

Stratégie de surveillance des contaminants chez les tortues marines en France dans le cadre de la DCSMM

Françoise Claro et Fanny Girard



MAI 2020

UNITÉ MIXTE DE SERVICE

PATRIMOINE NATUREL



Nom du Programme/Projet : Programme Tortues marines

Chef de projet : Françoise Claro

Chargée de mission : Fanny Girard

Experts mobilisés : Florence Caurant (Université de La Rochelle), Aourel Mauffret (Ifremer-RT DCSMM D8), Nathalie Wessel (Ifremer-RT DCSMM D8), Martin Paumelle (Ifremer), Jérôme Couteau (Toxem), Farida Akcha (Ifremer), Estelle Rousselet (Dr vétérinaire), Catherine Munsch (Ifremer), Yann Aminot (Ifremer)

Relecture : Benjamin Guichard (OFB- RS D1 tortues marines), Delphine Gambaiani (SHF-RTMMF), Florence Dell'Amico (Aquarium La Rochelle-RTMAE), Estelle Rousselet (Dr vétérinaire)

Référence du document conseillée : Claro F. & Girard F. 2020. Stratégie de surveillance des contaminants chez les tortues marines en France dans le cadre de la DCSMM. Document PatriNat (OFB, CNRS, MNHN) n°322470. Paris, France. 28pp.

Photo de couverture : crédit CESTMed

L'UMS Patrimoine naturel - PatriNat

Centre d'expertise et de données sur la nature



Depuis janvier 2017, l'Unité Mixte de Service 2006 Patrimoine naturel assure des missions d'expertise et de gestion des connaissances pour ses trois tutelles, que sont le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), l'Office Français pour la Biodiversité (OFB) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Son objectif est de fournir une expertise fondée sur la collecte et l'analyse de données de la biodiversité et de la géodiversité présentes sur le territoire français, et sur la maîtrise et l'apport de nouvelles connaissances en écologie, sciences de l'évolution et anthropologie. Cette expertise, établie sur une approche scientifique, doit contribuer à faire émerger les questions et à proposer les réponses permettant d'améliorer les politiques publiques portant sur la biodiversité, la géodiversité et leurs relations avec les sociétés et les humains.

En savoir plus : patrinat.fr

Co-directeurs :

Laurent PONCET, directeur en charge du centre de données

Julien TOUROULT, directeur en charge des rapportages et de la valorisation

Inventaire National du Patrimoine Naturel



Porté par l'UMS PatriNat, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature, en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. Ce système est un dispositif clé du Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP) et de l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB).

Afin de gérer cette importante source d'informations, le Muséum a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses, quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de consolider des informations qui étaient jusqu'à présent dispersées. Il concerne la métropole et l'outre-mer, aussi bien sur la partie terrestre que marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance naturaliste, l'expertise, la recherche en macroécologie et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : inpn.mnhn.fr

LISTE D'ABREVIATIONS

AChE	Acétylcholinestérase
ALT	Alanine aminotransférase
AST	Aspartate transaminase
BAC	Background Assessment Criteria
BEE	Bon Etat Ecologique
BChE	Butyrylcholinesterase
CYP	Cytochrome P
DCSMM	Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane
EAC	Ecotoxicological Assessment Criteria
EcoQO	Ecological Quality objective
ENA	Erythrocyte nuclear alteration
EROD	Ethoxyrésorufine-O-Deethylase
FDI	Fish Disease Index
GdG	Golfe de Gascogne
γGT	Gamma Glutamyl Transférases
HBCDD	Hexabromocyclododécane
HCB	Hexachlorobenzène
MC	Mers Celtiques
M-MdN	Manche mer du Nord
MT	Métallothionéine
OC	Pesticides organochlorés
PAH ou HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
PBDE	Polybromodiphényléthers
PCB	Biphényles polychlorés
PFAS	Composés perfluoroalkylés
PFOS	Perfluorooctane sulfonate
POP	Polluants organiques persistants
SRM	Sous-région marine
TBT	Tributylétain
VTG	Vitellogénine

SOMMAIRE

1	Enjeux et contexte	6
2	Etat des connaissances	8
2.1	Eléments recherchés et méthodes utilisées	8
2.2	Effets sur les espèces et les populations	13
2.3	Facteurs de bioaccumulation	14
2.4	Surveillance et évaluation des contaminants et de leurs effets sur le biota.....	15
2.4.1	Bivalves et poissons	15
2.4.2	Mammifères marins	16
2.5	Valeurs de référence et seuils de toxicité	17
3	Stratégie de surveillance proposée	17
3.1	Contraintes et objectifs	17
3.2	Calendrier	18
3.3	Eléments à suivre.....	18
3.3.1	Eléments trace, essentiels et POP	18
3.3.2	Ecologie alimentaire	18
3.3.3	Biomarqueurs	19
3.3.4	Hormones sexuelles et détermination du sexe	19
3.4	Source d'échantillons	19
3.5	Modalités d'échantillonnage	19
3.6	Analyse.....	20
3.7	Bancarisation	21
3.8	Evaluation	21
4	Références	22

1 Enjeux et contexte

Les tortues marines sont considérées comme des espèces bio-indicatrices intéressantes de la pollution de l'environnement marin, non seulement pour les déchets marins qu'elles ont une propension à ingérer et dans lesquels elles s'enchevêtrent fréquemment (Claro & Hubert 2011, Attia El Hili et al. 2018), mais également pour les contaminants organiques et inorganiques (Andreani et al. 2008, Fossi et al. 2014, Silva & López-Barrera 2016, Matiddi et al. 2019). Le cycle biologique de ces espèces longévives les conduit à être très exposées aux polluants à la fois sur le milieu terrestre où sont pondus les œufs, mais également dans le milieu marin, où elles passent la majorité de leur temps, selon leur stade de développement et l'espèce, en milieu pélagique et en milieu côtier. Les tortues marines fréquentent selon leur régime alimentaire, les fonds rocheux et récifs coralliens, les herbiers marins, les mangroves ou le milieu océanique pour se nourrir et se développer (Silva & López-Barrera 2016).

Dans le cadre des politiques environnementales de conservation du milieu marin mais aussi de la biodiversité, les tortues marines représentent par conséquent un groupe pour lequel une surveillance continue, coordonnée et harmonisée, est importante à mettre en place non seulement pour répondre aux besoins des évaluations mais également pour l'interprétation de résultats sur le long terme et aux différentes échelles (sous-région, région, Europe).

La Directive Cadre Stratégie pour le Milieu marin (DCSMM) a défini, parmi les 5 critères du Descripteur 8 « contaminants », un critère primaire (D8C1) et un critère secondaire (D8C2) concernant le biote marin (Tableau 1), le second ne bénéficiant pas de préconisations méthodologiques. L'évaluation du Bon Etat Ecologique pour le descripteur 8 de la DCSMM devra comporter des éléments indiquant si le niveau de concentrations des contaminants dus à la pollution ne provoque pas d'effets sur la santé des espèces marines. Le critère secondaire D8C4 peut potentiellement concerner les tortues marines puisqu'il a pour objectif, en cas d'épisode significatif de pollution aiguë, d'évaluer les effets néfastes de ces épisodes sur la santé des espèces et sur la condition des habitats.

Si la convention OSPAR a développé récemment une proposition d'indicateur pour les PCBs qui concernerait les espèces de mammifères marins les plus communs des eaux Européens (OMMEG, 2019), aucun indicateur n'est actuellement proposé pour les tortues marines.

En Méditerranée, où l'abondance des tortues marines est plus élevée que dans les régions septentrionales de l'aire OSPAR, MedPol a adopté l'indicateur commun 19 correspondant au D8C4 (Tableau 1) pouvant donc potentiellement concerner les tortues marines.

Le présent document fournit les bases des connaissances actuelles sur les contaminants recherchés dans les tissus des tortues marines et les effets identifiés sur leur santé. Il présente ensuite la stratégie de surveillance proposée en France sur les espèces fréquentant les eaux et côtes métropolitaines.

Tableau 1. Eléments constitutifs, critères et normes méthodologiques du Descripteur 8 de la DCSMM (The European Commission 2017, Ifremer 2018).

Eléments constitutifs des critères	Critères	Normes méthodologiques
1) Dans la limite des eaux côtières et territoriales : a) Contaminants choisis d'après la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE : i) contaminants pour lesquels une norme de qualité environnementale a été établie à l'annexe 1, partie A, de la directive 2008/105/CE ; ii) polluants spécifiques de bassins hydrographiques conformément à l'annexe VIII de la directive 2000/60/CE, dans les eaux côtières ; b) Contaminants supplémentaires, le cas échéant, notamment ceux issus de sources en mer, non encore retenus selon le point a) et pouvant avoir des effets dus à la pollution dans la région ou la sous-région. Les États membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional en vue d'établir la liste de ces contaminants. 2) Au-delà des eaux territoriales : a) Contaminants visés au point 1), lorsque ceux-ci restent susceptibles d'avoir des effets dus à la pollution ; b) Contaminants supplémentaires, le cas échéant, non encore retenus selon le point 2a) et pouvant avoir des effets dus à la pollution dans la région ou la sous-région. Les États membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional en vue d'établir la liste de ces contaminants.	D8C1 - Concentration en contaminants (eau, sédiment et biote) - Primaire <i>Dans les eaux côtières ou territoriales, les concentrations de contaminants ne dépassent pas les valeurs seuils suivantes :</i> a) pour les contaminants retenus conformément au point 1) a) des éléments constitutifs des critères, les valeurs fixées conformément à la directive 2000/60/CE ; b) lorsque des contaminants visés au point a) sont mesurés dans une matrice pour laquelle aucune valeur n'a été fixée conformément à la directive 2000/60/CE, les États membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional pour établir la concentration seuil desdits contaminants dans cette matrice ; c) pour les autres contaminants retenus conformément au point 1) b) des éléments constitutifs des critères, les concentrations mesurées dans une matrice donnée (eaux, sédiment ou biote) pouvant donner lieu à des effets dus à la pollution. Les États membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional en vue d'établir ces concentrations seuils, en tenant compte de leur application dans les limites et au-delà des eaux côtières et territoriales. <i>Au-delà des eaux côtières ou territoriales, les concentrations de contaminants ne dépassent pas les valeurs seuils suivantes :</i> a) pour les contaminants retenus conformément au point 2) a) des éléments constitutifs des critères, les valeurs applicables dans les eaux côtières et territoriales ; b) pour les contaminants retenus conformément au point 2) b) des éléments constitutifs des critères, les concentrations pour une matrice donnée (eaux, sédiment ou biote) pouvant donner lieu à des effets dus à la pollution. Les États membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional en vue d'établir ces concentrations seuils.	<i>Échelle d'évaluation :</i> - Dans les eaux côtières et territoriales, telles que définies dans la directive 2000/60/CE ; - Au-delà des eaux territoriales, subdivisions de la région ou de la sous-région, divisées s'il y a lieu par des limites nationales. <i>Application des critères :</i> Le degré de réalisation du bon état écologique est exprimé de la manière suivante pour chaque zone évaluée : a) pour chaque contaminant évalué d'après le critère D8C1, indication des concentrations dudit contaminant, matrice utilisée (eaux, sédiment, biote), respect ou non des valeurs seuils, et proportion des contaminants évalués qui respectent les valeurs seuils, notamment en indiquant séparément les substances qui se comportent comme des substances persistantes, bioaccumulables et toxiques ubiquistes, telles que visées à l'article 8 bis, paragraphe 1, point a), de la directive 2008/105/CE ; b) pour chaque espèce évaluée d'après le critère D8C2, estimation de l'abondance de la population subissant des effets néfastes dans la zone d'évaluation ; c) Pour chaque habitat évalué d'après le critère D8C2, estimation de l'étendue subissant des effets néfastes dans la zone d'évaluation. L'utilisation du critère D8C2 dans l'évaluation globale du bon état écologique au titre du descripteur 8 est convenue au niveau régional ou sous-régional. Le cas échéant, les résultats de l'évaluation du critère D8C2 contribuent aux évaluations réalisées au titre des descripteurs 1 et 6.
Espèces et habitats menacés par les contaminants. Les États membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional en vue d'établir la liste de ces espèces (en précisant les tissus à analyser) et habitats.	D8C2 - Effets des contaminants sur la santé des espèces et l'état des habitats – Secondaire Les caractéristiques liées à la santé des espèces et à l'état des habitats (comme la composition en espèces et l'abondance relative des espèces dans des lieux subissant une pollution chronique, par exemple) ne subissent pas d'effets néfastes dus aux contaminants, notamment des effets cumulatifs et synergiques. Les États membres coopèrent au niveau régional ou sous-régional en vue d'établir ces effets négatifs et leurs valeurs seuils.	
Épisodes de pollution aiguë dus à des substances polluantes, telles que définies à l'article 2, point 2, de la directive 2005/35/CE du Parlement européen et du Conseil (1), dont le pétrole brut et autres composés similaires.	D8C3 - Durée et étendue spatiale des événements de pollution aiguë - Primaire L'étendue spatiale et la durée des épisodes significatifs de pollution aiguë sont réduites au minimum.	<i>Échelle d'évaluation :</i> Niveau régional ou sous-régional, divisé s'il y a lieu par des limites nationales. <i>Application des critères :</i> Le degré de réalisation du bon état écologique est exprimé de la manière suivante pour chaque zone évaluée : estimation de l'étendue spatiale totale des épisodes significatifs de pollution aiguë et répartition et durée totale par année de ces épisodes. Ce critère doit servir à déclencher l'évaluation du critère D8C4.
Espèces des groupes d'espèces énumérés au tableau 1 de la partie II de la décision révisée, et grands types d'habitats benthiques énumérés au tableau 2 de ladite partie.	D8C4 - Effets néfastes des épisodes significatifs de pollution aiguë sur la santé des espèces et la condition des habitats - Secondaire (à utiliser en cas d'épisode significatif de pollution aiguë) Les effets néfastes des épisodes significatifs de pollution aiguë sur la santé des espèces et l'état des habitats (comme la composition en espèces et l'abondance relative des espèces) sont réduits au minimum et, si possible, éliminés.	<i>Échelle d'évaluation :</i> La même que celle utilisée pour l'évaluation des groupes d'espèces ou des grands types d'habitats benthiques au titre des descripteurs 1 et 6. <i>Application des critères :</i> Lorsque les effets spatio-temporels cumulés sont importants, les résultats de l'évaluation du critère D8C4 contribuent aux évaluations réalisées pour les descripteurs 1 et 6, en fournissant : a) une estimation de l'abondance de chaque espèce subissant des effets néfastes ; b) une estimation de l'étendue de chaque grand type d'habitat subissant des effets néfastes. L'utilisation du critère D8C4 dans l'évaluation globale du bon état écologique au titre du descripteur 8 est convenue au niveau régional ou sous-régional.

2 Etat des connaissances

2.1 Eléments recherchés et méthodes utilisées

Les premières publications en toxicologie des tortues marines datent de 1974. A ce jour les études toxicologiques publiées ont porté principalement sur *Caretta caretta* et *Chelonia mydas* et dans une moindre mesure sur 4 autres espèces de tortues marines (*Dermochelys coriacea*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys kempii* and *Lepidochelys olivacea*) (Tableaux 2&3).

Différents éléments ont été recherchés dans les tissus des individus examinés dans différentes régions du monde. Il s'agit en particulier des métaux et éléments essentiels (Ag, Cd, Cu, Pb, Fe, Zn, Hg, Se ; Tableau 2) et des polluants organiques rémanents (POPs incluant les composés biphényl chlorés, les organochlorés et l'hexachlorobenzène HCB et autres PFCs ; Tableau 3, voir également Keller et al 2013 pour revue). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont également recherchés, notamment lorsque des marées noires se sont produites dans les régions considérées (Tableau 3). En Méditerranée, Casini et al (2018) ont mesuré les taux de HAP (carcinogènes, à poids moléculaire élevé et faible, totaux) sur 40 tortues Caouannes. Du fait de la pollution croissante des mers et océans par les déchets, les polluants organiques sont également recherchés en tant qu'éléments adsorbés par les déchets en plastique (Hutchinson & Simmonds 1992, Teuten et al. 2009), de même que les plastifiants tels que le Bisphénol A et Phtalates (Plastic Buster 2017, Tableau 5). Parmi les éléments non réglementés, les composés perfluoroalkylés (PFAS) sont des contaminants chimiques d'origine anthropique utilisés depuis plusieurs décennies dans des applications industrielles et domestiques pour leurs propriétés de surfactants et en tant qu'additifs lors de la production de polymères fluorés (Prevedouros et al. 2006). Si le PFOS (perfluorooctane sulfonate) est aujourd'hui réglementé, les PFAS à longues chaînes carbonées et leurs précurseurs sont encore produits (Wang et al. 2014) et sont retrouvés dans des écosystèmes marins, l'océan étant en effet reconnu comme leur réservoir principal (Johansson 2019). Ce sont des contaminants d'intérêt émergent, reconnus comme toxiques pour les organismes aquatiques en particulier pour leurs effets de perturbateurs endocriniens (Lee et al. 2020). Les données d'occurrence de ces composés chez les tortues marines restent très limitées (Pasanisi et al. 2016); au niveau national, elles sont à notre connaissance inexistantes.

Tableau 2. Liste des contaminants inorganiques explorés chez les tortues marines et références des publications correspondantes. Les régions potentiellement d'intérêt pour fournir des valeurs de base lors d'une évaluation européenne pour la Caouanne et la Luth sont indiquées en gras. En dehors de l'Ag, on note que tous les contaminants inorganiques ont été explorés pour la Caouanne.

Métaux lourds	Organe	Espèce(s)	Régions	Références
Ag	Muscle, foie, rein, graisse, poumons, écailles, sang	<i>C. mydas</i>	Sud-est Atlantique (Brésil) Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Pacifique (Californie)	Anan et al. 2001, Lam et al. 2004, Silva et al. 2014, Ka Yan Ng et al. 2018, Barraza et al. 2019
	Muscle, foie, rein	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon)	
Cd	Muscle, foie, rein, estomac, graisse, écailles, sang, œufs, vessie, poumons, vessie	<i>C. mydas</i>	Sud-est Atlantique (Brésil) Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique) Caraïbes (Costa Rica) Méditerranée orientale Mer d'Oman Pacifique (Californie)	Caurant et al. 1999, Godley et al. 1999, Anan et al. 2001, Kaska et al. 2004, Lam et al. 2004, Fitzgerald 2004, Maffucci et al. 2005, Storelli et al. 2005, Andreani et al. 2008, Innis et al. 2008, García-Fernández et al. 2009, Jerez et al. 2010, Silva et al. 2014, Buccia et al. 2015, Ley-Quirón et al. 2017, Nicolau et al. 2017, Novillo et al. 2017, Sinaei & Bolouki 2017, Ka Yan Ng et al. 2018, Casini et al. 2018, Barraza et al. 2019, Guzman et al. 2020
	Muscle, carapace, cerveau, cœur, poumons, ovaires, rate, estomac, intestin, foie, rein, vessie, graisse, pancréas, sang, os, peau	<i>C. caretta</i>	Atlantique nord-est (France) Baja Peninsula (Mexique) Méditerranée occidentale et orientale, Mer Adriatique Mer tyrrhénienne Atlantique (Portugal) Îles Canaries (Espagne)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique)	
	Foie, sang	<i>L. kempii</i>	Atlantique nord-est (France) Cape Cod (Etats Unis)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>L. olivacea</i>	Baja Peninsula (Mexique)	

	Muscle, cœur, poumons, ovaires, rate, estomac, intestin, foie, rein, pancréas, œufs	<i>D. coriacea</i>	Atlantique nord-est (France) Bocas del Toro (Panama)	
Cu	Muscle, foie, rein, graisse, cœur, poumons, estomac, écailles, sang, œufs, vessie	<i>C. mydas</i>	Sud-est Atlantique (Brésil) Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique) Caraïbes (Costa Rica) Mer d'Oman Pacifique (Californie) Méditerranée	Caurant et al. 1999, Anan et al. 2001, Kaska et al. 2004, Lam et al. 2004, Fitzgerald 2004, Maffucci et al. 2005, Storelli et al. 2005, Andreani et al. 2008, Innis et al. 2008, García-Fernández et al. 2009, Silva et al. 2014, Bucchia et al. 2015, Ley-Quirón et al. 2017, Nicolau et al. 2017, Sinaei & Bolouki 2017, Ka Yan Ng et al. 2018, Barraza et al. 2019, Guzman et al. 2020
	Muscle, carapace, cerveau, cœur, poumons, ovaires, rate, estomac, intestin, foie, rein, vessie, graisse, pancréas, sang	<i>C. caretta</i>	Atlantique nord-est (France) Baja Peninsula (Mexique) Méditerranée, Adriatique Mer tyrrhénienne Atlantique (Portugal) Îles Canaries (Espagne)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique)	
	Foie, sang	<i>L. kempii</i>	Atlantique nord-est (France) Cape Cod (Etats Unis)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>L. olivacea</i>	Baja Peninsula (Mexique)	
	Muscle, cœur, poumons, ovaires, rate, estomac, intestin, foie, rein, pancréas, œufs	<i>D. coriacea</i>	Atlantique nord-est (France) Bocas del Toro (Panama)	
Fe	Muscle, foie, rein, graisse, écailles, sang, poumons, vessie	<i>C. mydas</i>	Baja Peninsula (Mexique) Caraïbes (Costa Rica) Mer de Chine Pacifique (Californie) Méditerranée orientale	Fitzgerald 2004, Kaska et al. 2004, Storelli et al. 2005, Andreani et al. 2008, Ka Yan Ng et al. 2018, Barraza et al. 2019, Guzman et al. 2020
	Muscle, foie, rein, graisse, gonades, poumons, cœur, pancréas, rate, vessie	<i>C. caretta</i>	Baja Peninsula (Mexique) Méditerranée, Adriatique	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>E. imbricata</i>	Baja Peninsula (Mexique)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>L. olivacea</i>	Baja Peninsula (Mexique)	
	Œufs	<i>D. coriacea</i>	Bocas del Toro (Panama)	
Pb	Muscle, foie, rein, graisse, cœur, poumons, estomac, écailles, sang, œufs, vessie	<i>C. mydas</i>	Sud-est Atlantique (Brésil) Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique) Caraïbes (Costa Rica) Méditerranée orientale Mer d'Oman Pacifique (Californie)	Godley et al. 1999, Anan et al. 2001, Kaska et al. 2004, Lam et al. 2004, Fitzgerald 2004, Storelli et al. 2005, Andreani et al. 2008, García-Fernández et al. 2009, Jerez et al. 2010, Silva et al. 2014, Bucchia et al. 2015, Ley-Quirón et al. 2017, Nicolau et al. 2017, Novillo et al. 2017, Sinaei & Bolouki 2017, Ka Yan Ng et al. 2018, Casini et al. 2018, Barraza et al. 2019, Guzman et al. 2020
	Muscle, foie, rein, graisse, poumons, cœur, gonades, pancréas, os, cerveau, sang, rate, peau, vessie, carapace	<i>C. caretta</i>	Baja Peninsula (Mexique) Méditerranée occidentale et orientale, Mer Adriatique Atlantique (Portugal) Îles Canaries (Espagne)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>L. olivacea</i>	Baja Peninsula (Mexique)	
	Œufs	<i>D. coriacea</i>	Bocas del Toro (Panama)	
Zn	Muscle, foie, rein, graisse, cœur, poumons, estomac, écailles, sang, œufs	<i>C. mydas</i>	Sud-est Atlantique (Brésil) Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique) Caraïbes (Costa Rica) Mer d'Oman Pacifique (Californie)	Caurant et al. 1999, Anan et al. 2001, Lam et al. 2004, Maffucci et al. 2005, Storelli et al. 2005, Andreani et al. 2008, Innis et al. 2008, García-Fernández et al. 2009, Jerez et al. 2010, Silva et al. 2014, Bucchia et al. 2015, Ley-Quirón et al. 2017, Nicolau et al. 2017, Sinaei & Bolouki 2017, Ka Yan Ng et al. 2018, Barraza et al. 2019, Guzman et al. 2020
	Muscle, carapace, cerveau, cœur, poumons, ovaires, rate, gras, estomac, intestin, foie, rein, vessie, graisse, cœur, pancréas, os, sang, peau	<i>C. caretta</i>	Atlantique nord-est (France) Baja Peninsula (Mexique) Méditerranée, Mer Adriatique Mer tyrrhénienne Atlantique (Portugal) Îles Canaries (Espagne)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique)	
	Foie, sang	<i>L. kempii</i>	Atlantique nord-est (France) Cape Cod (Etats Unis)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>L. olivacea</i>	Baja Peninsula (Mexique)	
	Muscle, cœur, poumons, ovaires, rate, estomac, intestin, foie, rein, pancréas, œufs	<i>D. coriacea</i>	Atlantique nord-est (France) Bocas del Toro (Panama)	
Hg	Muscle, foie, rein, graisse, cœur, poumons, estomac, sang, œufs, écailles	<i>C. mydas</i>	Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Méditerranée orientale Mer d'Oman Pacifique (Californie)	Godley et al. 1999, Anan et al. 2001, Lam et al. 2004, Maffucci et al. 2005, Storelli et al. 2005, Innis et al. 2008, Jerez et al. 2010, Bucchia et al. 2015, Ley-Quirón et al. 2017, Nicolau et al. 2017, Novillo et al. 2017, Sinaei & Bolouki 2017, Casini et al. 2018, Barraza et al. 2019, Gómez-Ramírez et al. 2020,

	Muscle, foie, rein, sang, graisse, poumons, cœur, rate, cerveau, os, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	Mer tyrrhénienne Méditerranée occidentale et orientale, Mer Adriatique Atlantique (Portugal) Îles Canaries (Espagne)	Guzman et al. 2020
	Muscle, foie, rein	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon)	
	Blood, foie, carapace	<i>L. kempii</i>	Cape Cod (Etats Unis)	
	Œufs	<i>D. coriacea</i>	Bocas del Toro (Panama)	
Se	Muscle, foie, rein, graisse, cœur, poumons, estomac, écailles, sang, vessie	<i>C. mydas</i>	Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique) Pacifique (Californie) Méditerranée orientale	Anan et al. 2001, Fitzgerald 2004, Kaska et al. 2004, Lam et al. 2004, Maffucci et al. 2005, Storelli et al. 2005, Innis et al. 2008, Jerez et al. 2010, Nicolau et al. 2017, Ley-Quiñónez et al. 2017, Ka Yan Ng et al. 2018, Barraza et al. 2019, Guzman et al. 2020
	Muscle, foie, rein, graisse, sang, poumons, cœur, rate, cerveau, peau, os, vessie	<i>C. caretta</i>	Baja Peninsula (Mexique) Atlantique (Portugal) Méditerranée orientale et occidentale, Mer tyrrhénienne	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique)	
	Blood	<i>L. kempii</i>	Cape Cod (Etats Unis)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>L. olivacea</i>	Baja Peninsula (Mexique)	
	Œufs	<i>D. coriacea</i>	Bocas del Toro (Panama)	
Mn	Foie, rein, graisse, muscle, cœur, poumons, estomac, écailles, sang	<i>C. mydas</i>	Caraïbes (Costa Rica) Mer de Chine Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique) Pacifique (Californie)	Anan et al. 2001, Fitzgerald 2004, Lam et al. 2004, Andreani et al. 2008, Ley-Quiñónez et al. 2017, Nicolau et al. 2017, Ka Yan Ng et al. 2018, Barraza et al. 2019, Guzman et al. 2020
	Muscle, foie, rein, graisse, poumons, cœur, gonades, pancréas, sang	<i>C. caretta</i>	Méditerranée, Adriatique Baja Peninsula (Mexique) Atlantique (Portugal)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>E. imbricata</i>	Ile Yaeyama (Japon) Baja Peninsula (Mexique)	
	Muscle, foie, rein, graisse	<i>L. olivacea</i>	Baja Peninsula (Mexique)	
	Œufs	<i>D. coriacea</i>	Bocas del Toro (Panama)	
As	Muscle, foie	<i>C. caretta</i>	Mer Adriatique	Storelli & Marcotrigiano 2000, Fujihara et al. 2003
	Foie	<i>C. mydas</i>	Île Ishigaki (Japon)	
	Foie	<i>E. imbricata</i>	Île Ishigaki (Japon)	

Tableau 3. Liste des polluants organiques rémanents explorés chez les tortues marines et références des publications correspondantes.

Polluants organiques rémanents (POP)	Organe	Espèce	Régions	Références
Biphényles polychlorés (PCB)	Œufs, graisse, muscle, foie, sang, rein, poumons	<i>C. caretta</i>	Cape Island (Etats Unis) Côte nord-ouest Floride (Etats Unis) Caroline du Nord (Etats Unis) Mer Adriatique Méditerranée occidentale et orientale Îles Canaries (Espagne) Cap Vert Baja California Caroline de Nord/Virginie (Etats Unis)	Aguirre et al. 1994, Rybitski et al. 1995, Cobb & Wood 1997, Alam & Brim 2000, Corsolini et al. 2000, Gardner et al. 2003, Keller et al. 2006, 2004, Storelli et al. 2007, Orós et al. 2009, Lazar et al. 2011, Camacho et al. 2013, Bucchia et al. 2015, Cocci et al. 2018, Barraza et al. 2020
	Foie, graisse, rein, muscle, cerveau, sang	<i>C. mydas</i>	Îles Canaries Baja California Hawaii Pacifique (Californie)	
	Foie, rein, graisse, muscle	<i>L. olivacea</i>	Baja California	
	Foie, rein, graisse, muscle	<i>L. kempii</i>	Caroline de Nord/Virginie (Etats Unis)	
	Foie, graisse	<i>D. coriacea</i>	Îles Canaries (Espagne)	
Pesticides organochlorés (OC) et hexachlorobenzène (HCB)	Œufs, graisse, sang, muscle, rein, foie, poumons, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	Côte nord-ouest Floride (Etats Unis) Caroline du Nord (Etats Unis) Virginie (Etats Unis) Méditerranée occidentale et orientale Mer Adriatique Îles Canaries (Espagne) Cap Vert Baja California	Aguirre et al. 1994, Rybitski et al. 1995, McKenzie et al. 1999, Alam & Brim 2000, Gardner et al. 2003, Keller et al. 2004, 2006, Storelli et al. 2007, Monagas et al. 2008, Innis et al. 2008, Lazar et al. 2011, Camacho et al. 2013, Bucchia et al. 2015, Casini et al. 2018, Barraza et al. 2020
	Foie, rein, graisse, muscle, cerveau, sang	<i>C. mydas</i>	Baja California Méditerranée orientale Hawaii Pacifique (Californie, Etas-Unis)	
	Foie, rein, graisse, muscle	<i>L. olivacea</i>	Baja California	
	Sang, foie, rein, graisse, cerveau, muscle	<i>L. kempii</i>	Cape Cod (Etats Unis) Caroline de Nord/Virginie (Etats Unis)	

	Foie, graisse	<i>D. coriacea</i>	Côtes écossaises	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH)	Œufs, sang, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	Côte nord-ouest Floride (Etats Unis) Îles Canaries Cap Vert Mer Adriatique	Alam & Brim 2000, Camacho et al. 2012, 2013, Bucchia et al. 2015, Casini et al. 2018, Cocci et al. 2018
Composés perfluoroalkylés (PFAS)	Foie, sang	<i>L. olivacea</i>	Oaxaca (Mexique)	Pasanisi et al. 2016

Jusque récemment, les analyses portaient sur des échantillons de tortues mortes et d'œufs. Depuis quelques années, les campagnes en mer et les centres de soins permettent le prélèvement et la préservation dans des conditions appropriées de sang et d'autres échantillons sur des tortues vivantes, ce qui a permis de travailler sur les biomarqueurs.

Les études utilisant des biomarqueurs¹ pour rechercher l'exposition aux- et les effets des- métaux et contaminants sur les tortues marines figurent au Tableau 4. Les différentes techniques mises au point au fil du temps permettent aujourd'hui la détection de biomarqueurs associés à la présence dans les tissus des tortues marines examinées de substances toxiques et de mettre en évidence un stress cellulaire oxydatif, une génotoxicité, des effets délétères sur la reproduction (oestrogéniques), le système immunitaire et des effets neurotoxiques (Tableau 4 ; Casini, 2015 ; Casini et al, 2018). Dans le cas du CYP1A Casini et al 2010 ont prélevé de manière non invasive des tissus puis les ont exposés au PCB pour voir s'il y avait activation du CYP1A. L'activité du CYP1A dans le foie de 3 espèces de tortues marines exposées aux PCB est très limitée contrairement aux mammifères (Richardson et al 2010).

Chez les individus morts, les tissus prélevés sont dans la plupart des cas le muscle, le rein et le foie pour mesurer l'accumulation des métaux, et la graisse et le foie pour les composants organiques (Tableaux 2 et 3). Sur les tortues vivantes, les échantillons principaux utilisés sont le sang et les fragments de peau (Tableaux 2 et 3).

Tableau 4. Biomarqueurs mis en évidence et tests effectués chez les tortues marines.

Biomarqueur	Effecteurs (révélateurs de)	Effets	Tissus utilisés	Espèce(s)	Références
Métallothionéine (MT)	Métaux lourds	Détoxification métaux et antioxydant	Foie, rein	<i>C. mydas</i> <i>C. caretta</i>	Andreani et al. 2008
Vitellogénine	Xénoestrogènes, oestradiol-17β	Reproduction	Sang, peau, carapace	<i>C. mydas</i> <i>C. caretta</i>	Herbst et al. 2003, Sifuentes-Romero et al. 2006, Casini et al. 2010, 2018
Expression protéique du CYP1A (induction sur biopsie de peau)	Contaminants liposolubles (OC, PAH, PBDE)	Métabolisme xénobiotique	Sang, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	Casini et al. 2010, 2018, Cocci et al. 2018
Butyrylcholinestérase (BChE)	Pesticides organochlorés	Neurotoxicité	Sang, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	Casini et al. 2010, 2018
Porphyrines	Métaux lourds, PAHs, PCBs	Synthèse hémoglobine	Fèces	<i>C. mydas</i>	Berrondo 2007, Silva & López-Barrera 2016
ALT AST, γGT	OC, PAH, PBDE	Stress hépatique et rénal	Sang, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	Casini et al. 2010, 2018
Comet Assay et ENA (erythrocyte nuclear abnormalities)		Génotoxicité Dommages ADN	Sang, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	(Casini et al. 2010, 2018, Caliani et al. 2014)
HSP-60, ERα	PAHs, PCBs	Méthylation de l'ADN	Sang	<i>C. caretta</i>	Cocci et al. 2018
LPO	Contaminants lipophiles	Stress oxydatif	Sang, peau, carapace	<i>C. caretta</i>	Casini et al. 2018

Il est également possible d'étudier les effets des polluants sur les cultures de cellules fibroblastes. Ainsi, Webb et al (2014) rapporte que le test de cytotoxicité du Métallothionéine et les mesures de l'expression du gène CYP1A sont des méthodes viables pour investiguer l'impact de l'exposition aux contaminants organiques sur les cellules de tortues marines. La cytotoxicité du Hg inorganique a été étudiée sur des cellules de la tortue verte (Wang et al 2013). Wise et al (2014) ont pour leur part mis en évidence une cyto- et géno-toxicité du CrVI, connu pour ses effets carcinogènes et son usage fréquent, sur les cellules de tortue imbriquée.

¹ Un biomarqueur est chaque variation biochimique, cellulaire, physiologique ou comportementale qui peut être mesurée dans un tissu, dans un fluide biologique ou au niveau de l'organisme ou de la population, et fournit la preuve de l'exposition à-, et/ou un effet dû à-un ou plusieurs polluants (et/ou radiations).

En Europe, des méthodes d'étude et tests non invasifs sont développées sur la mégafaune marine, depuis plus de 15 ans notamment en Italie (Andreani et al 2008, Zaccaroni et al 2009, Casini et al 2010, Caliani et al 2014, Casini et al 2015, Casini et al 2018, Cocci et al 2018). Une étude menée entre 2001 et 2004 par l'Université de Sienne (Italie) sur des échantillons de fèces, de sang, biopsies de peau, carapace (Figure 1) de 155 Caouannes immatures et adultes en Méditerranée occidentale a permis de montrer quelles méthodes peuvent être utilisées (Figure 1) et en quoi la Caouanne constitue une bonne espèce sentinelle du Bon Etat Ecologique (Casini et al. 2010, Casini 2015). Casini et al 2018 confirment plus tard sur 75 caouannes prélevées dans les centres de soins d'Italie et en milieu naturel en Espagne, et grâce aux tests et travaux de mise au point conduits, que des méthodes non invasives peuvent permettre de suivre les niveaux de contaminants et les réponses biologiques associées chez les tortues marines par une approche comparable à celle validée pour les invertébrés et les poissons. Ceci constitue une étape cruciale en vue de la définition des indicateurs de contamination chimique et de leurs effets pour le descripteur 8 chez les espèces sauvages du biota marin.

Certains travaux s'appliquent par ailleurs à étudier les effets sur les cultures de cellules fibroblastes. Ainsi, Webb et al (2014) rapporte que le test de cytotoxicité du Méthallothionéine et les mesures de l'expression du gène CYP1A sont des méthodes viables pour investiguer l'impact de l'exposition aux contaminants organiques sur les cellules de tortues marines. La cytotoxicité du Hg inorganique a été étudiée sur des cellules de tortue verte par Wang et al (2013). Wise et al (2014) ont pour leur part mis en évidence une cyto-et une génotoxicité du CrVI sur les cellules de tortue imbriquée.

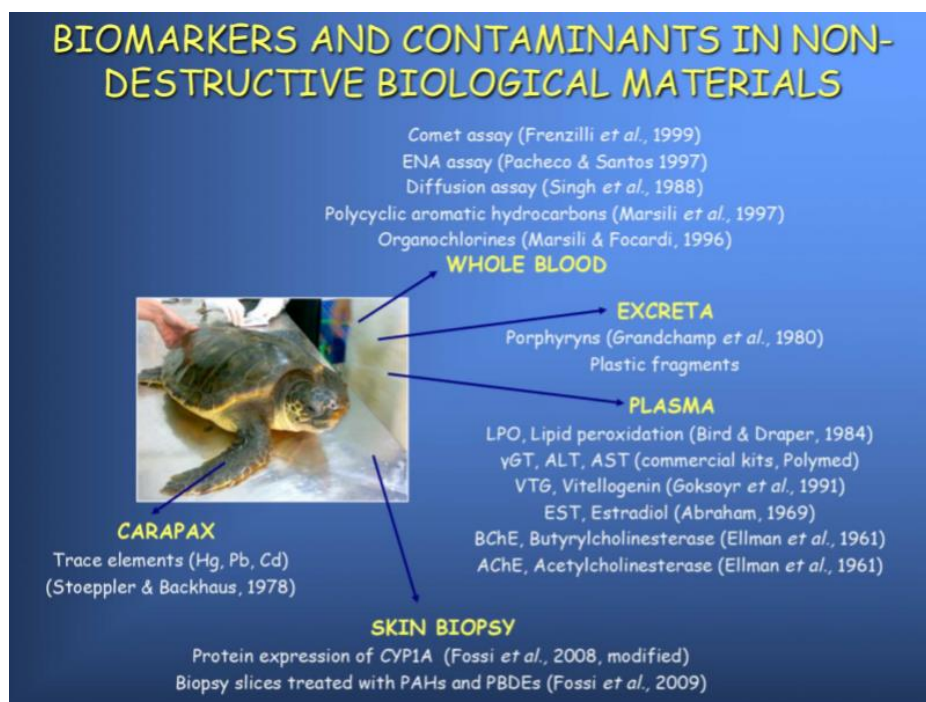


Figure 1. Méthodes et biomarqueurs utilisés, et contaminants recherchés chez la tortue Caouanne, par l'Université de Sienne (Italie) par type d'échantillon. Les références des travaux décrivant la méthode d'analyse utilisée figurent entre parenthèses. D'après Casini, 2015.

En conclusion, l'étude de la littérature indique que les éléments recherchés chez les tortues marines à ce jour figurent pour la plupart sur la liste des contaminants faisant l'objet d'une surveillance du Descripteur 8 de la DCSMM, qui eux-mêmes correspondent aux dispositions pertinentes de la Directive cadre sur l'eau (2000/60/CE du 23/10/2000) et des conventions sur les mers régionales (e.g. OSPAR et Barcelone pour les sous-régions marines françaises) et aux substances ou groupes de substances affectant l'environnement marin (Ifremer 2018). De plus, des biomarqueurs permettent désormais de mesurer les effets de ces polluants sur les tortues marines, comme cela est le cas sur les espèces de production (pêche et aquaculture, voir 2.4.1).

2.2 Effets sur les espèces et les populations

La mise en évidence des effets des métaux et polluants organiques persistants à l'échelle de l'individu et des populations est difficile, dans la mesure où des études toxicologiques ne peuvent être menées sur les tortues marines, espèces généralement protégées en raison des menaces qui pèsent sur leur survie. C'est la raison pour laquelle une surveillance sur le long terme pour obtenir des séries longues de données, et l'approche par biomarqueurs sont précieuses (Godley et al. 1999, Hamann et al. 2010).

Les effets potentiels des métaux lourds sur les tortues marines ont été explorés par plusieurs auteurs (Godley et al. 1999, Maffucci et al. 2005, Guirlet et al. 2008, García-Fernández et al. 2009). Il est intéressant de noter qu'avant l'interprétation des résultats, il est utile d'investiguer les corrélations éventuelles entre métaux essentiels et non essentiels dans les tissus. En effet, les travaux de Silva et al. (2014) suggèrent que les métaux essentiels (Cu & Zn) induiraient la synthèse de métallothionéines qui protégeraient l'organisme des effets toxiques potentiels des métaux non essentiels (Ag, Cd & Pb) (Miles et al. 2000, Coyle et al. 2002). C'est la raison pour laquelle ces protéines sont proposées comme biomarqueurs d'exposition par Andreani et al (2008).

Plusieurs travaux ont pu établir des corrélations entre l'exposition et les effets des polluants perturbateurs endocriniens sur la faune (EEA 2012, Mathieu-Denoncourt et al 2015, Tubbs & McDonough 2018). Chez les Reptiles sur des embryons de Caïman à museau large (*Caiman latirostris*) et de tortues à tempes rouges (*Trachemys scripta*) chez lesquels un risque d'inversion de sexe est mis en évidence (Bergeron et al. 1994, Stoker et al. 2003) et chez la tortue verte *Chelonia mydas* des effets sur les interactions stéroïdes sexuels-protéines (Ikonomopoulou et al. 2009 (Bergeron et al. 1994, Stoker et al. 2003, Ikonomopoulou et al. 2009, EEA 2012, Tubbs & McDonough 2018).

Chez les tortues marines, les effets directs des marées noires (mortalité plus élevée et développement defectueux des œufs, mortalité des nouveau-nés, juvéniles et adultes, affections de la peau, de l'appareil digestif et des glandes à sel) et indirects (impact sur le système sanguin, l'immunité) ont été rapportés par différents auteurs (Chan & Liew 1994, Milton et al. 2003), mettant en évidence l'impact potentiel ultérieur sur la dynamique des populations des espèces affectées.

Les effets des organochlorés sur les paramètres hématologiques et l'immunité de la tortue Caouanne ont été mis en évidence (Keller et al. 2004, 2006). Chez la tortue verte l'hypothèse d'induction de la fibropapillomatose par les contaminants émise par Hutchinson & Simmonds (1992) a été investiguée par Foley et al. (2005).

Les polluants organiques adsorbés sur- et les composants relargués par- les déchets plastiques après ingestion par les tortues marines sont également susceptibles de produire des effets délétères chez ces espèces (Santos et al. 2015). Le projet européen méditerranéen Plastic Buster propose la surveillance de ces additifs (phtalates, bisphénol A, PBDE) et composés adsorbés (hydrocarbures polycycliques aromatiques, organochlorés, mercure) (Tableau 5 ; Plastic Buster 2017).

Tableau 5. Analyses de contaminants liés à la pollution plastique pouvant être mises en œuvre sur la mégafaune marine (d'après Plastic Buster 2017)

	Composé chimique	Tissu/échantillon	Méthode analytique
Matières plastiques	Phthalates	Gras, muscle, foie	Fossi et al. 2014, Bains et al. 2017
		Sang	Takatori et al. 2004
		Glande uropygienne	Hardesty et al. 2015
	Bisphenol A	Muscle	Ballesteros-Gómez et al. 2009
		Gras	Xue & Kannan 2016
		Sang	Cobellis et al. 2009
Composés adsorbés	Polybromodiphényléther	Gras, muscle, foie, sang	Muñoz-Arnanz et al. 2016
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Gras, muscle, foie, sang	Marsili et al. 2001
	Composés organochlorés	Gras, muscle, foie, sang	Marsili & Focardi 1997

	Mercure	Sang, peau	Correa et al. 2013
--	---------	------------	--------------------

2.3 Facteurs de bioaccumulation

Les travaux publiés indiquent que les différences du degré d'accumulation dépendent des facteurs suivants : espèce, taille, type de tissu, comportement alimentaire et facteurs liés à l'environnement (benthique ou pélagique, niveau trophique, aliments, taux de croissance) (Caurant et al. 1999, Gardner et al. 2006, Keller et al. 2006, Talavera-Saenz et al. 2007, Innis et al. 2008, Pugh & Becker 2011). Chez la femelle Luth nidifiante, Guirlet et al (2008) montrent que la concentration sanguine de Cu a diminué tandis que les taux sanguins de Pb ont augmenté pendant la saison de nidification ; ceci pourrait être lié à la forte demande en Cu de l'organisme pendant la saison de reproduction, et aux besoins en calcium avec mobilisation concomitante de Pb pour la production d'œufs.

Le sexe ne semble pas être un facteur déterminant. En effet, il n'a pas été trouvé de différence significative entre les concentrations des métaux et contaminants organiques dans les tissus chez les mâles et les femelles de tortue verte au Brésil (Silva et al. 2014) ni chez la Caouanne en Méditerranée (Franzellitti et al. 2004, Maffucci et al. 2005, Andreani et al. 2008). Chez la tortue Luth, une transmission maternelle d'éléments traces essentiels (cuivre, zinc, sélénium) et de métaux non essentiels (cadmium, plomb, mercure) dans les œufs a été mise en évidence en Guyane par Guirlet et al (2008). Les niveaux de métaux toxiques présents dans le sang des mères et leurs œufs étaient inférieurs aux éléments essentiels, ce qui pourrait être lié la nature pélagique des tortues Luth qui semble limiter l'exposition aux éléments toxiques. Des relations significatives entre les concentrations sanguines et d'œufs ont été observées pour le Se et le Cd. Le Se pourrait avoir un rôle important dans le développement embryonnaire des tortues luth et le transfert de Cd pourrait être lié à des protéines porteuses similaires au Se. Toutefois, en Floride, selon Perrault et al (2011) la dégénération des muscles squelettique et cardiaque des nouveau-nés de luth sur les plages de Floride et le faible taux d'éclosion et d'émergence des nids pourrait être liés à la l'exposition prolongée au mercure des mères, et à une carence résultant de la consommation de sélénium nécessitée par la détoxification du mercure par le foie.

Chez la verte, une certaine variabilité de concentration des métaux a été observée en fonction des régions et du stade de développement (voir Carneiro & Lopez-Barrera 2016 et Camacho et al 2017 pour références). Contrairement à la Luth et à la Caouanne, carnivores tout au long de leur cycle biologique, la tortue verte n'est carnivore qu'au stade immature et herbivore au stade adulte, les auteurs avancent qu'il est possible qu'une moindre concentration de contaminants métalliques dans les tissus de cette espèce reflète davantage la bioaccumulation due au niveau trophique qu'une variabilité environnementale.

En pratique, il est donc important d'identifier à quel niveau trophique se situent les individus prélevés. Les isotopes stables de carbone et d'azote permettent d'identifier le niveau trophique des individus et constituent chez les tortues marines de bons marqueurs de l'habitat (Zbinden et al. 2011, Cardona et al. 2014, Haywood et al. 2020).

De plus, Camacho et al (2017) recommande également d'effectuer un échantillonnage avec tous les stades pour minimiser les risques de biais dus au critère « taille ».

La durée de rémanence et la stabilité des contaminants organiques dans l'environnement constituent un autre facteur de bioaccumulation. Ainsi, il a été constaté chez la verte que comparés aux pesticides organochlorés, les PCB sont prédominants dans les tissus non seulement en raison de leur biodisponibilité dans l'environnement mais aussi en raison de leur haute stabilité (Lorente 2010).

En revanche, la concentration de contaminants hydrocarbures polycycliques aromatiques mesurée chez les tortues vivantes suite à une marée noire, peut diminuer rapidement avec le temps, de sorte qu'il est important que les échantillons soient prélevés immédiatement après la prise en charge des animaux (Casini 2015, Camacho et al. 2017).

2.4 Surveillance et évaluation des contaminants et de leurs effets sur le biota

2.4.1 Bivalves et poissons

Durant le cycle précédent, le programme de surveillance D8 a suivi un certain nombre d'espèces consommées par l'homme (bivalves, poissons) faisant déjà l'objet d'une surveillance avant la DCSMM grâce aux réseaux en place (Ifremer 2018) et pour lesquelles des indicateurs existent dans le cadres des conventions des mers régionales (Tableau 6). Les éléments analysés sont les métaux (Cd, Hg, Pb, As, Cr, Cu, Ni, Zn), différents contaminants (pesticides, solvants etc.) et biomarqueurs appliqués sur les échantillons prélevés par les réseaux Ifremer (RINBIO, RNOMV, CONTAMED, REMTOX etc.) et dans le cadre des campagnes en mer telles que ICON, BIOCO etc. dans les différentes sous-régions ; l'évaluation fait appel à des indicateurs développés par leurs propres biostatisticiens (Tableau 6, Ifremer 2018).

Tableau 6. Indicateurs suivis dans le cadre de l'évaluation du descripteur 8 de la DCSMM par la France en 2018 (fond vert), ou dont l'évaluation a été considérée mais non finalisée (fond rouge) ; et lien avec les indicateurs des conventions des mers régionales (d'après Ifremer 2018).

Critère	Indicateurs	Indicateur des conventions des mers régionales		Remarques
		Indicateurs	Utilisation	
D8C1	Contaminants dans le sédiment	OSPAR - indicateurs communs : métaux (Hg, Cd, Pb), PCB, HAP, PBDE, TBT dans le sédiment OSPAR - indicateurs candidats : HBCDD dans le sédiment MED POL - indicateur commun 17 : métaux (Hg, Cd, Pb), PCB, HAP, pesticides organochlorés (Aldrine, Dieldrine, Hexachlorobenzène, Lindane, DDT) dans le sédiment	Non	Indicateur inspiré des recommandations OSPAR et adapté aux récents développements des équipes de biostatisticiens d'Ifremer
D8C1	Contaminants chez les bivalves et poissons	OSPAR - indicateurs communs : métaux, PCB, HAP et PBDE dans le biote OSPAR - indicateurs candidats : HCB, HBCDD et TBT dans le biote MED POL - indicateur commun 17 : métaux (Hg, Cd, Pb), PCB, HAP, pesticides organochlorés (Aldrine, Dieldrine, Hexachlorobenzène, Lindane, DDT) dans le biote	Non	Indicateur inspiré des recommandations OSPAR et adapté aux récents développements des équipes de biostatisticiens d'Ifremer
D8C1	Contaminants chez les mammifères et oiseaux marins	Non	N/A	Données non centralisées et sous format non standardisé
D8C1	Contaminants dans l'eau	Non	N/A	Données non pertinentes
D8C2	Imposex	OSPAR - indicateurs communs : Imposex	Oui	N/A
D8C2	Biomarqueurs d'exposition et des effets chez les bivalves et poissons	OSPAR - indicateurs candidats : - Pathologies poissons (FDI) - Stabilité de la membrane lysosomale - Métabolites biliaires de HAP - EROD - Test des micronoyaux MED POL - indicateur commun 18 : - Stabilité de la membrane lysosomale - Stress on stress - AChE - Test des micronoyaux	Non	Indicateur développé par Ifremer
D8C2	Remtox : malformation larvaire chez l'huître creuse	Non	N/A	Données collectées mais métadonnées incomplètes (année de réalisation du test manquante)
D8C3	Evènements de pollution aiguë	OSPAR : Aucun indicateur MED POL - indicateur commun 19 : occurrence, origine (si possible), étendue des épisodes de pollution aiguë (e.g. nappes de pétrole, produits dérivés du pétrole, substances dangereuses)	Non	Données centralisées par le Cedre non disponibles/collectées
D8C4	Effets négatifs des épisodes de pollution aiguë	OSPAR : EcoQO oiseaux mazoutés MED POL - indicateur commun 19 : impact sur le biote des épisodes de pollution aiguë (e.g. nappes de pétrole, produits dérivés du pétrole,	Oui	N/A

		substances dangereuses)		
--	--	-------------------------	--	--

N/A : non applicable

Concernant les biomarqueurs, l'Ifemer (2018) intègre dans l'évaluation les résultats des tests suivants : Reprotoxicité (VTG) ; Marqueurs d'exposition aux HAP (métabolites biliaires OH-pyrène, OH-phénanthrène) ; Génotoxicité (adduits ADN, test des micronoyaux, test des comètes) ; Stress métabolique (inhibition AChE, EROD) (Tableau 7).

Tableau 7. Exemple présentant les types de biomarqueurs faisant l'objet d'analyses pour l'évaluation des effets dus à la pollution chimique sur les poissons en Manche-Mer du Nord dans le cadre du D8 de la DCSMM (d'après IFREMER 2018). En gras sur fond rouge : effet suspecté ; en orange : effet suspecté ou organisme stressé capable de compenser ; en bleu : effet non suspecté ; N_{BEE} : nombre de paramètres en Bon Etat Ecologique ; N_{tot} : nombre total de paramètres analysés.

Libellé de la station	Espèce	Marqueur d'expo HAP ¹		Stress métabolique ²		Génotoxicité ³				Reprotoxicité ⁴	
		Param. en BEE (%) (N _{BEE} /N _{tot})	Param. ≥ EAC	Param. en BEE (%) (N _{BEE} /N _{tot})	Param. ≤ EAC ⁵ ou ≥ BAC	Param. avec EAC en BEE (%) (N _{BEE} /N _{tot})	Param. ≥ EAC	Param. avec BAC en BEE assuré (%) (N _{BEE} /N _{tot})	Param. ≥ BAC	Param. en BEE assuré (%) (N _{BEE} /N _{tot})	Param. ≥ 50x BAC
Estuaire de Seine	Limande	100 (2/2)		100 (2/2)		100 (1/1)		0 (0/1)	Miconoyaux		
	Flet	100 (2/2)		100 (2/2)		100 (1/1)		0 (0/2)	Miconoyaux; comètes	0 (0/1)	VTG
Parfond	Limande	100 (2/2)		100 (2/2)		100 (1/1)		0 (0/1)	Miconoyaux		
	Flet	100 (2/2)		100 (2/2)		100 (1/1)		0 (0/1)	Comètes	0 (0/1)	VTG
% de stations*espèce en BEE par famille de biomarqueurs (nb en BEE/nb total)		100 (4/4)		100 (4/4)		100 (2/2)		BEE non assuré		BEE non assuré (Evaluation par rapport au BAC)	

¹ Paramètre de marquer d'exposition avec EAC : OH-pyrène, OH-phénanthrène (flet et limande).

² Paramètre de stress métabolique avec EAC : inhibition de l'AChE (fret et limande), avec BAC : EROD (flet et limande).

³ Paramètre de génotoxicité avec EAC : adduits à l'ADN (flet et limande), avec BAC : Test des micronoyaux (flet et limande, non mesuré à Parfond chez le flet) et des comètes (uniquement chez le flet).

⁴ Paramètres de reprotoxicité avec BAC : Concentrations en VTG (uniquement chez le flet).

⁵ pour l'inhibition de l'AChE, le paramètre n'est pas en BEE si l'activité enzymatique mesurée est inférieure ou égale à l'EAC.

2.4.2 Mammifères marins

Chez les Mammifères marins, un indicateur candidat « *Tendances et statut des PCBs chez les mammifères marins* » a été récemment proposé par le Groupe OSPAR d'Experts des Mammifères marins (OMMEG) (OMMEG 2019). Les concentrations de PCB sont mesurées à partir d'échantillons de graisse provenant d'animaux échoués morts ou de biopsies pratiquées sur des animaux vivants et selon les lignes directrices d'OSPAR pour la surveillance des contaminants dans le biote (Annexe technique 8 Détermination des chlorobiphényles dans le biote). Les paramètres notés pour chaque individu sont la cause du décès, l'état de santé, l'état nutritionnel, l'âge et le stade de maturité sexuelle. Les échantillons sont conditionnés dans du papier Aluminium et congelés à -20°C dans l'attente des analyses. Le nombre d'échantillons à prélever a été fixé arbitrairement. OMMEG (2019) évalue le coût prévisionnel de l'analyse PCB à 500 Euros par échantillon dans les laboratoires gouvernementaux et considère qu'il pourrait être plus bas dans les institutions académiques.

En 2019, une stratégie de surveillance pour les Mammifères marins en France a été proposée (Méndez-Fernandez et al. 2019). Ces auteurs notent que seuls les PCB et le mercure ont fait l'objet de tentatives de développement de seuils de toxicité, pour la plupart basés sur des résultats d'expérimentation obtenues avant leur interdiction. En l'absence d'un seuil de toxicité défini, l'approche proposée par Mendez et al (2019) repose sur l'évaluation des tendances des concentrations des contaminants à partir du travail réalisé par le groupe MIME «Monitoring & on Trends and Effects of Substances in the Marine Environment » (<http://dome.ices.dk/OSPARMIME2018/main.html>).

2.5 Valeurs de référence et seuils de toxicité

En dehors des seuils de référence proposées par Oros et al (2012) pour le DDT dans les organes/tissus, il n'existe pas à notre connaissance de valeurs de référence ni de seuils de toxicité consensuels pour les métaux et polluants organiques chez les tortues marines (Silva & López-Barrera 2016), raison pour laquelle la collecte de données de base doit être engagée au plus tôt, et l'évaluation basée sur des tendances (voir §3.7).

Si le développement des études toxicologiques des tortues marines constitue une recommandation prioritaire (Hamman et al 2010, Finlaysson et al 2016) des valeurs et résultats de tests de biomarqueurs obtenus à partir de tortues prélevées en différents points d'Europe sont d'ores et déjà disponibles, et fournissent des éléments sur la variabilité spatiale des niveaux d'exposition (voir par exemple pour les organochlorés Oros et al 2009, Lazar et al 2011, Bucchia et al 2015). Ces travaux indiquent également qu'une dynamique de surveillance existe en Espagne et au Portugal (y compris en Macaronésie), ainsi qu'en Italie (tableaux 2 à 4).

Dans la mesure où plusieurs facteurs influencent l'accumulation des contaminants (voir plus haut), l'interprétation des mesures quantitatives devra intégrer un certain nombre d'informations (voir aussi 3.5.3), en particulier :

- La taille/l'âge, un animal plus âgé a pu accumuler davantage ;
- L'état physiologique (voir plus haut)
- Le sexe (sauf pour *C. mydas*), le transfert de mère à œuf ayant été mis en évidence sur la Luth (Guirlet et al. 2008).

3 Stratégie de surveillance proposée

3.1 Contraintes et objectifs

Sur les mammifères marins, la stratégie proposée par Mendez et al (2019) prévoit de mesurer les concentrations des contaminants organiques et inorganiques dans les tissus des individus. Elle a été développée pour répondre à terme aux deux premiers critères du D8 (i.e. D8C1 et D8C2), et fournir à la fin du 2ème cycle de la DCSMM une première évaluation quantitative (au moins pour le D8C1) pour les populations fréquentant les eaux françaises européennes.

Sur les tortues marines, l'objectif général est le même, à savoir de répondre aux critères D8C1 et D8C2, le D8C4 reposant sur des événements extrêmement rares pour lesquels nous n'avons pas de données historiques d'impact sur les tortues marines des marées noires, deux cas ayant été seulement répertoriés sur la façade Atlantique en 30 ans (Dell'Amico Com. Pers. 2020).

Pour répondre aux besoins de D8C2 nous proposons d'analyser un nombre restreint de métaux et contaminants pour la mesure de la bioaccumulation, et d'ajouter des tests de biomarqueurs. Cela suppose toutefois de lever un certain nombre de contraintes pratiques liées à la préparation et au stockage des échantillons, en particulier pour les échantillons prélevés sur les tortues vivantes. Ainsi, il sera nécessaire que les centres de soins soient équipés de centrifugeuses et de consommables permettant notamment d'extraire et de transvaser du sérum ainsi que d'y insérer un liquide de cryopréservation, de lames pour des étalements de sang, de petites bombonnes d'azote liquide ou de dispositifs Dewar pour effectuer une congélation flash avant conservation à -80°C. Une formation pratique de manipulateurs désignés en centres de soins et réseaux est à prévoir (voir 3.5.4).

3.2 Calendrier

L'agenda proposé est le suivant

- 2021- 2022 : bancarisation d'échantillons, phase test des protocoles de prélèvement et de préservation des échantillons (notamment pour les biomarqueurs qui nécessitent des conditions particulières de stockage), de calibrage des dénombrements de noyaux cellulaires dégradés, phase test d'histologie.
- 2023 : premières mesures de concentration de contaminants dans les tissus et tests de biomarqueurs,
- > 2023 : analyses tous les deux ans.

3.3 Éléments à suivre

3.3.1 Éléments trace, essentiels et POP

En termes de significativité, à l'échelle des espèces et des populations, il nous paraît important d'évaluer prioritairement les polluants pouvant avoir un effet sur la reproduction, en particulier les perturbateurs endocriniens et ceux pouvant avoir des effets tératogènes.

Les éléments proposés pour une analyse de leur accumulation dans les tissus sont les suivants :

- Tous contaminants inorganiques (éléments traces et essentiels)
- Contaminants organiques :

Afin de limiter les coûts, le choix des POPs tient compte du nouveau règlement (RÈGLEMENT (UE) 2019/1021 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants²) qui met à jour la liste des produits interdits et des dérogations possibles depuis l'entrée en vigueur du protocole Aarhus signé en 1998 et de la convention de Stockholm entrée en vigueur en 2004, par lesquels 150 pays se sont engagés à réduire la pollution de l'environnement par les POP³. Nous proposons ainsi:

- Pools PCBs incluant les congénères importants pour les tortues marines à savoir les PCB DL 105 et 169, et PCB NDL 138 & 153
- HCH
- PBDE 28, 47, 99, 100, 153, 154, 183
- PAH
- Emergents : Phtalates, Bisphénol A, PFAS.

3.3.2 Ecologie alimentaire

Afin d'identifier le niveau trophique des tortues échantillonnées, les sites d'alimentation et/ou les sous-régions isotopiques, des échantillons de peau (prélèvement possible sur tortues vivantes et mortes) et de muscle (uniquement à partir des mortes) seront prélevés en routine et bancarisés pour analyse ultérieure des isotopes stables du carbone et de l'azote. Le coût de ces analyses est peu élevé.

² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1021&from=EN>

³ <https://www.asef-asso.fr/production/les-polluants-organiques-persistants-la-synthese-de-lasef/>

3.3.3 Biomarqueurs

Certains des biomarqueurs utilisés par l'Ifremer pour l'évaluation du D8 ont aussi été utilisés sur les tortues marines (Tableau 4) ou préconisés plus généralement pour la mégafaune (Plastic Busters 2017). Il s'agit en particulier de la VTG, des métabolites biliaires, du test des micronoyaux, du test des comètes, et de l'inhibition AChE.

Le choix des biomarqueurs doit tenir compte des aspects pratiques et de la significativité par rapport aux attendus de l'évaluation pour les critères D8C1 (concentration en contaminants) et D8C2 (effets sur la santé des espèces).

En termes de significativité, à l'échelle des espèces et des populations, il nous paraît important d'évaluer prioritairement les effets génotoxiques et les effets sur la reproduction. Nous proposons par conséquent pour les tortues marines d'utiliser les biomarqueurs VTG, tests des micronoyaux et comètes.

3.3.4 Hormones sexuelles et détermination du sexe

Les méthodes de sexage des juvéniles sont assez interventionnistes (laparoscopie) et/ou contraignantes (Wibbels et al 2000, Allen et al 2015). Le test Western Blot AMH (« Anti-Müllerian hormone », détectée uniquement chez les mâles et agissant sur les canaux de Müller pour ne pas avoir des oviductes) pourra être appliqué (Tezak et al, 2020), cependant il ne concerne que les individus de Caouanne âgés de 83–177 jours (120–160 g). Ces analyses seront réalisées en tant que de besoin et en fonction des moyens disponibles.

3.4 Source d'échantillons

La source des échantillons de tortues marines en France métropolitaine est la suivante :

- Réseaux d'échouage RTMAE et RTMMF
- Centres de soin
- Échantillons déjà bancarisés

3.5 Modalités d'échantillonnage

En raison des conditions d'observation en métropole et du fait que les tortues marines sont toutes protégées, l'échantillonnage sera opportuniste et se fera à l'occasion de trouvailles d'individus échoués ou capturés accidentellement à l'occasion d'activités de pêche.

3.5.1 Régions suivies

Les tortues marines sont susceptibles de s'échouer ou d'être capturées accidentellement dans toutes les sous-régions marines de France métropolitaine, qui font toutes l'objet d'une surveillance de la part des Réseaux RTMMF et RTMAE.

3.5.2 Espèces suivies

Les espèces proposées pour faire l'objet de la surveillance et du prélèvement d'échantillons sont les espèces carnivores susceptibles d'une bioaccumulation plus importante, à savoir :

- La Tortue caouanne *Caretta caretta* pour toutes les sous-régions
- La Tortue Luth *Dermochelys coriacea* pour les sous-régions GdG, M-MdN et MC

3.5.3 Paramètres complémentaires à renseigner

Les paramètres à renseigner pour les échantillons de chaque spécimen sont les suivants : espèce, taille (CCL), sexe, état du spécimen.

3.5.4 Tissus à prélever et modalités de prélèvement

Les tissus à prélever pour la surveillance des polluants diffèrent selon que les spécimens sont morts ou vivants.

En centre de soins, on prélèvera sur chaque tortue vivante par les personnes habilitées à l'occasion des investigations vétérinaires et au moment opportun par rapport à l'état de santé (pour éviter tout stress supplémentaire) : sang, peau, écaille. Le prélèvement, le conditionnement et le stockage seront effectués selon les protocoles dédiés fournis par le MNHN et les laboratoires d'analyse. Une formation pratique à la préparation des échantillons, à l'étalement sur lames et au conditionnement des échantillons de sang est à prévoir.

Pour les tortues mortes, les prélèvements seront effectués au moment de la dissection ou de l'autopsie par les Réseaux ou vétérinaires attachés aux Réseaux. Des échantillons de peau, foie, rein, graisse, muscle et gonade, voire de sang (en cas de non coagulation et uniquement pour les tests comètes et micronoyaux) seront prélevés, conditionnés et stockés selon les protocoles dédiés fournis par le MNHN et les laboratoires d'analyse.

3.6 Analyse

3.6.1 Nombre d'échantillons minimal à prélever

- SRM Golfe de Gascogne + Mers Celtiques + Manche-Mer du Nord :
 - Luth mortes (carcasse fraîche) : 10 / an
 - Caouannes vivantes: 10 / an
 - Caouannes mortes (carcasse fraîche) : 10 / an
- SRM Méditerranée occidentale
 - Caouannes vivantes: 20 / an
 - Caouannes mortes (carcasse fraîche) : 10 / an

L'échantillonnage sera représentatif si possible de tous les stades de développement.

3.6.2 Laboratoires d'analyse

Plusieurs laboratoires ont été identifiés comme mobilisables en première approche, en fonction des éléments à analyser :

- * éléments métalliques et essentiels : Université La Rochelle par la plateforme d'analyse élémentaire intégrée dans l'UMR LIENSs (Littoral ENvironnement et Sociétés)
- * POP : LABERCA (LABoratoire d'Etudes des Résidus et Contaminants dans les Aliments), unité de recherche d'ONIRIS, dépendant du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
- * composés perfluoroalkylés : Laboratoire Ifremer BE-LBCO, Nantes
- * biomarqueurs : laboratoires Ifremer ou associés à l'Ifremer (laboratoire d'écotoxicologie de l'Ifremer de Nantes pour le test des comètes et laboratoire Toxem pour le test des micronoyaux et VTG). L'Université de Sienne (Italie) est également en mesure de réaliser les analyses, toutefois pour des raisons pratiques (permis d'export ou d'import CITES, commande entre institutions étrangères et conditionnement des envois) cette option n'est pas privilégiée ; nous recommandons cependant qu'une collaboration de travail soit instaurée formellement en raison du haut niveau d'expertise de cette Université et des besoins de développement des procédures d'analyse en France dans les premiers temps. Nous recommandons aussi le partage de la version anglaise de ce document avec

les laboratoires européens ayant publié sur la toxicologie des tortues marines et les pilotes de la surveillance et scientifiques DCSMM D8 homologues, dans la perspective d'une éventuelle coordination entre les programmes de surveillance et évaluations ultérieure.

* isotopes stables : le laboratoire de référence pour les tortues marines se situe en Espagne (Université de Barcelone), mais pour des raisons pratiques le laboratoire français utilisé pour la surveillance des mammifères marins sera préféré.

3.7 Bancarisation

La bancarisation des données à l'Ifremer pourra s'effectuer sur la base DALI où les données d'interaction des tortues marines avec les déchets sont bancarisées par individu en créant des paramètres dédiés, ou par la création d'un nouveau programme (Lemoigne, 2020 comm. pers.).

3.8 Evaluation

En l'absence de valeurs de référence et seuils, l'analyse des données mettra en évidence les tendances de concentration pour les métaux et contaminants organiques (D8C1), et dans un premier temps (2^{ème} cycle) une description des effets (D8C2) mis en évidence par l'histologie et les biomarqueurs. L'interprétation des résultats s'appuiera sur les mesures et résultats publiés depuis 1999 en Atlantique et en Méditerranée occidentale est (Tableau 2) et sur les résultats des analyses isotopiques.

Nous recommandons par ailleurs que des relations soient tissées avec les laboratoires ayant publié sur la question en Europe, en particulier l'Université de Gran Canaria et de Murcie (Espagne) l'Université d'Aveiro (Portugal), l'Université de Sienne et la Stazione Zoologica Anton Dohrn (Italie).

4 Références

- Aguirre A, Balazs GH, Zimmerman B, Galey FD (1994) Organic contaminants and trace metals in the tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) afflicted with fibropapillomas in the Hawaiian islands. *Mar Pollut Bull* 28:109–114.
- Alam SK, Brim MS (2000) Organochlorine, PCB, PAH, and metal concentrations in eggs of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) from northwest Florida, USA. *J Environ Sci Heal Part B* 35:705–724.
- Anan Y, Kunito T, Watanabe I, Sakai H, Tanabe S (2001) Trace element accumulation in hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) and green turtles (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Japan. *Environ Toxicol Chem* 20:2802–2814.
- Andreani G, Santoro M, Cottignoli S, Fabbri M, Carpenè E, Isani G (2008) Metal distribution and metallothionein in loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. *Sci Total Environ* 390:287–294.
- Attia El Hili H, Bradai MN, Camedda A, Chaieb O, Claro F, Darmon G, De Lucia GA, Kaberi H, Kaska Y, Liria Loza A, Matiddi M, Miaud C, Monzon-Arguelo C, Moussier J, Ostiategui P, Paramio L, Pham CK, Revuelta O, Silvestri C, Sozbilen D, Tòmas J, Tsangaris C, Vale M, Vandepierre F (2018) Pilot and feasibility studies for the implementation of litter impact indicators in the MSFD and RCSs OSPAR-Macaronesia, HELCOM and Barcelona. INDICIT Deliv n° D25 Act 2, dir INDICIT Consort:158.
- Baini M, Martellini T, Cincinelli A, Campani T, Minutoli R, Panti C, Finoia MG, Fossi MC (2017) First detection of seven phthalate esters (PAEs) as plastic tracers in superficial neustonic/planktonic samples and cetacean blubber. *Anal Methods* 9:1512–1520.
- Ballesteros-Gómez A, Rubio S, Pérez-Bendito D (2009) Analytical methods for the determination of bisphenol A in food. *J Chromatogr A* 1216:449–469.
- Barraza AD, Komoroske LM, Allen C, Eguchi T, Gossett R, Holland E, Lawson DD, LeRoux RA, Long A, Seminoff JA, Lowe CG (2019) Trace metals in green sea turtles (*Chelonia mydas*) inhabiting two southern California coastal estuaries. *Chemosphere* 223:342–350.
- Barraza AD, Komoroske LM, Allen CD, Eguchi T, Gossett R, Holland E, Lawson DD, LeRoux RA, Lorenzi V, Seminoff JA, Lowe CG (2020) Persistent organic pollutants in green sea turtles (*Chelonia mydas*) inhabiting two urbanized Southern California habitats. *Mar Pollut Bull* 153:110979.
- Bergeron JM, Crews D, McLachlan JA (1994) PCBs as environmental estrogens: turtle sex determination as a biomarker of environmental contamination. *Environ Health Perspect* 102:780–781.
- Berrondo L (2007) Estudio de los perfiles de porfirinas en fecas de juveniles de *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758): en el área de cerro verde (Rocha-Uruguay). *Libr Resúmenes III Jornadas Conserv e Investig Tortugas Mar en el Atlántico Sur Occident Piriapolis-Uruguay*:16–21.
- Bucchia M, Camacho M, Santos MRD, Boada LD, Roncada P, Mateo R, Ortiz-Santaliestra ME, Rodríguez-Estival J, Zumbado M, Orós J, Henríquez-Hernández LA, García-Álvarez N, Luzardo OP (2015) Plasma levels of pollutants are much higher in loggerhead turtle populations from the Adriatic Sea than in those from open waters (Eastern Atlantic Ocean). *Sci Total Environ* 523:161–169.
- Caliani I, Campani T, Giannetti M, Marsili L, Casini S, Fossi MC (2014) First application of comet assay in blood cells of Mediterranean loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Mar Environ Res* 96:68–72.
- Camacho M, Boada LD, Orós J, Calabuig P, Zumbado M, Luzardo OP (2012) Comparative study of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plasma of Eastern Atlantic juvenile and adult nesting loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *Mar Pollut Bull* 64:1974–1980.
- Camacho M, Luzardo OP, Boada LD, López Jurado LF, Medina M, Zumbado M, Orós J (2013) Potential adverse health effects of persistent organic pollutants on sea turtles: Evidences from a cross-sectional study on Cape

- Verde loggerhead sea turtles. *Sci Total Environ* 458–460:283–289.
- Camacho M, Luzardo OP, Orós J (2017) Chapter 19 Chemical Threats to Sea Turtles. In: *Ecotoxicology and Genotoxicology: Non-traditional Aquatic Models*. The Royal Society of Chemistry, p 442–466
- Cardona L, Clusa M, Eder E, Demetropoulos A, Margaritoulis D, AF R, AA H, Khalil M, Levy Y, Türkozan O, Marín I, Aguilar A (2014) Distribution patterns and foraging ground productivity determine clutch size in Mediterranean loggerhead turtles. *Mar Ecol Prog Ser* 497:229–241.
- Casini S (2015) Effets toxiques des polluants sur les tortues marines. GTMF Conf Paris, Fr.
- Casini S, Caliani I, Giannetti M, Marsili L, Maltese S, Coppola D, Bianchi N, Campani T, Ancora S, Caruso C, Furii G, Parga M, D'Angostino A, Fossi MC (2018) First ecotoxicological assessment of *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) in the Mediterranean Sea using an integrated nondestructive protocol. *Sci Total Environ* 631–632:1221–1233.
- Casini S, Caliani I, Marsili L, Giannetti M, Maltese S, Ancora S, Bianchi N, Panti C, Campani T, Carletti L, Coppola D, Cañadas A, Parga M, Fossi MC (2010) A non-lethal multi-biomarker approach to investigate the ecotoxicological status of Mediterranean loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*, Linneo, 1758). *Comp Biochem Physiol Part A* 157:S23–S24.
- Caurant F, Bustamante P, Bordes M, Miramand P (1999) Bioaccumulation of cadmium, copper and zinc in some tissues of three species of marine turtles stranded along the French Atlantic coasts. *Mar Pollut Bull* 38:1085–1091.
- Chan EH, Liew HC (1994) A review of the effects of oil-based activities and oil pollution on sea turtles. In: *Proc. 11th Annual Seminar of the Malaysian Society of Marine Science*. p 159–168
- Claro F, Hubert P (2011) Impact des macrodéchets sur les tortues marines en France métropolitaine et d'Outre-mer. Rapp GTMF-SPN 1 Dir MNHN-SPN:52.
- Cobb GP, Wood PD (1997) PCB Concentrations in Eggs and Chorionallantoic Membranes of Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*) from the Cape Romain National Wildlife Refuge. *Chemosphere* 34:539–549.
- Cobellis L, Colacurci N, Trabucco E, Carpentiero C, Grumetto L (2009) Measurement of bisphenol A and bisphenol B levels in human blood sera from healthy and endometriotic women. *Biomed Chromatogr* 23:1186–1190.
- Cocci P, Mosconi G, Bracchetti L, Nalocca JM, Frapiccini E, Marini M, Caprioli G, Sagratini G, Palermo FA (2018) Investigating the potential impact of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) on gene biomarker expression and global DNA methylation in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) from the Adriatic Sea. *Sci Total Environ* 619–620:49–57.
- Correa L, Castellini JM, Wells RS, O'Hara T (2013) Distribution of mercury and selenium in blood compartments of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from Sarasota Bay, Florida. *Environ Toxicol Chem* 32:2441–2448.
- Corsolini S, Aurigi S, Focardi S (2000) Presence of polychlorobiphenyls (PCBs) and coplanar congeners in the tissues of the mediterranean loggerhead turtle *Caretta caretta*. *Mar Pollut Bull* 40:952–960.
- Coyle P, Philcox JC, Carey LC, Rofe AM (2002) Metallothionein: The multipurpose protein. *Cell Mol Life Sci* 59:627–647.
- EEA (2012) The impacts of endocrine disrupters on wildlife, people and their environments.
- Fitzgerald S (2004) Los metales pesados en cuatro especies de tortugas marinas de Baja California, México
- Foley AM, Schroeder BA, Redlow AE, Fick-Child KJ, Teas WG (2005) Fibropapillomatosis in stranded green turtles (*Chelonia mydas*) from the eastern United States (1980–98): trends and associations with environmental factors. *J Wildl Dis* 41:29–41.
- Fossi MC, Coppola D, Baini M, Giannetti M, Guerranti C, Marsili L, Panti C, Sabata E [de, Clò S (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 Environ Res* 100:17–24.

- Franzellitti S, Locatelli C, Gerosa G, Vallini C, Fabbri E (2004) Heavy metals in tissues of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the northwestern Adriatic Sea. *Comp Biochem Physiol Part C Toxicol Pharmacol* 138:187–194.
- Fujihara J, Kunito T, Kubota R, Tanabe S (2003) Arsenic accumulation in livers of pinnipeds, seabirds and sea turtles: subcellular distribution and interaction between arsenobetaine and glycine betaine. *Comp Biochem Physiol Part C Toxicol Pharmacol* 136:287–296.
- García-Fernández AJ, Gómez-Ramírez P, Martínez-López E, Hernández-García A, María-Mojica P, Romero D, Jiménez P, Castillo JJ, Bellido JJ (2009) Heavy metals in tissues from loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the southwestern Mediterranean (Spain). *Ecotoxicol Environ Saf* 72:557–563.
- Gardner SC, Fitzgerald SL, Vargas BA, Rodríguez LM (2006) Heavy Metal Accumulation in Four Species of Sea Turtles from the Baja California Peninsula, Mexico. *Biometales* 19:91–99.
- Gardner SC, Pier MD, Wesselman R, Juárez JA (2003) Organochlorine contaminants in sea turtles from the Eastern Pacific. *Mar Pollut Bull* 46:1082–1089.
- Godley BJ, Thompson DR, Furness RW (1999) Do heavy metal concentrations pose a threat to marine turtles from the Mediterranean Sea? *Mar Pollut Bull* 38:497–502.
- Gómez-Ramírez P, Espín S, Navas I, Martínez-López E, Jiménez P, María-Mojica P, Peñalver J, García-Fernández AJ (2020) Mercury and Organochlorine Pesticides in Tissues of Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*) Stranded Along the Southwestern Mediterranean Coastline (Andalusia, Spain). *Bull Environ Contam Toxicol* 104:559–567.
- Guirlet E, Das K, Girondot M (2008) Maternal transfer of trace elements in leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) of French Guiana. *Aquat Toxicol* 88:267–276.
- Guzman HM, Kaiser S, van Hinsberg VJ (2020) Accumulation of trace elements in leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) eggs from the south-western Caribbean indicates potential health risks to consumers. *Chemosphere* 243:125424.
- Hamann M, Godfrey MH, Seminoff JA, Arthur K, Barata PCR, Bjørndal KA, Bolten AB, Broderick AC, Campbell LM, Carreras C, Casale P, Chaloupka M, Chan SKF, Coyne MS, Crowder LB, Diez CE, Dutton PH, Epperly SP, Fitz Simmons NN, Formia A, Girondot M, Hays GC, Cheng IJ, Kaska Y, Lewison R, Mortimer JA, Nichols WJ, Reina RD, Shanker K, Spotila JR, Tomás J, Wallace BP, Work TM, Zbinden J, Godley BJ (2010) Global research priorities for sea turtles: Informing management and conservation in the 21st century. *Endanger Species Res* 11:245–269.
- Hardesty BD, Good TP, Wilcox C (2015) Novel methods, new results and science-based solutions to tackle marine debris impacts on wildlife. *Ocean Coast Manag* 115:4–9.
- Haywood JC, Casale P, Freggi D, Fuller WJ, Godley BJ, Lazar B, Margaritoulis D, Rees AIF, Shutler JD, Snape RT, Swain-Diaz NR, Widdicombe S, Broderick AC (2020) Foraging ecology of Mediterranean juvenile loggerhead turtles: insights from C and N stable isotope ratios. *Mar Biol* 167:28.
- Herbst LH, Siconolfi-Baez L, Torellic JH, Kleind PA, Kerbene MJ, Schumacher IM (2003) Induction of vitellogenesis by estradiol-17 β and development of enzyme-linked immunosorbent assays to quantify plasma vitellogenin levels in green turtles (*Chelonia mydas*). *Comp Biochem Physiol Part B* 135:551–563.
- Hutchinson J, Simmonds M (1992) Escalation of threats to marine turtles. *Oryx* 26:95–102.
- Ifremer (2018) Evaluation du Descripteur 8 ‘Contaminants dans le Milieu’ en France Métropolitaine. *Rapp Sci pour l'évaluation* 2018 au titre la DCSMM:280.
- Ikonomopoulou MP, Olszowy H, Hodge M, Bradley AJ (2009) The effect of organochlorines and heavy metals on sex steroid-binding proteins in vitro in the plasma of nesting green turtles, *Chelonia mydas*. *J Comp Physiol B Biochem Syst Environ Physiol* 179:653–662.
- Innis C, Tlustý M, Perkins C, Holladay S, Merigo C, Weber ES (2008) Trace Metal and Organochlorine Pesticide Concentrations in Cold-Stunned Juvenile Kemp's Ridley Turtles (*Lepidochelys kempii*) from Cape Cod, Massachusetts. *Chelonian Conserv Biol* 7:230–239.

- Jerez S, Motas M, Cánovas RÁ, Talavera J, Almela RM, Río] AB [del (2010) Accumulation and tissue distribution of heavy metals and essential elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Spanish Mediterranean coastline of Murcia. *Chemosphere* 78:256–264.
- Johansson JH (2019) Science Processes & Impacts. *Environ Sci Process Impacts* 21:595–772.
- Ka Yan Ng C, Lam JCW, Zhang XH, Gu HX, Li TH, Ye M Bin, Xia ZR, Zhang FY, Duan JX, Wang WX, Lam IKS, Balazs GH, Lam PKS, Murphy MB (2018) Levels of trace elements, methylmercury and polybrominated diphenyl ethers in foraging green turtles in the South China region and their conservation implications. *Environ Pollut* 234:735–742.
- Kaska Y, Çelik A, Bağ H, Aureggi M, Özel K, Elçi A, Kaska A, Elçi L (2004) Heavy metal monitoring in stranded sea turtles Along the Mediterranean coast of Turkey. *Fresenius Environ Bull* 13:773–780.
- Keller JM, Kucklick JR, Stamper MA, Harms CA, McClellan-Green PD (2004) Associations between organochlorine contaminant concentrations and clinical health parameters in loggerhead sea turtles from North Carolina, USA. *Environ Health Perspect* 112:1074–1079.
- Keller JM, McClellan-Green PD, Kucklick JR, Keil DE, Peden-Adams MM (2006) Effects of organochlorine contaminants on loggerhead sea turtle immunity: Comparison of a correlative field study and in vitro exposure experiments. *Environ Health Perspect* 114:70–76.
- Lam JCW, Tanabe S, Chan SKF, Yuen EKW, Lam MHW, Lam PKS (2004) Trace element residues in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) from South China Waters. *Mar Pollut Bull* 48:174–182.
- Lazar B, Maslov L, Romanić SH, Gračan R, Krauthacker B, Holcer D, Tvrtković N (2011) Accumulation of organochlorine contaminants in loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, from the eastern Adriatic Sea. *Chemosphere* 82:121–129.
- Lee JW, Choi K, Park K, Seong C, Yu S Do, Kim P (2020) Adverse effects of perfluoroalkyl acids on fish and other aquatic organisms : A review. *Sci Total Environ* 707:135334.
- Ley-Quinónez CP, Rossi-Lafferriere NA, Espinoza-Carreón TL, Hart CE, Peckham SH, Aguirre AA, Zavala-Norzagaray AA (2017) Associations between trace elements and clinical health parameters in the North Pacific loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) from Baja California Sur, Mexico. *Environ Sci Pollut Res* 24:9530–9537.
- Lorente T (2010) Diagnóstico da contaminação por organoclorados em tartarugas verdes (*Chelonia mydas*) coletadas ao longo da costa do Rio Grande do Sul. Trabalho de conclusão do curso de Oceanologia. Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Rio Grande, RS, Brasil
- Maffucci F, Caurant F, Bustamante P, Bentivegna F (2005) Trace element (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). *Chemosphere* 58:535–542.
- Marsili L, Caruso A, Cristina Fossi M, Zanardelli M, Politi E, Focardi S (2001) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in subcutaneous biopsies of mediterranean cetaceans. *Chemosphere* 44:147–154.
- Marsili L, Focardi S (1997) Chlorinated hydrocarbon (HCB, DDTs and PCBs) levels in cetaceans stranded along the Italian coasts: An overview. *Environ Monit Assess* 45:129–180.
- Matiddi M, Delucia GA, Silvestri C, Darmon G, Tomás J, Pham CK, Camedda A, Vandeperre F, Claro F, Kaska Y, Kaberi H, Revuelta O, Piermarini R, Daffina R, Pisapia M, Genta D, Sözbilen D, Bradai MN, Rodríguez Y, Gambaiani D, Tsangaris C, Chaieb O, Moussier J, Loza AL, Miaud C, Indicit Consortium (2019) Data Collection on Marine Litter Ingestion in Sea Turtles and Thresholds for Good Environmental Status. *J Vizualized Exp* 147:9.
- McKenzie C, Godley BJ, Furness RW, Wells DE (1999) Concentrations and patterns of organochlorine contaminants in marine turtles from Mediterranean and Atlantic waters. *Mar Environ Res* 47:117–135.
- Méndez-Fernandez P, Caurant F, Spitz J (2019) Stratégie de suivi des contaminants chez les cétacés des côtes françaises. DCSMM : Rapport scientifique dans le cadre de la mise en œuvre du programme de surveillance.

- Miles AT, Hawksworth GM, Beattie JH, Rodilla V (2000) Induction, Regulation, Degradation, and Biological Significance of Mammalian Metallothioneins. *Crit Rev Biochem Mol Biol* 35:35–70.
- Milton S, Lutz P, Shigenaka G (2003) Oil toxicity and impacts on sea turtles. *Oil Sea Turtles - Biol planning, response*:35–47.
- Monagas P, Orós J, Araña J, González-Díaz OM (2008) Organochlorine pesticide levels in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) stranded in the Canary Islands, Spain. *Mar Pollut Bull* 56:1949–1952.
- Muñoz-Arnanz J, Roscales JL, Ros M, Vicente A, Jiménez B (2016) Towards the implementation of the Stockholm Convention in Spain: Five-year monitoring (2008–2013) of POPs in air based on passive sampling. *Environ Pollut* 217:107–113.
- Nicolau L, Monteiro SS, Pereira AT, Marçalo A, Ferreira M, Torres J, Vingada J, Eira C (2017) Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) stranded in mainland Portugal: Bioaccumulation and tissue distribution. *Chemosphere* 179:120–126.
- Novillo O, Pertusa JF, Tomás J (2017) Exploring the presence of pollutants at sea: Monitoring heavy metals and pesticides in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the western Mediterranean. *Sci Total Environ* 598:1130–1139.
- OMMEG (2019) Proposal for new candidate indicator “Trends and Status of PCBs in marine mammals”. 12.
- Orós J, González-Díaz OM, Monagas P (2009) High levels of polychlorinated biphenyls in tissues of Atlantic turtles stranded in the Canary Islands, Spain. *Chemosphere* 74:473–478.
- Pasanisi E, Cortés-gómez AA, Pérez-lópez M, Soler F, Hernández-moreno D, Guerranti C, Martellini T, Fuentes-mascorro G, Romero D, Cincinelli A (2016) Science of the Total Environment Levels of perfluorinated acids (PFCAs) in different tissues of *Lepidochelys olivacea* sea turtles from the Escobilla beach (Oaxaca, Mexico). *Sci Total Environ* 572:1059–1065.
- Plastic Busters (2017) Bioindicator selection in the strategies for monitoring marine litter in the Mediterranean Sea. Baini M, Pedà C, Panti C, Caliani I, Casini S, Leonzio C, Fossi MC (eds).
- Prevedouros K, Cousins IT, Buck RC, Korzeniowski SH (2006) Sources, Fate and Transport of Perfluorocarboxylates. *Environ Sci Technol* 40:32–44.
- Pugh RS, Becker PR (2011) Sea turtle contaminants: A review with annotated bibliography.
- Rybitski MJ, Hale RC, Musick JA (1995) Distribution of Organochlorine Pollutants in Atlantic Sea Turtles. *Copeia* 1995:379–390.
- Santos RG, Andrades R, Boldrini MA, Martins AS (2015) Debris ingestion by juvenile marine turtles: An underestimated problem. *Mar Pollut Bull* 93:37–43.
- Sifuentes-Romero I, Vázquez-Boucard C, Sierra-Beltrán AP, Gardner SC (2006) Vitellogenin in black turtle (*Chelonia mydas agassizii*): Purification, partial characterization, and validation of an enzyme-linked immunosorbent assay for its detection. *Environ Toxicol Chem* 25:477–485.
- Silva CC da, López-Barrera EA (2016) Ecotoxicology of sea turtles. *Adv Res Tech Study Sea Turtles*:27–52.
- Silva CC da, Varela AS, Barcarolli IF, Bianchini A (2014) Concentrations and distributions of metals in tissues of stranded green sea turtles (*Chelonia mydas*) from the southern Atlantic coast of Brazil. *Sci Total Environ* 466–467:109–118.
- Sinaei M, Bolouki M (2017) Metals in Blood and Eggs of Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) from Nesting Colonies of the Northern Coast of the Sea of Oman. *Arch Environ Contam Toxicol* 73:552–561.
- Stoker C, Rey F, Rodriguez H, Ramos JG, Sirosky P, Larriera A, Luque EH, Muñoz-de-Toro M (2003) Sex reversal effects on *Caiman latirostris* exposed to environmentally relevant doses of the xenoestrogen bisphenol A. *Gen Comp Endocrinol* 133:287–296.

- Storelli GO, Marcotrigiano M (2000) Total Organic and Inorganic Arsenic from Marine Turtles (*Caretta caretta*) Beached Along the Italian Coast (South Adriatic Sea). *Bull Environ Contam Toxicol* 65:732–739.
- Storelli MM, Barone G, Marcotrigiano GO (2007) Polychlorinated biphenyls and other chlorinated organic contaminants in the tissues of Mediterranean loggerhead turtle *Caretta caretta*. *Sci Total Environ* 373:456–463.
- Storelli MM, Storelli A, D’Addabbo R, Marano C, Bruno R, Marcotrigiano GO (2005) Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. *Environ Pollut* 135:163–170.
- Takatori S, Kitagawa Y, Kitagawa M, Nakazawa H, Hori S (2004) Determination of di(2-ethylhexyl)phthalate and mono(2-ethylhexyl)phthalate in human serum using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Chromatogr B Anal Technol Biomed Life Sci* 804:397–401.
- Talavera-Saenz A, Gardner SC, Rodriguez R [Riosmena, Vargas] B [Acosta (2007) Metal profiles used as environmental markers of Green Turtle (*Chelonia mydas*) foraging resources. *Sci Total Environ* 373:94–102.
- Teuten EL, Saquing JM, Knappe DRU, Rowland SJ, Barlaz MA, Jonsson S, Bjo A, Thompson RC, Galloway TS, Yamashita R, Ochi D, Watanuki Y, Moore C, Viet PH, Tana TS (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*:2027–2045.
- The European Commission (2017) COMMISSION DECISION (EU) 2017/848 of 17 May 2017 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU.
- Tubbs CW, McDonough CE (2018) Reproductive Impacts of Endocrine-Disrupting Chemicals on Wildlife Species: Implications for Conservation of Endangered Species. *Annu Rev Anim Biosci* 6:287–304.
- Wang Z, Cousins IT, Scheringer M, Buck RC, Hungerbühler K (2014) Global emission inventories for C4–C14 perfluoroalkyl carboxylic acid (PFCA) homologues from 1951 to 2030, Part I: production and emissions from quantifiable sources. *Environ Int* 70:62–75.
- Xue J, Kannan K (2016) Novel Finding of Widespread Occurrence and Accumulation of Bisphenol A Diglycidyl Ethers (BADGEs) and Novolac Glycidyl Ethers (NOGEs) in Marine Mammals from the United States Coastal Waters. *Environ Sci Technol* 50:1703–1710.
- Zbinden J, Bearhop S, Bradshaw P, Gill B, Margaritoulis D, Newton J, J GB (2011) Migratory dichotomy and associated phenotypic variation in marine turtles revealed by satellite tracking and stable isotope analysis. *Mar Ecol Prog Ser* 421:291–302.

RÉSUMÉ

Parmi les 5 critères du Descripteur 8 « contaminants » de la Directive Cadre européenne Stratégie pour le Milieu marin, trois critères concernent le biote marin : le critère primaire D8C1 (concentrations en contaminants), le critère secondaire D8C2 (effets des contaminants sur la santé des espèces et l'état des habitats) et le critère secondaire D8C4 (effets néfastes des épisodes de pollution aiguë sur la santé des espèces et habitats).

Les tortues marines sont considérées comme des espèces bio-indicatrices intéressantes, le cycle biologique de ces espèces longévives les conduisant à être très exposées aux polluants à la fois en milieu terrestre où elles pondent leurs œufs, mais également dans le milieu marin, où elles passent la majorité de leur temps, en milieu pélagique et en milieu côtier selon l'espèce et le stade de développement.

Dans le cadre des politiques publiques de conservation du milieu marin et de la biodiversité, les tortues marines représentent un groupe pour lequel une surveillance continue, coordonnée et harmonisée, est importante à mettre en place non seulement pour répondre aux besoins des évaluations de l'état des mers et de la biodiversité, mais également pour acquérir de nouvelles connaissances utiles à la définition de valeurs de référence et à l'interprétation de résultats sur le long terme et aux différentes échelles (sous-région, région, Europe).

Le présent document synthétise les connaissances actuelles sur les contaminants recherchés dans les tissus des tortues marines et les effets identifiés sur leur santé. Il présente ensuite la stratégie de surveillance proposée en France sur les espèces fréquentant les eaux et côtes métropolitaines.

