, 2016
Baléares	2002-2004	36-57	19	37,5	-	-	19	37,5	Revelles <i>et al.</i> , 2007
Linosa	2006-2007	26,7-69	-	-	-	-	32	93,5	Botteon <i>et al.</i> , 2012, in UNEP/MAP, 2015a
Italie/Espagne	2001-2011	-	-	-	155	50	155	50	Casini <i>et al.</i> , 2012, in UNEP/MAP, 2015a

*observations en centres de soins ; ** vivants et morts confondus

Poissons

L'ingestion des déchets par les poissons n'est pas aussi bien décrite que celle par les oiseaux ou tortues marines. Les poissons planctonophages se nourrissent dans des zones où se concentrent à la fois proies et plastiques. Boerger *et al.* (2010) ont montré que la nature des déchets ingérés par les poissons correspondait dans 35% des cas aux déchets présents dans leurs zones d'alimentation. Carson *et al.* (2013) ont démontré par ailleurs que les poissons prédateurs peuvent également confondre les déchets avec leurs proies, notamment si les objets sont allongés et de couleur bleue. Les taux d'ingestion peuvent dépasser 50% des individus, et de tels taux sont observés même dans les zones de faible présence de déchets comme les zones profondes de Méditerranée (Anastasopoulou *et al.* 2013). Dans le cas des micro-plastiques, il semble que les espèces omnivores présentent des taux d'ingestion plus élevés que les herbivores ou les carnivores (Mizraji *et al.*, 2017). Les poissons apparaissent cependant plus sélectifs que les tortues ou le plancton et les taux d'ingestion seraient liés aux comportements alimentaires, à l'agrégation des déchets, et aux contraintes de répartition (courants, advection), bien que cela doive être confirmé. Il semble par ailleurs qu'avec l'augmentation de taille du poisson, la sélectivité des déchets est plus importante et l'ingestion est moins passive ou accidentelle. Les requins font partie des espèces de poissons affectées par les déchets. Cependant on n'observe qu'une faible occurrence, inférieure à 0,5% des 15 600 individus de 14 espèces étudiées dans l'océan mondial (Gregory., 2009). Les déchets ingérés sont principalement des fragments de plastique et des objets issus de la pêche.

En Méditerranée, l'impact des déchets sur les poissons varie considérablement en fonction des compartiments écologiques qu'ils exploitent. Les taux d'ingestion sont également variables selon les espèces (tableau 3).

Typiquement, *Boops boops*, les Myctophidés, *Schedophilus ovalis* et *Naucrates ductor* sont parmi les espèces les plus fortement touchées (Deudero *et Alomar*, 2014 ; Nadal *et al.*, 2016) mais la possibilité d'échantillonnage de ces espèces n'est pas homogène dans le contexte d'une surveillance. Récemment, Teresa *et al.* (2015) ont identifié que les thons (*Thunnus thynnus*) et espadons (*Xyphias gladius*) de Méditerranée étaient également affectés et ingéraient des micro-

(<5 mm) et méso-plastiques (5 à 25 mm), ainsi que, dans plus de 18% des échantillons, de plus grands plastiques (>25 mm). De même, les requins peuvent ingérer des macro-déchets (NOAA, 2014), et même des micro-plastiques dans le cas des requins pélerins (*Cetorhinus maximus*) qui se nourrissent par filtration (Fossi *et al.*, 2014).

Tableau 3: prévalences d'ingestion de macro et micro-déchets chez les individus de diverses espèces de poissons présents en Méditerranée d'après les études publiées entre 1998 et 2016.

ESPECES	HABITAT	PREVALENCE (%)	REFERENCES
<i>Balistes carolinensis</i>	nectobenthique	14	Deudero, 1998
<i>Boops boops</i>	nectobenthique	29	Deudero and Alomar, 2014
<i>Cetorhinus maximus</i>	pélagique	83	Fossi <i>et al.</i> , 2014
<i>Coryphaena hippurus</i>	pélagique	6, 7	Deudero, 1998; Massuti, 1998
<i>Etmopterus spinax</i>	benthique	6, 8	Madurell, 2003; Anastasopoulou <i>et al.</i> , 2013
<i>Galeus melastomus</i>	nectobenthique	3, 13	Madurell, 2003; Anastasopoulou <i>et al.</i> , 2013
<i>Helicolenus galepterus</i>	nectobenthique	2	Madurell, 2003
<i>Mullus sp. (Portugal)</i>	nectobenthique	64-100	Neves <i>et al.</i> , 2015
<i>Myctophum punctatum</i>	pélagique	100	Collignon <i>et al.</i> , 2012
<i>Naucrates ductor</i>	pélagique	18	Deudero, 1998
<i>Polyprion americanus</i>	pélagique	55	Deudero, 1998
<i>Pteroplatytrygon violacea</i>	nectobenthique	50	Anastasopoulou <i>et al.</i> , 2013
<i>Sardina pilchardus</i>	pélagique	0-19	Neves <i>et al.</i> , 2015; Avio <i>et al.</i> , 2015;
<i>Schedophilus ovalis</i>	pélagique	50	Deudero, 1998
<i>Seriola dumerilii</i>	pélagique	2	Deudero, 1998
<i>Squalus blainville</i>	pélagique	1	Deudero, 1998
<i>Thunnus alalunga</i>	pélagique	32,4	Romeo <i>et al.</i> , 2015
<i>Thunnus thynnus</i>	pélagique	12,9	Romeo <i>et al.</i> , 2015
<i>Trachurus sp.</i>	nectobenthique	1	Anastasopoulou <i>et al.</i> , 2013
<i>Xyphias gladius</i>	pélagique	12,5	Romeo <i>et al.</i> , 2015

Une étude, à l'échantillonnage conséquent d'individus, a été menée en Atlantique sur des espèces de poissons que l'on trouve aussi en Méditerranée (Neves *et al.*, 2015). Les résultats confirment l'intérêt en tant qu'espèces indicatrices de *Boops boops* (9% des individus affectés sur 32 individus) et dans une moindre mesure de l'espèce *Trachurus trachurus* (7% sur 44 individus). Par ailleurs, les espèces *Scomber sp.* (31% des individus affectés), *Scyliorhinus sp.* (12% des individus affectés sur 17) et *Trigla lyra* (19% des individus affectés) présentent des taux d'ingestion significatifs permettant de montrer leur potentiel d'indicateur en vue d'une surveillance. Parmi les espèces largement échantillonnées, certaines comme la sardine (*Sardina pilchardus*) présentent des taux d'ingestion très variables.

Plus récemment Bella *et al.* (2016) mesure les taux d'ingestion des micro-plastiques par les espèces démersales en Atlantique et Méditerranée. Sur 212 individus appartenant aux trois espèces *Scyliorhinus canicula* (roussette), *Merluccius merluccius* (merlu) et *Mullus barbatus* (surmulet ou rouget) les prévalences sont respectivement de 15.3%, 16;7 % et 18.8%; la taille des micro-plastiques ingérés varie de 0.38 à 3.1 mm. Ces espèces, régulièrement utilisées comme bioindicateurs, pourraient faire l'objet d'un dispositif de collecte basée sur une pêche commerciale et/ou scientifique.

Les travaux de Neves *et al.* (2015) montrent enfin une prévalence d'ingestion de déchets de 64 à 100% selon l'espèce du genre *Mullus sp.*. De même, les travaux effectués en laboratoire montrent qu'une espèce comme *Dicentrarchus labrax* est susceptible d'ingérer des déchets (Peda *et al.*, 2016) mais aucune étude n'a été effectuée *in situ* sur cette espèce. En raison de leur intérêt commercial et de leur large répartition en Méditerranée, ces deux dernières espèces

mériteraient davantage d'attention en vue d'une surveillance.

Invertébrés

Les micro-plastiques sont ingérés activement ou passivement. Les poissons et certains invertébrés semblent ingérer activement les micro-plastiques parce qu'ils ne les distinguent pas du plancton ou de leur nourriture. Les travaux en laboratoire (Cole *et al.*, 2013) ont montré que la prise active était cependant rare chez les organismes du plancton, ceux-ci ingèrent en effet des particules de micro-plastique passivement, comme le font les cétacés filtreurs.

La majorité des impacts des déchets sur les invertébrés ont été démontré en laboratoire, parfois à des doses élevées qui ne correspondent pas forcément aux concentrations trouvées dans le milieu naturel.

Les différentes études ont mis en évidence une ingestion de déchets sur plusieurs taxons d'invertébrés benthiques comme les annélides (arénicoles), les mollusques (Mytilidés, Ostréidés, Vénéridés, Pectinidés), les crustacés ainsi que les échinodermes (GESAMP, 2015; Wesch *et al.*, 2016). Les données sont plus rares concernant les espèces de haute mer et de surface mais l'ingestion a été observée également chez des méduses (Paradinas, 2016) et certains crustacés (copépodes Calanidés, Euphausiacées). D'une manière générale, les espèces sédentaires à mode d'alimentation détritivore ou filtreur (*Mytilus galloprovincialis*, holothuries, *Talitrus saltator*) sont plus exposées que les autres à l'ingestion de déchets. Ces dernières présentent par conséquent un certain intérêt pour mieux comprendre les préjudices subis par les espèces d'invertébrés du fait de l'ingestion de déchets. Les taux élevés de filtration peuvent typiquement expliquer que l'on observe de forts taux d'ingestion de micro-plastiques chez ces espèces. Ainsi, dans le cas de *M. galloprovincialis*, on a pu dénombrer des quantités de micro-plastiques allant de 0.04 à 0.34 particules par individu en Méditerranée (Van Cauwenberghe *et al.*, 2015, Vandemeerssh *et al.*, 2015). De même, les espèces d'intérêt commercial comme les huîtres ou les moules sont importantes car elles permettent à la fois de mesurer des taux d'ingestion sur des espèces d'élevage et d'évaluer des risques liés à la consommation humaine.

En laboratoire, la taille des microparticules ingérées par des mollusques est de l'ordre de 80 µm, mais elle est bien que plus faible en milieu naturel (Wesch *et al.*, 2016). Lorsque les microparticules sont des particules de polystyrène, on constate une augmentation de la dépense énergétique (Van Cauwenberghe *et al.* (2015). Pour ces espèces et pour les copépodes, on a pu également observer qu'à de fortes concentrations, les microparticules ingérées affectent la fertilité et l'alimentation (Wegner *et al.*, 2012, Cole 2013, Sussarellu *et al.*, 2015).

La sensibilité à l'ingestion de micro-plastiques est forte dans le cas des détritivores qui ingèrent de nombreuses particules de sable (Graham and Thompson, 2009). L'ingestion de micro-plastiques a été également démontrée chez différents carnivores, parfois présents en Méditerranée, comme les crabes (revue par Wesch *et al.*, 2016), la crevette *Crangon crangon* (Cole *et al.*, 2013; Devriese *et al.*, 2015) et la langoustine *Nephrops norvegicus* (Murray and Cowie, 2011). Malgré des études suggérant un transfert trophique en laboratoire (Farrell and Nelson, 2013), ce mécanisme reste cependant hypothétique en milieu naturel.

3.3 Surveillance de l'ingestion des déchets marins par les organismes marins

La surveillance de l'ingestion des déchets est une tâche complexe, avec des enjeux de plus en plus importants, en raison d'une part de la quantité grandissante des déchets en mer, et d'autre part des résultats récents montrant un nombre important d'espèces affectées, y compris par les micro-plastiques.

L'identification des interactions entre les déchets marins et la faune dépend fortement des méthodes de collecte de données. La plupart des données sur les poissons, les tortues et les cétacés sont fournies par l'analyse des contenus digestifs des individus échoués ou capturés

accidentellement, mais ils reflètent seulement une faible part des interactions réelles qui peuvent survenir. Le taux d'interaction des organismes marins avec les déchets marins et leur impact sur les populations d'espèces marines est difficile à quantifier. On trouve en général dans la littérature des pourcentages d'animaux ayant ingéré des déchets marins par rapport au nombre de spécimens qui ont pu être autopsiés, mais il reste une proportion inconnue d'animaux marins morts qui ne peut être prise en compte (mortalité en mer, consommation par les prédateurs, état de décomposition de la carcasse trop avancé etc.). Il existe donc un besoin urgent à développer de nouvelles méthodes pour évaluer de façon non biaisée les taux de mortalité et les effets sur la dynamique des populations des espèces touchées. Les approches existantes et la mise en place de réseaux de surveillance n'échappent pas un certain nombre de contraintes, à la fois biologiques, méthodologiques, environnementales, logistiques et éthiques.

Les contraintes biologiques

Le choix d'une bonne espèce cible ou indicatrice est un élément majeur de la stratégie de surveillance. Ce choix dépend de divers facteurs qui peuvent être très contraignants.

- a. L'espèce choisie doit avoir une large répartition pour permettre une comparaison entre les sites à grande échelle. Afin de faciliter l'interprétation des résultats de la surveillance, une espèce à large répartition méditerranéenne est donc nécessaire.
- b. L'espèce doit être sensible aux déchets et en ingérer des quantités significatives et suffisantes pour que les mesures soient comparables. De faibles taux d'ingestion et de faibles quantités de déchets ingérés rendent les échantillonnages et les comptages difficiles.
- c. Les mécanismes d'ingestion et d'impact doivent être connus. Il est par exemple important de disposer de connaissances de base telles que durée de transit intestinal, nature des objets ingérés etc., pour permettre une interprétation rationnelle des résultats et une optimisation des protocoles. L'interprétation de données collectées uniquement sur des individus trouvés morts ou placés en centre de soins (tortues) peut constituer un biais. En effet, ces tortues se sont échouées du fait d'une pathologie aiguë ou chronique, reliée ou non à une interaction avec des déchets directe ou indirecte (désordres de l'appétit-pica chez des animaux souffrant depuis longtemps).

Le tableau 4 résume les principales contraintes identifiées récemment en vue d'une définition pertinente du Bon Etat Ecologique (BEE) pour les tortues marines (Claro et al., 2014).

Tableau 4: Paramètres et contraintes biologiques pertinents en vue de la définition du Bon Etat Ecologique, concernant l'ingestion des déchets par les tortues marines (adapté de Claro et al., 2014).

Paramètre / contrainte	Pertinence	Considérations	Possibles biais	Besoin de connaissance
Sexe	?	Différences de régime alimentaire possibles selon le sexe et le stade de reproduction (avant ou après la ponte, etc.)	Influence mal connue du sexe sur le niveau d'ingestion des déchets (2 études)	OUI

Taille, stade de développement, population d'origine	OUI	Le niveau d'ingestion dépend du mode d'alimentation qui est lié à la taille, elle-même dépendante de l'origine (atlantique, méditerranéenne) des individus	Selon la structure et l'origine de la population échantillonnée	OUI
habitat	OUI	Selon le stade de développement, l'habitat et les ressources disponibles, les individus s'alimentent dans un habitat néritique, pélagique ou les deux avec des niveaux de concentration en déchets variables.	La valeur de l'indicateur est affectée par l'habitat exploité par les tortues échantillonnées dans une région donnée	OUI
Etat de santé	OUI	Possible différences d'ingestion entre les individus morts de façon soudaine (collision, capture accidentelle) et les individus échoués	Les animaux, s'ils ont été malades longtemps avant leur échouage, peuvent avoir excrété tout ou partie des déchets ingérés, alors que les individus morts soudainement n'en ont pas eu le temps.	OUI
Capacité de déplacement/ durée du transit digestif	NON	L'ingestion est soumise aux quantités de déchets présentes dans les zones de vie ou celles traversées au cours des migrations. Les mouvements des tortues (vitesse, distance parcourue) et la durée de transit intestinal ne sont pas constants.	Erreur possible d'interprétation si l'échelle de mesure de l'impact de déchets par ingestion n'est pas la bonne	Caractérisation nécessaire des aires biologiques de répartition et des migrations

Dans une étude approfondie sur l'ensemble des travaux publiés et basés sur l'analyse de spécimens échoués morts ou vivants, Casale *et al.* (2016) considèrent que les taux d'ingestion sont soumis à de nombreux facteurs comme la zone d'origine, la date d'échouage, l'état de santé ou la durée de maintien en captivité. Dans ces conditions, les auteurs suggèrent que l'agrégation de données engendre une perte d'homogénéité des données dont il convient de tenir compte. Pour ces auteurs, la surveillance devrait considérer exclusivement les individus qui ont vécu dans des conditions naturelles (alimentation, etc.) afin de faciliter l'interprétation des résultats et des tendances.

- d. D'autres données de base doivent être disponibles pour préciser la sensibilité des espèces et les conditions d'interprétation des mesures, comme par exemple les relations « ingestion/âge » ou « ingestion/ taille », la sensibilité des différents stades de développement, etc.
- e. Les déplacements des animaux, s'ils existent (espèces migratrices notamment), doivent être limités pour que l'échelle spatiale des mesures puisse être précisée.
- f. Les composants cibles de l'échantillonnage doivent être clairement définis et pertinents. Dans le cas de petites espèces ingérant des micro-plastiques par exemple, ces

composants peuvent être l'animal entier, l'organe digestif total ou des éléments des structures digestives (œsophage, estomac, intestin, etc.).

- g. La prise en compte des excréta peut être une bonne stratégie, notamment pour les animaux maintenus en centre de soins ou en bassins.
- h. L'information scientifique doit être accessible et acceptée/ reconnue par la communauté scientifique.

Les contraintes méthodologiques

Le choix des protocoles adaptés repose sur plusieurs contraintes :

- a. La disponibilité de protocoles éprouvés est essentielle.
- b. La nécessité de développer des protocoles inter calibrés peut prendre des années, ce qui limite le développement d'une surveillance harmonisée. Il convient de disposer de protocoles référencés, testés, comparés et validés par la communauté des spécialistes.
- c. L'existence de biais dans les mesures doit interdire l'utilisation d'un protocole. L'exemple des micro-plastiques est à ce titre important. Il existe de nombreuses études montrant des résultats très variables selon les tailles de particules considérées. Dans certains échantillons, on a pu en effet confondre des fibres naturelles organiques non anthropiques avec des micro-plastiques en raison de l'impossibilité de confirmer la nature plastique de certaines petites particules, ou encore à cause de la possible contamination des échantillons par des fibres lors du conditionnement (GESAMP, 2016). Ces travaux montrent les limites du développement ou de la validation de protocoles adaptés à la mesure de micro-plastiques ingérés par diverses espèces. Seule la prise en compte de particules de grande taille pouvant être caractérisées chimiquement devrait être considérée dans le contexte des connaissances actuelles.
- d. Les procédures de conservation (congélation, fixation, élimination des composants organiques des échantillons, etc.) ne doivent pas être destructives pour les plastiques.
- e. La bancarisation commune des données, selon des procédures reconnues et validées, doit être organisée.
- f. La reproductibilité et la représentativité doivent être garanties par l'adoption de procédures opérationnelles standardisées et sous assurance qualité. D'une manière générale, ces approches standardisées ne sont pas très développées pour la surveillance harmonisée de l'ingestion. De même, les documents de référence et guides méthodologiques ne sont pas assez largement diffusés et utilisés à ce jour.
- g. La normalisation, étape ultime de développement d'un protocole, est un objectif dans le contexte de la surveillance de l'indicateur candidat 24

Dans une analyse récente des travaux publiés entre 1949 et 2015 sur l'ingestion des débris par la macrofaune, (Provencher et *al.*, 2017) il a été noté l'importance de la standardisation des méthodes. Si le nombre d'études est différent selon les espèces cibles considérées, les métriques utilisées sont communes. L'utilisation de la fréquence d'observation des ingestions, appelée pourcentage de fréquence ou prévalence, est l'approche la plus commune. Pour tous les groupes, le nombre d'objets ingérés et leurs masses sont également très utilisées, avec une tendance récente à évaluer les valeurs moyennes de densité ou de poids des déchets ingérés. Les couleurs et les tailles des objets sont cependant moins considérés. Pour ces auteurs, les nécropsies d'animaux échoués, collectés pour d'autres travaux, trouvés morts et pêchés accidentellement sont les méthodes de collectes les plus fréquentes. Dans le cas des tortues, le maintien en centre de soin est une source de données significative.

Les contraintes environnementales

- a. Les données doivent être représentatives de l'état de l'environnement et du Bon Etat

Ecologique (BEE).

- b. La signification des résultats est importante. L'établissement d'un diagnostic pour les mortalités, les pathologies et l'état physiologique des individus affectés doivent être possibles afin d'éviter les seuls comptages de déchets ingérés sans informations sur les effets létaux ou sub-létaux associés.
- c. Les résultats doivent permettre de discriminer des zones selon leur niveau de pollution.
- d. Les résultats doivent permettre de répondre à différents types d'objectifs selon le type de déchets. Ainsi la catégorisation des déchets et le choix d'une espèce indicatrice diffèreront selon la taille des déchets auxquels on s'intéresse (micro-plastiques ou macro-déchets), et selon leur nature (plastique, métal, etc.). Cette contrainte est particulièrement importante en perspective de la définition des mesures à prendre sur un type particulier de déchets dans le cadre des mesures de réduction envisagées par le plan d'action déchets marins. Dans ce cas, la stratégie visera à choisir une espèce cible adaptée (tortues/ emballages plastiques; filtreurs/micro-plastiques, etc.).

Les contraintes logistiques

Les aspects logistiques et les infrastructures existantes ne doivent pas être négligés car ils conditionnent en grande partie le développement de la surveillance.

- a. Les coûts: échantillonner en zone profonde des espèces à étroite distribution peut s'avérer très onéreux. Si les données obtenues au cours de la surveillance peuvent présenter un intérêt scientifique, la pérennisation de la collecte de données ne peut s'envisager que si son coût est raisonnable et si les conditions d'échantillonnage sont les plus simples possible.
- b. Une approche opportuniste utilisant les réseaux de surveillance existants peut être une alternative intéressante. A titre d'exemple, l'échantillonnage systématique des stocks de poissons associé à une analyse régulière des contenus stomacaux des espèces d'intérêt commercial, est une opportunité intéressante pour la surveillance de l'ingestion des micro-plastiques par les espèces marines. De la même manière, l'existence de réseaux d'échouage et d'observation structurés, collectant de manière simple et routinière les échantillons sur les spécimens morts de tortues, d'oiseaux ou de cétacés, constitue une opportunité favorable au suivi des déchets ingérés par la faune marine.
- c. L'accessibilité est une contrainte importante dans le contexte de la surveillance et le choix d'une espèce très accessible peut s'avérer judicieux. Il est préférable de favoriser un échantillonnage en zone très affectée par les déchets, et/ou à forte abondance des espèces sensibles aux déchets. L'échantillonnage sur les plages, apparaît par exemple comme une approche simple, que ce soit pour le suivi de l'ingestion de déchets par les espèces qui s'échouent, ou pour suivre les effets des micro-plastiques par les espèces inféodées à ce milieu (Ugolini et *al.*, 2013).
- d. Dans le cas des tortues marines, l'existence de centres de soins permet d'avoir à disposition des individus vivants faisant l'objet d'analyses vétérinaires approfondies (radiologie etc.), ainsi que des excréta de déchets que l'on peut analyser. Il s'agit d'une approche complémentaire de la collecte de données d'ingestion sur les animaux morts.
- e. Sur le plan logistique, l'existence de bonnes pratiques et d'approches communes, doit favoriser la comparabilité des résultats et leur harmonisation.

Les contraintes de conservation et réglementaires

L'intérêt de la surveillance peut rejoindre les objectifs de conservation des gestionnaires et ne doivent pas être négligés.

- a. Il est peut-être intéressant, dans le contexte d'une surveillance continue à l'échelle de la

Méditerranée, de considérer l'ingestion des déchets par des espèces rares, même en cas de répartition étroite et de faibles effectifs des populations (cas des phoques moine *Monachus monachus* par exemple). En effet, l'analyse opportuniste d'individus morts peut apporter des données utiles pour suivre la tendance des populations dans le temps et être représentative d'une sous-région particulière. Dans ces conditions, les modalités de surveillance doivent être adaptées (durée, évaluation des tendances) et considérés à très long terme.

- b. Le statut de protection des espèces doit être examiné avant de les inclure dans un programme de surveillance. Dans le cas des espèces protégées, l'échantillonnage par destruction des individus est interdit et les interventions sur les spécimens vivants (autopsies comprises) peuvent faire ou non l'objet de dérogations selon les dispositions réglementaires prises au plan national.

3.4 Sélection des approches et des espèces pour la surveillance de l'ingestion

En l'état actuel des connaissances et si l'on considère uniquement la Méditerranée, il est recommandé de choisir des approches différentes selon les espèces, les compartiments du milieu marin ou la nature des déchets considérés:

- Sur la base des expertises accessibles et des informations disponibles, l'approche utilisant la surveillance de l'ingestion des déchets par les tortues marines est cohérente et compatible avec l'ensemble des contraintes existantes. Elle correspond par ailleurs à l'approche choisie récemment dans la zone sud OSPAR. En Méditerranée, l'espèce cible est l'espèce de tortue marine la plus commune, i.e. *Caretta caretta*, à large répartition dans la mer Méditerranée et pour laquelle de nombreuses informations et certaines infrastructures de surveillance sont déjà disponibles. Le potentiel de développement d'un réseau de surveillance correspond aux besoins exprimés par les parties contractantes. Il convient d'encourager l'utilisation de *Caretta caretta* comme l'espèce la plus représentative pour surveiller l'indicateur candidat 24 concernant l'ingestion des déchets pour une surveillance à l'échelle du bassin.

- L'utilisation de cétacés échoués ne peut se concevoir que sur une base opportuniste et à l'initiative de chaque partie contractante disposant de réseaux existants de suivi des animaux échoués. Ces espèces indicatrices ne peuvent être adoptées dans le cadre d'une démarche volontaire de surveillance à l'échelle du bassin Méditerranéen en raison de la faible abondance des organismes échoués, des faibles taux d'ingestion de déchets relevés à ce jour, et de l'impossibilité de maintenir des animaux blessés en centre de soins.

- Il existe des protocoles adaptés au suivi de l'ingestion par les oiseaux. Ces protocoles étant utilisés en mer du Nord (Van Franeker *et al.*, 2011), sur des espèces de cette région septentrionale, des travaux sont encore nécessaires pour un développement en Méditerranée. Les espèces indicatrices abondantes à l'échelle de la Méditerranée pour lesquelles les protocoles pourraient être mis en œuvre restent à identifier avant toute considération de ces espèces en vue d'une surveillance.

- Le suivi de l'ingestion des micro-plastiques par les poissons ou invertébrés présente un gros potentiel pour le développement de la surveillance de l'ingestion des déchets en Méditerranée. Celui-ci nécessite cependant des travaux complémentaires afin de mettre au point un protocole rigoureux excluant les risques de contamination et de faux positifs, comme la présence de fibres naturelles. Les infrastructures de surveillance existantes devraient favoriser le développement de réseaux et tirer parti des campagnes régulières d'analyse de contenus stomacaux déjà en place dans certains pays riverains, ou encore de l'existence de réseaux de mesure de la contamination chimique utilisant des moules (« mussel watch »). Ces dispositifs pourraient fournir les

échantillons nécessaires à une surveillance régulière et organisée des micro-plastiques ingérés. A ce stade de développement, nous encouragerons la mise en œuvre de travaux complémentaires pour rationaliser une méthode de mesure des déchets adéquate et normalisée. Pour des études pilotes ou des travaux de recherche approfondis, les espèces communes à large répartition, de pêche aisée, et sensibles aux micro-déchets doivent être considérées en priorité. Parmi ces espèces on peut citer les poissons nectobenthiques les plus affectés (*Boops boops*) ou présentant un intérêt commercial important (*Mullus sp.*, *Trigla sp.*, *Dicentrarchus labrax*) et l'espèce pélagique *Scomber sp.*. La moule *Mytilus galloprovincialis*, espèce benthique et suspensivore, bioindicateur classiquement utilisé en surveillance, doit pour sa part faire l'objet d'études complémentaires afin de disposer des bases scientifiques et techniques qui permettront de l'utiliser dans le cadre d'une surveillance opérationnelle.

En conclusion, la recherche d'autres espèces indicatrices ne doit pas être négligée mais leur application à la surveillance ne saurait s'affranchir des diverses étapes de validation. Par ailleurs, un besoin spécifique particulier d'une ou plusieurs parties contractantes peut amener à des choix stratégiques plus spécifiques. A titre d'exemple, le choix d'une surveillance de l'impact des déchets dans le milieu profond nécessitera le choix d'espèces adaptées. Dans ce cas, les programmes existants de chalutage d'espèces démersales serait une solution adaptée.

4 Emmêlement, étranglement

4.1 Etat de l'art

En 2015, 340 publications originales ont recensé des interactions entre les organismes et les déchets marins correspondant à l'emmêlement (Gall et Thompson, 2015). Les oiseaux représentaient près de 35% des espèces emmêlées suivis par les poissons (27%), les invertébrés (20%), les mammifères (presque 13%) et les reptiles (près de 5%). Parmi les espèces décrites, les pinnipèdes et les tortues marines sont les espèces sur lesquelles les occurrences d'impacts sont les plus élevées (NOAA, 2014), ces dernières pouvant l'être jusque sur les plages en période de ponte.

D'après le PNUE (2016), les incidents d'enchevêtrement conduisent à des blessures ou mortalités, par nombre décroissant d'espèces touchées par taxon, chez 192 espèces d'invertébrés, 89 espèces de poissons, 83 espèces d'oiseaux, 38 espèces de mammifères et la totalité des espèces de tortues (7).

Les dauphins et autres cétacés sont souvent pris par le cou et les nageoires lorsqu'ils s'emmêlent dans des déchets marins (Kuhn *et al.*, 2015). D'une manière plus générale pour les cétacés, les facteurs qui peuvent contribuer à l'emmêlement ou à l'étranglement des organismes dans les engins de pêche abandonnés ou les déchets incluent (1) la présence d'organismes dans ou à proximité des filets (2) la turbidité de l'eau rendant les déchets et engins moins visibles; (3) le bruit ambiant dans l'environnement marin, qui peut masquer ou brouiller les échos produits par les engins de pêche, et (4) la capacité de détecter les filets par écholocation. En outre, le manque d'expérience des individus juvéniles ou immatures peut les rendre plus vulnérables à une capture dans les filets maillants.

Dans certains cas, l'emmêlement peut conduire à des déformations (constriction d'une partie du corps chez un individu en croissance par exemple; Gregory, 2009). Les oiseaux sont pris par leurs becs, les ailes ou les pattes, ce qui limite leur agilité, leur capacité à voler et prendre la nourriture. Certaines espèces, notamment les requins, également très sensibles à ce type d'impact (NOAA, 2014) peuvent ne plus pouvoir ouvrir leurs mâchoires.

Les organismes benthiques peuvent être également pris par des pièges ou des objets sur les fonds. Typiquement, les crabes, poulpes, poissons et de nombreux petits invertébrés sont pris dans les pièges sur les fonds et meurent de stress, de blessures, ou en raison d'un jeûne prolongé (revue dans Kuhn *et al.*, 2015).

Les lignes de pêche à mono-filament abandonnées sont peut-être les déchets les plus dangereux, car ils peuvent représenter jusqu'à 45% des emmêlements observés (<http://www.monachus-guardian.org/mguard21/2121covsto.htm>). En fait, les engins de pêche abandonnés, qui comprennent les lignes de pêche, filets, orins, et les pièges et nasses à crabe/homard/poisson, représentaient 72% de toutes les observations d'emmêlement. Ces engins perdus peuvent avoir un impact sur l'environnement de nombreuses et différentes façons, y compris (i) la poursuite de la capture des espèces cibles, (ii) la capture de poissons et crustacés non ciblés, et de toute autre espèce, (iii) l'emmêlement de tortues, mammifères, oiseaux et poissons de mer dans des filets perdus et des déchets, et (iv) l'impact physique des engins sur l'environnement benthique (Ayaz *et al.*, 2006; Mac Fayden *et al.*, 2009). Les facteurs qui compliquent l'analyse des données d'emmêlement ont été décrits dans le projet FANTARED (cité dans UNEP/MAP, 2005a; Tableau 5).

Tableau 5: facteurs influençant l'analyse des tendances d'emmêlement de la faune en mer (adapté d'UNEP/MAP, 2015).

Détection	Echantillonnage et biais de détection
L'emmêlement se produit par des événements isolés répartis sur une large aire de répartition.	Pratiquement aucun échantillonnage direct et systématique n'a été effectué et il y a peu d'études menées sur le long terme
Les déchets responsables d'étranglements ne sont pas toujours identifiables en mer car peu ou partiellement visibles	Méthodes d'échantillonnage inadéquates et à améliorer
Les animaux morts sont difficiles à voir car flottant sous la surface et parfois pris dans les déchets	Les échouages représentent une partie inconnue du nombre total d'emmêlements.
Les animaux emmêlés disparaissent après leur mort en coulant ou par prédation.	Les comptages d'animaux échoués ne prennent pas en compte les animaux survivants, et pris dans des petits déchets
	Les animaux emmêlés passent plus de temps à se nourrir en mer qu'au bord du rivage
	Certains emmêlements reflètent des interactions avec des engins de pêche actifs plutôt que des filets perdus
	De nombreuses observations ne sont pas déclarées, publiées ou le sont de manière anecdotique.
	Peu de données disponibles avant les années 1980

En Méditerranée, il existe un manque général de données. L'emmêlement a été décrit pour les cétacés, les pinnipèdes les tortues marines, les oiseaux, les poissons, y compris les requins, ainsi que sur de nombreux invertébrés, (Galgani *et al.*, 1996; UNEP/MAP, 2005a, Cedrian, 2008; Rodriguez *et al.*, 2013; Bo *et al.*, 2014; Tubau *et al.*, 2015; Colmenero *et al.*, 2017). Comme l'ont montré les travaux récents, les engins perdus ou les déchets en général peuvent également endommager les habitats et organismes benthiques, y compris les espèces profondes de Méditerranée comme les éponges, les gorgones ou les coraux froids (Pham *et al.* 2014; Fabri *et al.*, 2014).

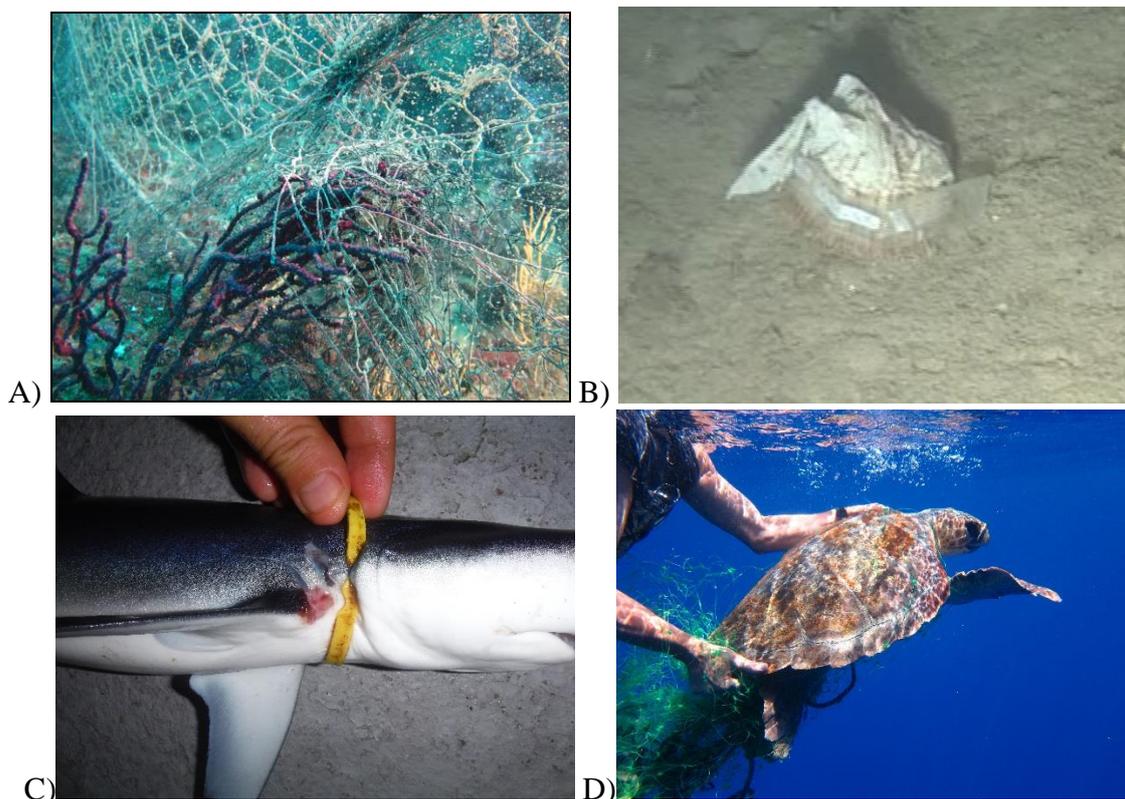


Figure 2: Etranglement/emmêlement d'organismes marins. (A) Enchevêtrement dans un filet de pêche fantôme d'une gorgone *Paramuricea* sp. (crédit M. Matiddi, after Werner et al., 2017); (B) oursin couvert par deux feuilles de plastique (crédit F. Galgani, non publié), (C) Requin (*Prionace glauca*) étranglé dans un cerclage de plastique (crédit M. P. Salinas, d'après Comenero et al., 2017)(D) Tortue emmelée dans un filet perdu (crédit Alnitak)

L'incidence de l'emmêlement peut varier fortement selon les régions, mais aussi d'autres facteurs. Une étude menée par Rodriguez *et al.* (2013), sur les fous de Bassan (*Morus bassanus*) met en évidence une incidence différente entre l'Atlantique et l'ouest de la Méditerranée en fonction des activités de pêche avec lesquelles ces oiseaux interagissent, mais également selon l'âge, les immatures semblant plus sensibles que les adultes.

Le jeûne est l'une des conséquences fréquente de l'emmêlement, de même que l'impossibilité de se déplacer, donc d'échapper aux prédateurs; il conduit aussi à des blessures, et secondairement à des infections et parfois à des amputations lorsqu'une constriction prolongée empêche la circulation sanguine d'irriguer les membres (NOAA, 2014).

Certains organismes marins, lorsqu'ils sont capturés dans des engins de pêche actifs (cordages, filets et lignes), peuvent les arracher en tentant de se libérer, et continuer à se déplacer avec des fragments d'engin autour de leur corps. Ils peuvent alors emporter ces morceaux d'engin sur des distances considérables. Il n'est dans ce cas pas évident pour l'observateur de distinguer si l'animal s'est emmêlé dans un déchet existant ou dans un engin de pêche initialement actif.

Une surveillance des impacts relatifs aux étranglements doit permettre de distinguer l'impact des déchets de celui des filets actifs. Les difficultés actuelles d'interprétation des données, le nombre relativement faible d'animaux échoués actuellement recensés et les problèmes associés à l'évaluation des risques à grande échelle en raison de la rareté des échouages, indiquent clairement que cette approche ne peut être raisonnablement appliquée qu'à des espèces particulières pouvant être très affectées localement, notamment dans les zones d'intense activité de pêche, ou de forte présence de déchets ou d'abondance d'espèces sensibles (i.e. zones de ponte de tortues ou zones protégées à forte diversité) (MFSD TSGML, 2013; UNEP/MAP, 2015a).

La recherche scientifique peut contribuer à l'élaboration de nouveaux indicateurs de l'emmêlement, plus spécifiques. Les travaux de Votier *et al.* (2011) par exemple ont conduit à l'élaboration, actuellement en cours, de lignes directrices pour le suivi des déchets présents dans les nids d'oiseaux de mer, en tant que source d'emmêlement pour les oisillons, ces déchets ne pouvant provenir d'engins de pêche actifs (Van Franeker, *communication personnelle*). Même si des travaux de recherche complémentaires sont nécessaires pour préciser les saisons de reproduction et les types de déchets apportés dans les nids par les oiseaux marins, ainsi que la description des comportements qui conduisent à ce phénomène, des espèces comme le Cormoran huppé (*Phalacrocorax aristotelis*) sont prometteuses comme espèce indicatrice dans la surveillance en Méditerranée (figure 3). Cette espèce est très commune dans tout le bassin et niche dans les zones côtières de la plupart des pays de la Méditerranée. L'approche consistant à relever les données sur les déchets rapportés par les oiseaux marins dans les nids est utilisée en routine dans de nombreux sites dans le monde entier, notamment dans les aires protégées. En Méditerranée, cette démarche est encore expérimentale mais présente un fort potentiel pour la mise en place de la future surveillance dans le cadre de l'ONU Environnement/PAM, Plan Régional de la Gestion des Déchets Marins en Méditerranée.

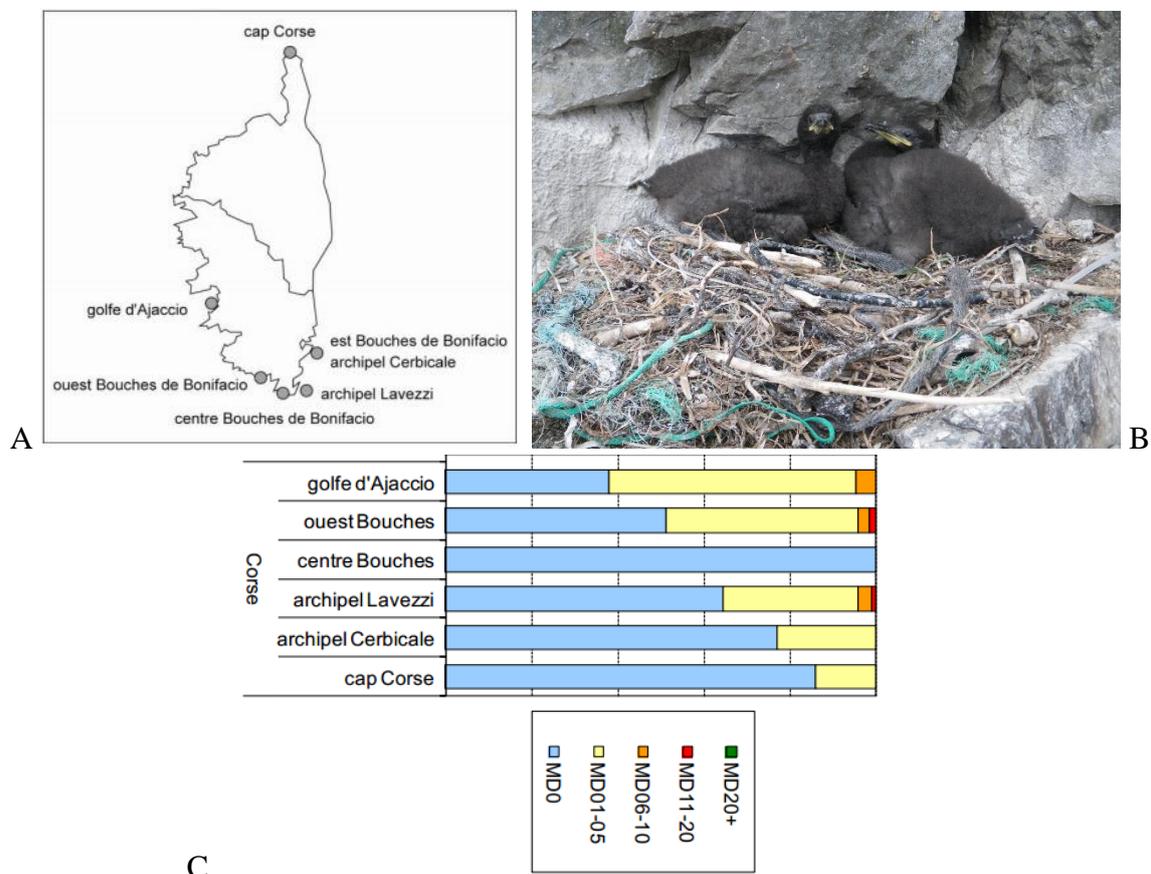


Figure 3 : Pourcentage de nids contenant des déchets et nombre de déchets moyens observés dans les nids de cormorans huppés (*Phalacrocorax aristotelis*) en Corse (Travaux de la réserve de Bonifacio, du conservatoire d'espaces naturels de Corse et de l'IFREMER et de Bretagne Vivante; Cadiou *et al.*, 2016). Les résultats montrent la possibilité de discriminer les zones soumises à un impact anthropique des zones les moins touchées par la pollution. (A) Sites d'observations, (B) Nid de cormoran huppé (crédit B.Cadiou), occupé par deux oisillons ; les déchets, ici principalement des cordages, ont été utilisés, au même titre que les matériaux naturels, pour bâtir le nid (C) Nombre de déchets par nid (N=556 nids échantillonnés). Chaque histogramme horizontal représente pour chaque site 100% des nids et chaque couleur le

pourcentage de nids (une graduation verticale= 20%) avec un nombre de déchets (MD) variable (0,1 à 5,6 à 10, 11 à 20 et plus de 20).

4.2 Surveillance de l'emmêlement/étranglement des organismes marins par les déchets marins

Comme indiqué précédemment, si la surveillance des déchets ingérés peut être envisagée sur des bases scientifiques et techniques solides, celle des emmêlements et étranglements dans des déchets marins demande une analyse approfondie des travaux existants, à ce jour largement insuffisants en Méditerranée, et nécessite d'envisager des travaux de développement conséquents avant de définir une stratégie optimale.

La surveillance des déchets ingérés est basée sur le suivi d'espèces indicatrices, alors que le suivi de l'emmêlement ou de l'étranglement, basé sur des dispositifs le plus souvent non sélectifs pour les espèces, doit considérer plusieurs groupes zoologiques (cétacés, oiseaux, reptiles, poissons, invertébrés), et être organisée par compartiments. Les observations des diverses espèces et spécimens emmêlés peuvent en effet être relevées au niveau (1) des plages, au travers des réseaux d'échouage, (2) de la surface, lors de campagnes océanographiques, et (3) sur les fonds, grâce aux moyens d'observation sous-marine tels que plongeurs pour les faibles profondeurs, ou submersibles/ Véhicules Télé Opérés (ROVs) pour les zones profondes.

Selon les dispositifs utilisés, les observations concerneront les organismes morts, comme dans le cas de la plupart des échouages, ou des organismes vivants, en mer et sur les fonds. Cette dernière approche est importante, car en mer et sur les fonds les animaux décédés s'y dégradent rapidement et disparaissent. Elle est également importante pour le suivi de l'impact des filets abandonnés, qui constitue une catégorie particulière de déchets marins sur les fonds. D'une manière générale, les emmêlements / étranglements en mer et sur les plages sont mis en évidence sur des organismes de grande taille, principalement des mammifères et des tortues marins. Sur les fonds, le potentiel d'utilisation des invertébrés comme indicateur d'emmêlement est intéressant en raison de la possibilité d'observations significatives à toutes les profondeurs, y compris au niveau benthique.

Au stade de développement actuel des réflexions sur le sujet, il semble nécessaire d'identifier les contraintes inhérentes à une éventuelle surveillance de l'emmêlement/étranglement de la faune par les déchets marins.

Contraintes biologiques

Les contraintes biologiques d'une surveillance de l'emmêlement/étranglement intègrent plusieurs éléments:

- Le choix d'un nombre d'espèces à surveiller : il peut s'agir d'un petit nombre d'espèces cibles ou de l'ensemble des espèces répertoriées de manière exhaustive.
- Le cycle de vie des différentes espèces (comportements liés à la reproduction, au stade de développement/ à la taille et au comportement alimentaire associé, au sexe, à la migration, etc.), un cycle complexe peut induire une forte variabilité des sensibilités selon les différents stades des espèces et par conséquent une forte variabilité des résultats.
- La probabilité de rencontre entre espèces et déchets. Une analyse de risques, telles que définie dans des travaux récents sur la tortue caouanne par exemple (Darmon *et al.*, 2016) peut aider, en localisant des zones à risque, à définir des zones prioritaires de surveillance.
- La connaissance de la prévalence ou du taux d'emmêlement (proportion d'individus emmêlés dans un échantillon) est un préalable important à la définition d'un programme de surveillance. Des taux importants, représentant un risque réel pour les populations, doivent être un critère prioritaire de décision.
- D'un point de vue vétérinaire, une connaissance des pathologies permettant de décrire précisément l'impact de l'emmêlement des animaux marins dans des déchets (blessures,

strangulation, amputation etc.) et des critères de diagnostic sont essentiels.

- Un certain nombre de connaissances de base sur la biologie des espèces susceptibles de faire l'objet de la surveillance doivent exister et être disponibles.

Aspects méthodologiques

En ce qui concerne la méthode, un certain nombre d'éléments sont nécessaires pour mettre en place une surveillance :

- L'organisation de la collecte des données.

- L'amélioration ou le développement de protocoles; les protocoles actuellement disponibles sont peu ou mal décrits, ou à développer, que ce soit pour une surveillance en plongée, par ROV ou submersibles, ou à partir de l'échouage des organismes marins.

- Des critères permettant de distinguer l'emmêlement/étranglement dû aux déchets ou à des engins de pêche actifs. Ceci permettra d'interpréter correctement les données du point de vue du Bon Etat Ecologique (BEE). L'absence actuelle de critères est une source de biais importante dans le cas des suivis menés par les réseaux d'échouage.

- L'identification des facteurs pouvant interférer avec les résultats, notamment la perte possible d'information due par exemple au déplacement d'individus vivants après emmêlement, ou de la vitesse de décomposition de leurs tissus en mer si les animaux sont morts.

- Une bonne connaissance des variations saisonnières de la présence des déchets (activité de pêche, saison touristique) et des espèces (migrations) à prendre en considération dans l'organisation de la collecte d'information.

Une fois ces éléments acquis, il conviendra d'adopter à l'échelle de la Méditerranée des protocoles communs, harmonisés, assortis d'une assurance qualité et de dispositifs et procédures de bancarisation qui garantiront une surveillance optimale.

Aspects environnementaux

Au plan environnemental et du point de vue du BEE, la significativité et la représentativité de l'emmêlement/étranglement en tant qu'indicateur de pollution, ne sont pas encore confirmées. Il est nécessaire que des scientifiques testent les jeux de données d'ores et déjà disponibles, avant d'envisager une surveillance de ce type.

Aspects logistiques

Au plan logistique, les aspects liés (i) au coût de la surveillance, (ii) à l'accessibilité des échantillons et de données, (iii) à l'existence préalable de dispositifs de collecte de données permanents ou saisonniers (réseaux d'échouage, campagne d'observation et de suivi en plongée etc.), sont essentiels et doivent être largement pris en compte. Le suivi continu des emmêlements/étranglements par les réseaux d'échouage existants permettrait par exemple de s'affranchir des contraintes relatives aux variations saisonnières. Pour sa part, la mutualisation de campagnes d'observation en plongée préexistantes auxquelles on assigne un objectif supplémentaire de surveillance (l'emmêlement), permettrait d'amoindrir les coûts de surveillance, et de garantir une accessibilité de données et d'échantillons moins aléatoire que celle basée sur le caractère aléatoire d'événements tels que les échouages.

En résumé, les données existantes sur l'étranglement et l'emmêlement des espèces marines sont encore mal répertoriées et insuffisantes pour permettre les analyses concernant les impacts et justifier le développement de réseaux de surveillance pérennes. La stratégie recommandée à ce stade est d'organiser et de structurer une collecte de données complémentaires, et d'effectuer des expérimentations pilotes de façon coordonnée qui permettront de définir les bases scientifiques et techniques d'une surveillance de ce type d'interaction, et de préciser les modalités de surveillance adaptées au contexte de la Méditerranée. Les travaux devront porter

sur : la prévalence des emmêlements/étranglements sur les espèces méditerranéennes, l'identification et la cartographie des zones à risque (présence d'engins de pêche, distribution des espèces sensibles, probabilité de rencontre entre espèces sensibles et déchets, etc.) et la rationalisation des dispositifs et procédures de collecte de données existants (réseaux d'échouages, réseaux d'observation des aires marines protégées, campagnes de plongée en Submersibles ou ROVs/Véhicules Télé Opérés). L'ensemble de cette démarche devrait permettre une meilleure information en support aux mesures de réduction des déchets marins qui seront mises en œuvre à l'avenir, et à la définition d'une stratégie de surveillance adaptée au Plan Régional des Déchets Marins (PRDM).

5. Autres impacts

Certains organismes marins utilisent les déchets pour s'abriter, y adhérer, s'y installer. Une grande partie des déchets étant mobiles et se déplaçant au gré des courants, ils constituent de fait un moyen de transport qui favorise le déplacement de ces organismes vers de nouveaux territoires. Ce type de dispersion, désormais bien connu à l'échelle mondiale, pose un problème d'autant plus important qu'on a pu observer une récente augmentation des particules flottantes, principalement en plastique. Ainsi, en Méditerranée, les quelque 250 milliards de micro-plastiques mesurés en surface et flottant dans ce bassin (Collignon et al., 2012) seraient tous des transporteurs potentiels d'espèces exotiques nuisibles et d'espèces dites «envahissantes». Comme décrit par Katsanevakis et al. (in CIESM, 2014), les organismes que peuvent transporter les déchets représentent tous les groupes taxonomiques tels qu'unicellulaires, filtreurs (polychètes, bryozoaires, hydriaires et balanes), détritivores (Crustacés), des Mollusques, Echinodermes et algues, dont la distribution est affectée par de nombreux facteurs comme l'emplacement, la nature du substrat et sa rugosité, la température, la salinité, l'abondance de plancton, la concentration en plastique (Carson et al., 2013). Les déchets flottants peuvent aider le transport des espèces au-delà de leurs limites de répartition naturelles. Ce rôle est moins connu en mer Méditerranée, de sorte que les déchets marins n'ont à ce jour pas été inclus en tant que vecteur potentiel d'introduction d'espèces exotiques dans les dernières évaluations sur les voies primaires d'introduction (Katsanevakis et al. 2013). En terme d'impact, la diversité des mécanismes qui président au transport d'espèces par les déchets rend difficile la mise en œuvre d'une surveillance régulière. Malgré tout, comme indiqué par la CIESM (2014), treize espèces exotiques à la Méditerranée sont connues pour coloniser des déchets flottants ailleurs dans le monde. En outre, pour ces auteurs, plus de 80% des espèces exotiques connues en Méditerranée auraient pu être introduites en colonisant des déchets marins ou pourraient potentiellement utiliser les déchets pour étendre leur distribution géographique (invasion secondaire).

En profondeur, les déchets fournissent potentiellement des substrats et de nouveaux habitats aux organismes marins, de sorte qu'ils peuvent influencer sur la répartition des espèces benthiques (Pham et al, 2014).

Dans les deux cas, un inventaire des espèces fixées sur les déchets en Méditerranée ou un suivi des populations attachées aux déchets pourraient constituer des indicateurs d'impact sur la biodiversité. La structuration d'un réseau de surveillance de ces espèces manque toutefois de bases scientifiques et techniques, et le développement d'une surveillance opérationnelle devra faire l'objet de nombreux travaux de recherche avant d'être envisagé. La prise en considération de ce type d'approche prendrait toutefois du sens dans le contexte du suivi des impacts sur la pêche, l'aquaculture, le tourisme, le traitement de l'eau, ou la diversité des espèces protégées, en particulier parce que des germes pathogènes peuvent potentiellement faire partie des espèces susceptibles d'être transportées et dispersées par les déchets marins.

Parmi les espèces qui utilisent les déchets comme abris, on compte des céphalopodes (poulpes). Cette observation est très commune en Méditerranée, le phénomène pourrait faire l'objet de travaux de recherche pour déterminer les effets qu'il pourrait avoir sur les équilibres des écosystèmes, et le potentiel de ces espèces pour développer des indicateurs d'impact originaux. Une telle approche ne pourra être envisagée que dans les limites de l'interprétation des effets, et dans le contexte plus large du Bon Etat Ecologique (BEE).

6. Conclusions, recommandations et perspectives

La surveillance des impacts des déchets marins sur la faune marine est en grande partie liée à la disponibilité d'espèces indicatrices pour mesurer la prévalence et les effets de l'ingestion des déchets et l'emmêlement/étranglement dans les déchets. La surveillance de ces effets peut se concevoir par une approche multi-espèces afin de couvrir le champ des impacts liés à la fois aux divers types de déchets, de taille (microparticules et macro-déchets) et de nature (plastiques, métal, verre, etc.) variées, mais aussi aux divers modes de vie (sédentaires, benthiques, nectobenthiques, pélagiques, aériens) et d'alimentation (détritivores, suspensivores, omnivores, carnivores) des espèces qui entrent en interaction. La multiplicité des approches nécessaires pour prendre en compte cette variabilité requière de ce fait l'utilisation de plusieurs espèces cibles, ce qui n'est possible que si des infrastructures élaborées, utilisant des compétences diverses, sont en place. Dans l'état actuel de nos connaissances, la surveillance ne peut se concevoir que de manière progressive, étape par étape, selon le degré de maturité des indicateurs. Dans un premier temps, il est recommandé de développer un réseau pilote de surveillance basé sur l'utilisation de l'espèce de tortue marine *Caretta caretta*, l'indicateur d'ingestion des déchets par cette espèce étant au stade de développement le plus avancé.

Il paraît raisonnable d'envisager par ailleurs d'engager des travaux expérimentaux pour tester le potentiel de nouvelles espèces indicatrices, principalement pour mesurer l'impact des microplastiques, en particulier certaines espèces de poissons à fort taux d'ingestion et à large répartition (*Boops boops*, *Mullus sp.*) et d'invertébrés, notamment la moule *Mytilus galloprovincialis*, présents dans une vaste part du bassin Méditerranéen. Le tableau 6 liste les espèces /taxons déjà utilisés ou pouvant être utilisés comme bioindicateurs, et leur potentiel d'utilisation dans le cadre d'une surveillance.

Tableau 6: Sélection d'espèces indicatrices pour la surveillance de l'ingestion des déchets par les organismes marins en Méditerranée.

TAXON	TYPE DE DECHETS	METHODE	INFRASTRUCTURE	ESPECE INDICATRICE	PRIORITE	REMARQUES
Oiseaux	macro-déchets	autopsie	réseaux d'échouage, pêche accidentelle	A rechercher	+	Travaux nécessaires en Méditerranée
Cétacés	macro-déchets	autopsie	réseaux d'échouage, pêche accidentelle	toutes espèces	+	Faible nombre d'espèces, faible taux d'ingestion, approche opportuniste seulement
Cétacés	micro-plastiques	autopsie/ chimie	réseaux d'échouage, pêche accidentelle	toutes espèces	+	Echantillonnage et mesure difficile
Tortues marines	macro-déchets	autopsie/ suivi excrétion	réseaux d'échouage, pêche accidentelle, centres de soins	<i>Caretta caretta</i>	+++	Maitrise des paramètres biologiques nécessaire
Poissons necto benthiques	micro-plastiques	contenus stomacaux	chalutage et pêche côtière	<i>Mullus sp.</i> , <i>Boops sp.</i>	++	Large répartition des espèces, collecte aisée
Poissons démersaux	macro-déchets	contenus stomacaux	chalutage scientifique et commercial	<i>Scyliorhinus sp.</i>	+	Collecte opportuniste possible
Poissons pélagiques	micro-plastiques	contenus stomacaux	pêche commerciale		+	Collecte opportuniste possible
Mollusques	micro-plastiques	contenus stomacaux/ chimie	collecte, élevages, réseaux de surveillance chimique	<i>Mytilus sp.</i>	++	Réseaux de collecte existants, concerne la santé publique
Crustacés	micro-plastiques	contenus stomacaux/ chimie	collecte		+	Travaux nécessaires en Méditerranée

Autres invertébrés	micro-plastiques	contenus stomacaux/ chimie	collecte	Holothuries	+	Travaux nécessaires en Méditerranée
--------------------	------------------	----------------------------	----------	-------------	---	-------------------------------------

Concernant l’emmêlement/ étranglement, il est encore nécessaire, dans les conditions actuelles, d’organiser la collecte d’information et de définir des modalités de surveillance (tableau 7). La mobilisation de réseaux d’échouage doit être considérée en priorité par les parties contractantes sur une base volontaire dans un premier temps, pour un suivi expérimental de l’emmêlement/ étranglement des principales espèces les plus sensibles (mammifères, oiseaux, tortues).

Tableau 7: dispositifs de surveillance et espèces indicatrices à tester pour le suivi des étranglements/ emmêlements en Méditerranée.

ESPECES	TYPES DE DECHETS	METHODE	RESEAUX EXISTANTS	ESPECES	PRIORITE	REMARQUE
Oiseaux	engins de pêche, macro-déchets	observations, diagnostic	réseaux échouage	toutes espèces	++	La surveillance doit être organisée par dispositif avec les priorités suivantes : 1) Etude pilote concernant le suivi opportuniste par des réseaux d’échouage 2) Evaluation et tests des dispositifs de suivis vidéo/plongées dans les aires protégées 3) Test d’observations de surface
Cétacés	filets perdus, filets fantômes	observations, diagnostic	réseaux d’échouage et d’observation en mer	toutes espèces	++	
Tortues	filets perdus, filets fantômes	suivi vidéo (Plongée et ROVs)	réseaux d’échouage et d’observation en mer,	toutes espèces	++	
Poissons necto-benthiques	engins de pêche	suivi vidéo (Plongée et ROVs)	suivi vidéo (Plongée et ROVs)	toutes espèces	+	
Poissons (pélagiques)	filets perdus, filets fantômes de surface	observations, pêche	réseaux d’observation en mer	requins, grands pélagiques	+	
Invertébrés	filets perdus, macro-déchets	suivi vidéo (Plongée et ROVs)	suivis aires protégées, campagne scientifiques	toutes espèces	+	
Oiseaux	méso-/ macro-déchets	Observation déchets dans les nids	réseaux de suivi de nidification	cormoran huppé	++	Indicateur d’effet concernant partiellement l’étranglement. A tester à échelle pilote

Le potentiel de suivi des déchets dans les nids doit être réexaminé par les experts afin de proposer des lignes directrices; dans cette perspective, une surveillance expérimentale devrait être mise en place, notamment dans les aires protégées de Méditerranée et également sur la base du volontariat des parties contractantes.

Au titre de développements futurs, nous recommandons d’évaluer le potentiel des campagnes d’observation en surface, et sous-marine (tableau 6). L’intérêt de la plongée à faible profondeur, notamment dans les aires marines protégées, et des submersibles ou ROVs/Véhicules Télé Opérés pour les plus grandes profondeurs comme outils de collecte d’observations d’emmêlement /étranglement des espèces les plus affectées (invertébrés et poissons), doit être évalué. Cette dernière approche (submersibles/ROVs) ne devra être dissociée des opérations d’inventaire ou de réduction des filets/engins de pêche abandonnés dans les zones définies comme prioritaires dans le contexte du Plan d’Action Régional du PAM.

7. Références

Anastasopoulou A., C.Mytilineou, C.Smith, K.Papadopoulou (2013). Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (Eastern Mediterranean). *Deep-Sea Res.*, I, 74, 11–13.

Angiolillo M., B.Lorenzo, A.Farcomeni, M.Bo., G.Bavestrello, G.Santangelo, A.Cau., V.Mastascusa, F.Sacco F., S. Canese (2015) Distribution and assessment of marine debris in the deep Tyrrhenian Sea (NW Mediterranean Sea, Italy). *Mar. Poll. Bull.*, 2(1-2), 149-59. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.12.044

Ayaz A., D.Acarli, U.Altinagac, U. Ozekinci, A.Kara, O.Ozen (2006). Ghost fishing by monofilament and multifilament gillnets in Izmir Bay, Turkey. *Fish. Res.*, 79, 267–271.

Arcadis (2014) Marine litter study to support the establishment of an initial headline reduction target-SFRA0025? European commission / DG ENV, project number BE0113.000668, 127 p.

Baulch S., C.Perry (2014) Evaluating the impacts of marine debris on cetaceans. *Mar. Poll. Bull.*, 80 (1-2):210-21. doi, 10.1016/j.marpolbul.2013.12.050. Epub 2014 Feb 11.

Bella J., J.Martínez-Armentala Bella J., J.Martínez-Armentala, A.Martinez Camara, V.Besada, C.Martinez-Gomez (2016) Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Mar. Pollut. Bull.*, 109 (1), 55–60.

Bentivegna F., F.Valentino, P.Falco, E.Zambianchi, S.Hochscheid (2007) The relationship between loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement patterns and Mediterranean currents. *Mar. Biol.* 151, 1605-1614.

Bentivegna, F., S.Hochscheid (2011) Satellite tracking of marine turtles in the Mediterranean. Current knowledge and conservation implications. UNEP (DEPI)/MED WG. 359/inf.8 Rev.1. UNEP/RAC/SPATunis, 19 p.

Bentivegna F., A.Travaglini, M.Matiddi, M.Baini, A.Camedda, A.De Lucia, M.Fossi, M.Giannetti, C.Mancusi, E.Marchiori, I.Poppi, F.Serena, L.Alcaro (2013) First data on ingestion of marine litter by loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in Italian waters (Mediterranean sea). Proceedings of the Biology and ecotoxicology of large marine vertebrates and sea birds: potential sentinels of Good Environmental Status of marine environment, implication on European Marine Strategy Framework Directive. 5-6 June, Siena.

Besseling E., E.Foekema, J. Van Franeker, M.Leopold, S. Kühn, E.Bravo Rebolledo, E. Heße, L. Mielke, J. IJzer, P. Kamminga, A.Koelmans (2015) Microplastic in a macro filter feeder: Humpback whale *Megaptera novaeangliae*. Mar. Pollut. Bull., 95, 1, 248-252.

Bo M., S.Bava, S.Canese, M.Angiolillo, R.Cattaneo-Vietti, G.Bavestrello (2014) Fishing impact on deep Mediterranean rocky habitats as revealed by ROV investigation. Biol. Cons., 171, 167-176.

Boerger C. G.Lattin, S.Moore, C. Moore (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. Mar. Poll. Bull., 60(12), 2275–2278. doi: DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.08.007.

Cadiou B., M.Fortin. (2015) Utilisation des macrodéchets comme matériaux de nids par les cormorans. Proposition d'un indicateur pour la DCSMM. Rapport interne IFREMER/Bretagne vivante/PNC, contrat IFREMER/convention MEDDE 2013-2014, 9 p.

Camedda A., S.Marra, M.Matiddi, G.Massarò, S.Coppa, A.Perilli, A.Ruiu, P.Briguglio, G. Andrea de Lucia (2014) Interaction between loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) and marine litter in Sardinia (Western Mediterranean Sea). Mar. Env. Res., 100, 25-32.

Campani T., M. Baini, M. Giannetti, F. Cancelli, C. Mancusi, F. Serena, L. Marsili, S. Casini, M.C. Fossi (2013) Presence of plastic debris in loggerhead turtle stranded along the Tuscany coasts of the Pelagos Sanctuary for Mediterranean Marine Mammals (Italy), Mar. Poll. Bull., 74, 225–230.

Carson, H. S. (2013). The incidence of plastic ingestion by fishes: From the prey's perspective. Mar. Pollut. Bull., doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.008>.

Casale P., D.Margaritoulis (2010) Sea Turtles in the Mediterranean: Distribution, Threats and Conservation Priorities. IUCN: Gland, Switzerland. 304 p.

Casale P., M.Affronte, D.Scaravelli, B.Lazar, C.Vallini, P.Luschi (2012) Foraging grounds, movement patterns and habitat connectivity of juvenile loggerhead turtles (*Caretta caretta*) tracked from the Adriatic Sea. Mar. Biol. 159, 1527–1535. doi:10.1007/s00227-012-1937-2.

Casale P., D.Freggi, V. Paduano, M.Oliverio (2016) Biases and best approaches for assessing debris ingestion in sea turtles, with a case study in the Mediterranean. Mar. Poll. Bull., 110, 1, 238-249.

Cedrian D. (2008) Seals-fisheries interactions in the Mediterranean monk seal (*Monachus monachus*): related mortality, mitigating measures and comparison to dolphin-fisheries interactions. Transversal Working Group on by catch/incidental catches. O Headquarters, Rome (Italy), 15-16 September 2008, 21 p.s.

CIESM (2014) Plastic Litter and the dispersion of alien species and contaminants in the Mediterranean Sea. Ciesm Workshop N°46 (Coordination F. Galgani), Tirana, 18-21 juin 2014, 172 p.

Claro F., G.Darmon, C.Miaud, F. Galgani (2014) « Project of EcoQO/GES for marine litter ingested by Sea Turtles (MSFD D10.2.1.) », Minutes of the european workshop, October 13th, 2014- Marseille (Mediterranean Institute of Oceanology), 16 p.

Codina-García M., T.Militão, J.Moreno, J. González-Solís (2013). Plastic debris in mediterranean seabirds. *Mar. Poll. Bull.*, 77, 220–226.

Cole M., P.Lindeque, E.Fileman, C.Halsband, R.Goodhead, J.Moger (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Env. Sc. and Tech.*, 47, 6646–6655.

Collignon A., J.Hecq, F.Galgani, P.Voisin, A.Goffard (2012) Neustonic microplastics and zooplankton in the western Mediterranean sea. *Mar. Poll. Bull.* 64, 861-864.

Colmenero A., C.Barría, E.Broglio, S.García-Barcelona (2017) Plastic debris straps on threatened blue shark *Prionace glauca*. *Mar. Pollut. Bull.*, *in press*.

Darmon G., C.Miaud, F.Claro, F.Dell'Amico, D.Gambaiani, F.Galgani (2014) Pertinence des tortues caouannes comme indicateur de densité de déchets en Méditerranée dans le cadre de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (indicateur 2.1 du descripteur n°10). Rapport technique/ contrat IFREMER- CEFE, Montpellier, 28p + annexes.

Darmon G., C.Miaud, F.Claro, G.Doremus, F.Galgani (2016) Risk assessment reveals high exposure of sea turtles to marine debris in French Mediterranean and metropolitan Atlantic waters. *Deep Sea Res. Part II: Topical Studies in Oceanography*, online first. <http://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.07.005>

De Lucia G., M.Matiddi, A.Travaglini, A.Camedda, F.Bentivegna, L.Alcaro (2012) Marine litter ingestion in loggerhead sea turtles as indicator of floating plastic debris along Italian coasts. Proceedings of the Biology and ecotoxicology of large marine vertebrates: potential sentinels of Good Environmental Status of marine environment, implication on European Marine Strategy Framework Directive. 31 January, Siena.

De Stephanis R., J.Gimenez, E.Carpinelli, C.Gutierrez-Exposito, A.Canadas (2013). As main meal for sperm whales: Plastics debris. *Mar. Poll. Bull.*, 69(1–2), 206–214. doi: DOI 10.1016/j.marpolbul.2013.01.033.

Deudero, S., C.Alomar (2014). Revising interactions of plastics with marine biota: evidence from the Mediterranean in CIESM 2014. Marine litter in the Mediterranean and Black Seas. CIESM Workshop Monograph n 46 [F. Briand, ed.], 180 p., CIESM Publisher, Monaco.

Deudero S., C.Alomar (2015) Mediterranean marine biodiversity under threat: Reviewing influence of marine litter on species. *Mar. Poll. Bull.*, 98, 1–2, 58-68.

De Witte B., L.Devriese, K.Bekaert, S.Hoffman, G.Vandermeersch, K.Cooreman, J.Robbens (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): comparison between commercial and wild types. *Mar. Poll. Bull.* 85 (1), 146-155.

Fabri M., I.Pedel, L.Beuck, F.Galgani, D.Hebbeln, A.Freiwald (2014). Megafauna of vulnerable marine ecosystems in French mediterranean submarine canyons: Spatial distribution and anthropogenic impacts. *Deep-Sea Res. II*, 104, 184–207.

Farrell P., K.Nelson (2013) Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Env. Pollut.* (Barking, Essex, 177, 1-3.

- Fossi M., C.Panti, C.Guerranti, D.Coppola, M.Giannetti, L.Marsili, R.Minutoli (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Poll. Bull.*, 64(11), 2374–2379. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.08.013.
- Fossi C., D.Coppola, M.Baini, M.Giannetti, C.Guerranti, L.Marsili, C.Panti, E.de Sabata, S.Clò (2014) Large filter feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment: The case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Env. Res.*, 100, 1-8.
- Frick M., K.Williams, A.Bolten, K.Bjorndal, H.Martins (2009) Foraging ecology of oceanic-stage loggerhead turtles *Caretta caretta*. *Endangered Species Research* 9, 91–97.
- Galgani F., A.Souplet, Y. Cadiou (1996). Accumulation of debris on the deep sea floor off the French mediterranean coast. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 142, 225–234.
- Galgani F., F.Claro, M.Depledge, C.Fossi (2014). Monitoring the impact of litter in large vertebrates in the Mediterranean Sea within the European Marine Strategy Framework Directive: constraints, specificities and recommendations. *Mar. Envir. Res.*, 100, 3-9.
- Gall S., R. Thompson (2015) The impact of debris on marine life. *Mar. Poll. Bull.*, V92, 12, 170–179.
- GESAMP (2015). “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment” (Kershaw, P. J., ed.).(IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/ IAEA/UN/UNEP /UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- Graham E., J.Thompson (2009). Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (*Echinodermata*) ingest plastic fragments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 368 (1), 22-29.
- Gregory M. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 364(1526), 2013–2025. doi: 10.1098/rstb.2008.0265.
- Ioakeimidis C., C.Zeri, E.Kaberi, M.Galatchi, K.Antoniadis, N.Streftaris, F.Galgani, E.Papathanassiou, G. Papatheodorou (2014). A comparative study of marine litter on the seafloor of coastal areas in the Eastern Mediterranean and Black Seas. *Mar. Poll. Bull.*, 89, 296–30.
- Jacobsen J., L.Massey, F.Gulland (2010). Fatal ingestion of floating net debris by two sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Mar. Poll. Bull.*, 60, 765-767.
- Kaska Y., A.Celik, H.Bag, M.Aureggi, K.Ozel, A.Elci, A.Kaska, L.Elca (2004) Heavy metal monitoring in stranded sea turtles along the Mediterranean coast of Turkey. *Fresenius Env. Bull.* 13, 769–776.
- Katsanevakis S., G.Verriopoulos, A.Nicolaidou, M.Thessalou-Legaki (2007). Effect of marine litter on the benthic megafauna of coastal soft bottoms: A manipulative field experiment. *Mar. Pollut. Bull.*, 54, 771–778.
- Katsanevakis S, A.Zenetos, C.Belchior, A.Cardoso (2013a) Invading European Seas: assessing pathways of introduction of marine aliens. *Ocean and Coast. Manag.* 76: 64–74, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.024>.
- Kühn S., E. Bravo Rebolledo, J.A. Van Franeker (2015) Deleterious Effects of Litter on Marine Life, In *Marine Anthropogenic Litter*, M. Bergmann *et al.* (eds.), Springer. Chapter IV, p75-116. doi:10.1007/978-3-319-16510-3 (B)4.

- Lazar, B., R.Gracan (2011). Ingestion of marine debris by loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the Adriatic Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 62, 43-47.
- Mansui J., A.Molcard, Y.Ourmieres (2015) Modelling the transport and accumulation of floating marine debris in the Mediterranean basin. *Mar. Poll. Bull.* ,91, 249-257.
- McCauley S., K.Bjorndal (1999) Conservation implications of dietary dilution from debris ingestion: sublethal effects in post-hatchling loggerhead sea turtles. *Conservation Biology* 13, 925-929
- Macfadyen G., T.Huntington, R.Cappell (2009) Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear. UNEP Regional Seas Reports and Studies No.185; FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 523. Rome, UNEP/FAO. 2009. 115p.
- Mizraji R., C.Ahrendt, D.Perez-Venegas, J.Vargas, J. Pulgar, M.Aldana, F.Patricio Ojeda, C.Duarte, C. Galbán-Malagón (2017) Is the feeding type related with the content of microplastics in intertidal fish gut? *Mar. Poll. Bull.*, *sous presse*
- MSFD-TSGML (2013). Guidance on monitoring of marine litter in European Seas. A guidance document within the common implementation strategy for the marine strategy framework directive. EUR-26113 EN. JRC Scientific and Policy Reports JRC83985. 128 p. <http://dx.doi.org/10.2788/99475>.
- Murray F., P.Cowie (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Mar. Poll. Bull.*, 62(6), 1207–1217.
- Nadal M., C.Alomar, S.Deudero (2016) High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue *Boops boops* (L.) around the Balearic Islands. *Env. Poll.*, 214, 517–523.
- Neves D., P.Sobral, J.Lia Ferreira, T.Pereira (2015) Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Mar. Poll. Bull.*, 101, 119–126.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program.) (2014) Report on the Entanglement of Marine Species in Marine Debris with an Emphasis on Species in the United States. Silver Spring, MD. 28 pp.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program) (2014) Report on the Occurrence and Health Effects of Anthropogenic Debris Ingested by Marine Organisms. Silver Spring, MD. 19 pp.
- Paradinas L. (2016) The incidence of microplastics in the scyphozoan *Pelagia noctiluca* and the anthozoan *Actinia equina*. Thesis Univ Paris VI, October 2016, 47 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.19967.20642
- Pham C., E.Ramirez-Llodra, H.Claudia, T.Amaro, M.Bergmann, M.Canals, J.Company, J.Davies, G.Duineveld, F.Galgani, K.Howell, A.Huvenne Veerle, E.Isidro, D.Jones, G.Lastras, T.Morato, J.Gomes-Pereira, A.Purser, H.Stewart, I.Tojeira, X.Tubau, D.Van Rooij, P.Tyler (2014). Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. *Plos One*, 9(4), 95839. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0095839>.
- Peda C., L. Caccamo, MC. Fossi; F.Andaloro, F. Gai, L. Genovese, A. Perdichizzi, T. Romeo, G. Maricchiolo (2016) Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: Preliminary results. *Env. Poll.*, 12, 251–256.
- Pibot A., F.Claro (2012) Impacts écologiques des déchets marins. Méditerranée occidentale. MSFD initial assesment. Paris, France. Reports of the French MSFD initial assessment, SRM MO & GDG, 12 & 13 11 p.s. <http://sextant.ifremer.fr/fr/web/dcsmm/pressions-et-impacts>

Poullain P., M.Menna, E. Mauri (2012) Surface Geostrophic Circulation of the Mediterranean Sea Derived from Drifter and Satellite Altimeter Data. *J. of Phys. Oceanog.*, 42(6). 973-990, 2012. doi:10.1175/JPO-D-11-0159.1

Provencher J., A. Bond, S.Avery-Gomm, S.Borrelle, E.Bravo Rebolledo, S.Hammer, S.Kuhn, L.Lavers, M. Mallory, A.Trevaili, J.van Franeker (2017) Quantifying ingested debris in marine megafauna: a review and recommendations for standardization. *Analyt. Methods (Online)*, DOI: 10.1039/c6ay02419j

Revelles M., L.Cardona, A.Aguilar, M.Felix, G.Fernandez (2007) Habitat use by immature loggerhead sea turtles in the Algerian Basin (western Mediterranean): swimming behaviour, seasonality and dispersal pattern. *Mar. Biol.* 151,1501–1515.doi:10.1007/s00227-006-0602-z.

Rodríguez B., J. Bécares, A.Rodríguez, J.Manuel Arcos (2013) Incidence of entanglements with marine debris by northern gannets (*Morus bassanus*) in the non-breeding grounds. *Mar. Poll. Bull.*, 75, 259–263.

Romeo T., P.Battaglia, C.Pedà, P.Consoli, F.Andaloro, M.C.Fossi (2015) First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 95, 1, 358-361.

Steen M., C.Torjussen, D.Thodoris, T. Simpidis, A.Miliou (2016) Plastic mistaken for prey by a colony-breeding Eleonora's falcon (*Falco eleonora*) in the Mediterranean Sea, revealed by camera-trap. *Mar. Poll. Bull.*, 106, 1–2, 200-201.

Suaria G., S.Aliani (2014) Floating debris in the Mediterranean sea. *Mar. Poll. Bull.*, 86, 1–2, 494–504.

Sussarellu, R., M. Suquet, Y. Thomas, C. Lambert, C. Fabioux, M. Pernet, C. Mingant, C. Corporeau, J. Guyomarch, J. Robbens, I. Paulpont, P.Soudant, A Huvet (2016) Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc. Ntl. Acad Sc. USA*, 113 no. 9, 2430–2435.

Teuten E., J.Saquin, D.Knappe, M.Barlaz, S.Jonsson, A.BjArn, A.Rowland, R.Thompson, T.Galloway, T.Yamashita, D.Ochi, T.Watanuki, C.Moore, P.Viet, P.Tana, M.Prudente, R.Boonyatumanond, M.Zakaria, K.Akkhavong, K.Ogata, H.Hirai, S.Iwasa, I.Mizukawa, U.Hagino, A.Imamura, M.Saha, H. Takada (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Phil. Trans. of the Royal Soc.*, B, 364, 2027-2045.

Tubau X., M.Canals, G.Lastras, X.Rayo, J.Rivera, D.Amblas (2015) Marine litter on the floor of deep submarine canyons of the Northwestern Mediterranean Sea: The role of hydrodynamic processes. *Progr. in Oceanog.*, 134, 379-403.

Ugolini A., G.UnghereseG.Ungheresea, M. CiofiniM. Ciofini, A. LapucciA. Lapucci, M. CamaitiM. Camaiti (2013) Microplastic debris in sandhoppers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 129, 19–22.

UNEP/MAP (2015a) Litter Assessment in the Mediterranean, UNEP/MAP, Athens, 2015. 86 p.

UNEP/MAP (2015b) Regional survey on abandoned, lost or discarded fishing gear & ghost nets in the Mediterranean Sea - A contribution to the implementation of the UNEP/ MAP Regional Plan on marine litter management in the Mediterranean, UNEP/MAP, Athens, 2015, 41 p.

UNEP (2016a) Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi, 192 p.

UNEP (2016b). Annex VI of the UNEA Resolution 1/6 Marine plastic debris and microplastics (<http://www.unep.org/about/sgb/Portals/50153/UNEA/Marine%20Plastic%20Debris%20and%20Microplastic%20Technical%20Report%20Advance%20Copy%20Annex.pdf>).

Van Cauwenberghe L., M.Claessens, M.Vandegehuchte, C.Janssen (2015). Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats *Env. Pollut.* 199, 10-7. Doi: 10.1016/j.envpol.2015.01.008.

Van der Hal N., A. Asaf, A.Dror (2017) exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters. *Mar.Poll. Bull.*, *in press*.

Vandermeersch G, L.Van Cauwenberghe, C.Janssen, A.Marques, K.Granby, G.Fait, M.Kotterman, J.Diogène K.Bekaert, J.Robbens, L. Devriese (2015) A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms. *Environ Res.* 143(Pt B):46-55. doi: 10.1016/j.envres.2015.07.016.

Van Franeker J., C, Blaize, J.Danielsen, K.Fairclough, J.Gollan, N.Guse, (2011).Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. *Env. Poll*, 159, 2609–2615.

Votier, S., K.Archibald, G.Morgan, L.Morgan (2011). The use of plastic debris as nesting material by a colonial nesting seabird and associated entanglement mortality. *Mar. Poll. Bull.*, 62, 168–172.

Wegner A., E.Besseling, E.Foekema, P.Kamermans, A.Koelmans (2012) Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.). *Environ. Toxicol. Chem./ SETAC* 31 (11), 2490-2497.

Werner S., A.Budziak, J.Van Franeker, F. Galgani, G.Hanke, T.Maes, M.Matiddi, P. Nilsson, L.Oosterbaan, E.Priestland, R.Thompson, J.Veiga ; T.Vlachogianni (2017) Harm caused by marine litter, MSFD GES TG Marine Litter , Thematic Report, Technical report by the European commission/ Joint Research Centre, in press.

Wesch C., K.Bredimus, M.Paulus, R.Klein (2016) Towards the suitable monitoring of ingestion of microplastics by marine biota, A review. *Env. Poll.*, 218, 1200-1208

Zambianchi E, I.Iermano, S. Aliani (2014) Marine litter in the Mediterranean Sea, An Oceanographic perspective. In Ciesm Workshop N°46 (Coordination F Galgani), Tirana, 18-21 juin 2014, 172 p.

Annexe I

ABBREVIATIONS

BEE Bon Etat Ecologique

DCSMM: Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin

ICC: ONG internationale pour le nettoyage des côtes (International Coastal Cleanup)

MIO-ECSDE: Bureau d'information Méditerranéen pour l'Environnement, la Culture et le Développement Durable

ONG: Organisation Non Gouvernementale

PGA: Programme d'Action Global

ONU Environnement : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

PRDM: Plan Régional sur les Déchets Marins

ROV: Véhicule Télé Opéré (Remotely Operated Vehicle)