NATIONS UNIES

UNEP

EP

UNEP/MED WG.606/4

Distr.: Limitée
11 Mars 2025

Français

Original: English

Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Plan d'action pour la Méditerranée

Réunion du Groupe de correspondance de l'approche écosystémique sur la surveillance (CORMON), Biodiversité et pêches

Athènes, 7-8 avril 2025

Point 3 de l'ordre du jour : Élaboration des objectifs écologiques de l'EcAp

3.2 : OE4 : Réseaux trophiques marins

Élaboration de l'Objectif écologique 4 de l'EcAp sur les réseaux trophiques marins dans le cadre de la convention de Barcelone

Pour des raisons environnementales et économiques, ce document est imprimé en nombre limité. Les délégués sont priés d'apporter leurs exemplaires aux réunions et de ne pas demander d'exemplaires supplémentaires.

SPA/RAC
Tunis, 2025

Clause de non-responsabilité :

Les désignations employées et la présentation des éléments contenus dans cette publication n'impliquent pas l'expression d'une quelconque opinion de la part du Secrétariat du Programme des Nations Unies pour l'environnement/Plan d'action pour la Méditerranée concernant le statut juridique de tout pays, territoire, ville ou zone ou de ses autorités, ou concernant la délimitation de ses frontières ou limites.
Le Secrétariat n'est pas non plus responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations fournies dans les tableaux et cartes de ce rapport. De plus, les cartes servent uniquement à des fins d'information et ne peuvent pas et ne doivent pas être interprétées comme des cartes officielles représentant les frontières maritimes conformément au droit international

Note du Secrétariat

Les Parties contractantes (PC) à la Convention de Barcelone ont adopté (CoP 19, Athènes 2016) le Programme intégré de surveillance et d'évaluation de la mer Méditerranée et de la côte et les critères d'évaluation connexes (IMAP) (Décision IG.22/7) dans le cadre du processus de l'Approche Écosystémique (EcAp). Les exigences de l'IMAP se concentrent sur les Objectifs écologiques (OE) convenus et leurs indicateurs communs associés.

L'IMAP actuel couvre, avec des indicateurs communs convenus, les objectifs écologiques liés à la biodiversité (OE 1), aux espèces non indigènes (OE 2), à l'eutrophisation (OE 5), à l'hydrographie (OE 7), à la côte (OE 8), aux contaminants (OE 9) et aux déchets marins (OE 10).
Les objectifs écologiques pour les réseaux trophiques marins (OE 4) et l'intégrité du fond marin (OE 6) ne sont pas encore inclus dans l'IMAP. Ils ont été discutés aux premiers stades du processus de mise en œuvre de l'EcAp, avec des propositions initiales formulées en 2013 pour décrire le Bon État Écologique (BEE), les indicateurs associés et les cibles connexes (PNUE/PAM, 2013b). Cependant, il a été convenu que l'OE 4 et l'OE6 nécessitaient un développement supplémentaire, en tenant compte du manque de données et des lacunes en matière de connaissances sur ces deux sujets dans la région de la mer Méditerranée.

Comme première étape vers le développement de l'OE4 sur les réseaux trophiques marins, le SPA/RAC a lancé (2022-2023) une étude bibliographique pour inventorier les sources de données, les meilleures pratiques et les méthodologies de surveillance et d'évaluation des réseaux trophiques marins en méditerranée.

Lors de la réunion CORMON sur la biodiversité et la pêche, qui s'est tenue les 6 et 7 juin 2024, et conformément au programme de travail du SPA/RAC pour 2024-2025, il a été recommandé de créer un groupe de travail sur la biodiversité concernant les réseaux trophiques marins. Ce groupe se concentrera sur l'avancement du développement de l'objectif écologique 4 (OE4) de l'IMAP sur les réseaux trophiques marins, avec le soutien du groupe de travail italien dans le cadre de la directive-cadre Stratégie pour le milieu marin (DCSMM).

Ce document a été préparé avec le soutien du groupe de travail en ligne sur la biodiversité (OWG) sur les réseaux trophiques marins. Le document résume les principaux résultats des recommandations du groupe de travail et décrit l'approche la plus pertinente pour développer des indicateurs communs IMAP pour l'objectif écologique 4 sur les réseaux trophiques marins dans le cadre de la Convention de Barcelone.

La Réunion sera invitée à prendre note de cette mise à jour, à fournir des conseils pour le développement ultérieur de l'OE4, et à convenir des indicateurs communs proposés et de leur soumission à la réunion des points focaux du SPA/RAC (prévue pour le 20-22 mai 2025) et à la réunion du groupe de coordination de l'EcAp (prévue en septembre 2025).

Élaboration de l'Objectif écologique 4 de l'EcAp sur les réseaux trophiques marins dans le cadre de la convention de Barcelone

1. Introduction:

1. Les Parties contractantes (CP) à la Convention de Barcelone ont convenu de mettre en œuvre le processus de l'approche écosystémique (EcAp). Lors de leur 19e COP (Athènes 2016), les Parties contractantes ont adopté le Programme intégré de surveillance et d'évaluation de la mer Méditerranée (Décision IG.22/7). Cependant, en ce qui concerne le volet Biodiversité, l'IMAP actuel ne couvre pas encore l'élaboration (c'est-à-dire les propositions d'indicateurs, la description du bon état écologique (BEE) et les cibles connexes) de l'objectif écologique 4 (OE4) sur les réseaux trophiques marins. L'OE4 traite de : « Les modifications des composants des réseaux trophiques marins causées par l'extraction des ressources ou les changements environnementaux induits par l'homme n'ont pas d'effets négatifs à long terme sur la dynamique du réseau trophique et la viabilité qui y est associée ».

2. Comme première étape vers l'élaboration de l'OE4 sur les réseaux trophiques, le SPA/RAC a lancé une étude d'examen documentaire pour inventorier les sources de données, les meilleures pratiques et les méthodologies de surveillance et d'évaluation des réseaux trophiques marins en Méditerranée (UNEP/MED WG. 592/Inf.3). L'examen documentaire comprend les sections suivantes : publications scientifiques ; les sources de données existantes et potentielles ; les méthodes de surveillance et d'évaluation (dans le cadre de la DCSMM et d'autres conventions sur les mers régionales, telles que OSPAR, HELCOM) ; les initiatives/projets pertinents en cours/terminés aux niveaux régional, sous-régional ou national ; institutions régionales/nationales et experts clés travaillant sur la surveillance et l'évaluation des réseaux trophiques en Méditerranée ; lacunes dans les connaissances. Cet examen a été présenté lors de la première réunion du groupe de travail en ligne sur la biodiversité (OWG) pour les réseaux trophiques marins le 4 décembre 2024, au cours de laquelle l'IMAP a fait d'autres présentations liminaires : un aperçu des indicateurs utilisés dans la directive-cadre stratégique pour le milieu marin sur les réseaux trophiques marins Descriptor 4 (D4) du projet italien dirigé par l'ISPRA et un résumé des connaissances scientifiques et les applications méthodologiques liées aux indicateurs des réseaux trophiques marins en Méditerranée montrées par d'autres scientifiques.

3. À la suite de la première réunion du Groupe de travail sur les réseaux trophiques marins (OWG), un groupe multidisciplinaire d'experts bénévoles a été créé. Son rôle est de fournir une expertise technique, des conseils stratégiques et des recommandations pratiques afin d'améliorer le développement d'indicateurs communs IMAP pour l'objectif écologique 4. Un coordonnateur a été désigné pour fournir des services d'appui au Groupe de travail sur la biodiversité et au groupe d'experts volontaires et pour faciliter leur travail. Le OWG pour les réseaux trophiques marins est soutenu par le groupe de travail italien dans le cadre de la directive-cadre stratégique pour le milieu marin (DCSMM).

4. L'objectif principal du OWG est de faciliter la contribution des scientifiques nationaux au processus de finalisation de l'OE4 grâce à l'application des points clés suivants :

- Définir les approches les plus pertinentes pour développer des indicateurs communs IMAP pour l'objectif écologique 4 sur les réseaux trophiques marins en vertu de la Convention de Barcelone.

- Établir des indicateurs communs pour évaluer les réseaux trophiques marins en alignement avec les cadres existants tels que la Directive-cadre stratégique pour le milieu marin (DCSMM) et les conventions régionales telles que OSPAR et HELCOM.
- Définir des objectifs et des critères d'évaluation du bon état écologique des réseaux trophiques marins.
- Identifier les lacunes en matière de données concernant les réseaux trophiques marins en Méditerranée.
- Proposer des approches novatrices pour améliorer le suivi et l'évaluation en s'appuyant sur les meilleures pratiques et méthodologies.
- Harmoniser les processus de collecte de données aux niveaux national et régional pour assurer leur intégration dans les évaluations environnementales méditerranéennes (par exemple, MED QSR).
- Élaborer des lignes directrices pour la collecte, l'interprétation et l'utilisation des données du réseau trophique.

5. Le groupe de travail en ligne sur la biodiversité s'est réuni en ligne le 4 décembre 2024 et le 20 février 2025, tandis que les groupes d'experts volontaires se sont réunis en ligne le 3 février 2025. Ces réunions et discussions ont mené aux considérations et recommandations suivantes.

2. Résultats du Groupe de travail en ligne sur la biodiversité pour les réseaux trophiques marins

6. Le OWG a déclaré que de multiples pressions ont un impact sur les réseaux trophiques et affectent leur dynamique de manière complexe. Par conséquent, il est difficile d'établir un lien entre les changements d'indicateurs et les pressions. La pêche, la pollution, l'eutrophisation, le changement climatique et les espèces non indigènes affectent simultanément plusieurs niveaux du réseau trophique d'une manière spécifique à un écosystème donné et qui n'a été étudiée que récemment. Avec la base de connaissances actuelle, il est impossible de construire un indicateur général unique pour évaluer les impacts de ces pressions. D'autre part, plusieurs indicateurs sont adoptés pour évaluer l'impact de pressions spécifiques dont les effets sont mieux connus, par exemple les impacts de la pêche sur le réseau trophique. L'un des indicateurs les plus utilisés est le niveau trophique moyen (NTM), qui évaluait à l'origine le niveau trophique moyen d'un système marin à partir de la position trophique des espèces récoltées dans le réseau trophique (Pauly et al., 1998) et qui tend à diminuer avec l'augmentation de l'impact de la pêche. Le NTM est actuellement utilisé dans la modélisation des écosystèmes pour étudier les effets de la pêche en fonction de la position trophique des espèces (Agnetta et al., 2024) provenant à la fois des captures et de la biomasse en mer. De plus, Gascuel et al. (2005) ont suggéré que le spectre trophique de la biomasse totale des consommateurs est un indicateur de la structure trophique dans le contexte des pêches. Pour caractériser les réseaux trophiques et leur état en général, les auteurs ont suggéré un seul indicateur basé sur l'évaluation de la guilde d'alimentation (Thompson et al. 2020) ainsi qu'un ensemble d'indicateurs opérationnels (Tam et al. 2017, Machado et al. 2021) en utilisant également les résultats de l'analyse des réseaux écologiques (Safi et al. 2019) pour proposer des indicateurs de réseau trophique.

7. Pour instaurer des indicateurs et des BEE, le OWG a identifié les principales lacunes de la recherche. Les lacunes comprenaient des incertitudes concernant la production de prédateurs supérieurs, des données limitées sur les communautés et les processus de plancton hautement dynamiques, l'inadéquation des indicateurs basés sur la taille, la faible fiabilité des tendances de l'abondance, le manque de données sur les habitudes alimentaires et les séries chronologiques de données à long terme en général, la nécessité d'adopter des indicateurs opérationnels basés

sur l'écosystème plutôt que des indicateurs axés sur une seule espèce. Les effets à long terme des changements planétaires, les impacts des espèces exotiques envahissantes, les changements de nutriments, la perte d'habitat et les lacunes dans les données de référence constituent un défi supplémentaire pour l'évaluation du réseau trophique. D'autres lacunes comprennent des estimations limitées au niveau trophique, en particulier pour les organismes autres que les poissons, le manque de données sur les invertébrés et les espèces non indigènes, les limites de la couverture temporelle et spatiale, le manque d'uniformité et de cohérence des stratégies et des fréquences d'échantillonnage, et les incertitudes dans l'évaluation de l'impact des changements futurs sur la structure et la fonction du réseau trophique.

8. Néanmoins, diverses analyses écologiques, telles que celles utilisant la biomasse et le contenu intestinal ou celles basées sur des isotopes stables (Berto et al. 2024), du modèle de mélange linéaire aux analyses bayésiennes, permettent d'évaluer les habitudes alimentaires de plusieurs consommateurs et les caractéristiques des réseaux trophiques et d'établir la position trophique des espèces marines. L'analyse de ces données et leur intégration dans des modèles plus complexes (McCormack et al. 2019) tels qu'OSMOSE, ATLANTIS et ECOPATH représentent une voie à suivre pour explorer des scénarios de changements du réseau trophique en relation avec des perturbations avec des études de cas méditerranéennes notables comme Coll & Libralato (2012), Piroddi et al. (2015) et Agnetta et al. (2022). Un niveau intermédiaire de complexité dans une telle analyse est représenté par les spectres trophiques cumulatifs suggérés par Link et al. (2015, 2024), qui offrent également des informations précieuses.

9. Sur la base de l'expérience du OWG et de l'étude documentaire, il a été confirmé qu'il existe une extrême hétérogénéité des approches pour l'étude des réseaux trophiques marins en Méditerranée. Le sujet a été largement exploré au cours des dernières décennies, en référence à des espèces uniques, à des guildes trophiques ou à l'analyse de réseaux trophiques entiers à l'aide d'indicateurs ou de modélisations. Diverses méthodologies sont utilisées pour surveiller et évaluer les réseaux trophiques marins, ce qui est crucial pour comprendre la santé des écosystèmes et atteindre les objectifs énoncés dans la Convention de Barcelone. Chaque méthode a ses avantages et ses limites, d'où l'importance de combiner les approches pour étudier les réseaux trophiques marins et évaluer leur état écologique de manière exhaustive.

10. Le OWG a examiné les progrès réalisés dans l'application des indicateurs du réseau trophique dans le contexte européen. La DCSMM fixe des objectifs pour l'atteinte et le maintien d'un bon état écologique du milieu marin, y compris D4 axé sur les réseaux trophiques. Conformément à la décision UE 2017/848 établissant des critères et des normes méthodologiques relatifs au bon état écologique, pour les réseaux trophiques D.4, les guildes trophiques sont sélectionnées en fonction d'éléments de critères qui remplissent les conditions suivantes :a) comprendre au moins trois guildes trophiques ; b) deux d'entre elles devraient être des guildes trophiques non piscicoles ; c) au moins une guilde trophique de producteurs primaires ; d) représenter de préférence au moins le haut, le milieu et le bas de la chaîne alimentaire. Des critères primaires et secondaires sont adoptés, y compris des indicateurs pour la diversité de la guilde (D4C1), l'équilibre en abondance et en biomasse au sein de la guilde (D4C2), la distribution de la taille au sein de la guilde (D4C3) et la productivité de la guilde (D4C4). En revanche, les résultats de l'évaluation ne sont pas indépendants des différents critères. D'autres indicateurs ont été identifiés pour le D4 de la DCSMM, tels que la performance (production) des principales espèces de prédateurs, la biomasse des grands poissons et les tendances de l'abondance de certains groupes et espèces (Commission européenne 2010/477/UE). Cependant, ces indicateurs se veulent des indicateurs de surveillance et, dans de nombreux cas, ne sont pas directement liés à une pression spécifique.

11. L'élaboration d'indicateurs utilisables pour les réseaux trophiques (comme le D4) pose des défis en raison de la complexité des écosystèmes marins, ce qui a conduit à de meilleurs modèles écologiques et à des discussions sur la sélection et l'opérationnalisation des indicateurs. Dans la région de la mer Baltique, HELCOM a mis en place un groupe d'experts sur les réseaux trophiques (EG FOODWEB) au sein de son groupe de travail sur la biodiversité (WG BioDiv) afin d'élaborer des évaluations quantitatives basées sur des indicateurs à l'appui des objectifs de la DCSMM. Le groupe d'experts a contribué à l'évaluation holistique HELCOM 2016-2021 (HOLAS 3). Outre les indicateurs basés sur des données, tels que « Succession saisonnière des groupes phytoplanctoniques fonctionnels » et l'analyse intégrée des tendances sur les réseaux trophiques, ils ont également présenté une méthodologie d'évaluation des indicateurs DCSMM associés aux critères D4C2 et D4C4 à l'aide du modèle Ecopath with Ecosim (EwE). Cependant, une évaluation quantitative de l'état du réseau trophique de la mer Baltique reste difficile en raison du manque de données harmonisées et d'indicateurs convenus au niveau régional, comme indiqué dans l'évaluation HOLAS 3. OSPAR, en tant que Convention sur les mers régionales, effectue des évaluations thématiques dans le contexte de la mise en œuvre régionale de la DCSMM, y compris l'évaluation des réseaux trophiques, avec des indicateurs communs tels que les changements dans les communautés de phytoplancton et de zooplancton, la composition par taille des communautés de poissons, le changement du niveau trophique moyen des prédateurs marins et la proportion de grands poissons. OSPAR a lancé des évaluations pilotes dans diverses zones d'évaluation à l'aide de l'analyse des réseaux écologiques, des évaluations des guildes d'alimentation et des changements au niveau trophique des consommateurs marins. Plusieurs autres projets et initiatives de recherche existent en Europe concernant l'évaluation et la surveillance des réseaux trophiques marins (OSPAR, ICG, COBAM, 2012, Preciado et al., 2023). Cependant, la région méditerranéenne semble être moins active dans la conduite de tels projets que d'autres régions. Les études du réseau trophique axées sur le développement d'indicateurs sont relativement récentes et moins développées, en Méditerranée, malgré la production de plusieurs articles scientifiques sur des études de cas méditerranéennes. À l'heure actuelle, il existe d'importantes lacunes dans la collecte de données, la fiabilité des indicateurs et l'établissement de seuils, ce qui entrave l'établissement d'objectifs communs et d'initiatives de suivi harmonisées.

12. Compte tenu de toutes ces informations, le OWG suggère d'adopter une approche par étapes pour mettre en œuvre l'OE4, des méthodes et indicateurs de base aux méthodes et indicateurs complexes. La biomasse, l'abondance, le régime alimentaire et les niveaux trophiques des espèces marines, ainsi que les prises commerciales des pêches et des activités de pêche, sont des variables primaires qui peuvent être utilisées pour commencer à estimer des indicateurs utiles et communs. Ces variables et paramètres sont immédiatement disponibles pour tous les PC sur des sites Web open source (par exemple, GFCM, FishBase, FishStatJ, Global Fishing Watch), bien que les informations soient principalement liées aux espèces de poissons et subissent des degrés variables d'agrégation et puissent être rattachées à différents domaines géographiques. De plus, les écosystèmes marins côtiers ne sont généralement pas inclus de manière adéquate dans ces ensembles de données.

13. À la lumière de ces considérations, le OWG propose d'adopter les objectifs opérationnels et les indicateurs suivants (tableau 1). Par contre, le BEE et les objectifs seront discutés lors des prochaines réunions du groupe de travail, dès que d'autres progrès réalisés par l'expérience de l'UE (MSFD, OSPAR, HELCOM) ou d'autres évaluations pilotes permettront de faire une proposition.

Table. 1. Proposition d'objectifs opérationnels et d'indicateurs pour l'objectif écologique n° 4 relatif aux réseaux trophiques marins au titre de la convention de Barcelone

Objectif opérationnel	**Indicateur**
4.1 La diversité de l'écosystème et la dynamique de tous les groupes trophiques peuvent assurer l'abondance de la biomasse à long terme de l'espèce	4.1.1 Biomasse ou abondance d'espèces, de genres, de taxons ou de groupes trophiques 4.1.2 Moyenne du niveau trophique moyen des espèces/genres/taxons ou groupes trophiques à partir de la biomasse et/ou des captures 4.1.3 Indices de biodiversité
4.2 La proportion du groupe d'espèces sélectionné est équilibrée comme dans les réseaux trophiques sains	4.2.1 Rapport pélagique/démersal 4.2.2 Rapport NIS/Demersal 4.2.3 Rapport zooplancton/phytoplancton 4.2.4 Répartition par taille des groupes trophiques 4.2.5 Production de la mégafaune (*variables de la mégafaune de l'OE5)

Les tendances et/ou les comparaisons à travers les échelles spatiales des indicateurs du réseau trophique proposés (tableau 1) peuvent être effectuées au moins au niveau régional ou sous-régional, en fonction de la disponibilité de trois groupes de données (A, B, C). **A)** La biomasse (c'est-à-dire Kg/km^2), l'abondance (c'est-à-dire le nombre d'individus/km^2) et la taille (c'est-à-dire la longueur totale du corps) des espèces peuvent être obtenues, par exemple pour de nombreuses espèces démersales, à partir des données MEDITS et des ensembles de données de rapports d'évaluation des stocks de la CGPM. **B)** les captures commerciales des espèces cibles et la production des pêcheries peuvent être obtenues, par exemple, en utilisant les données de la FAO (FishstatJ). **C)** Le niveau trophique des espèces peut être obtenu à partir d'un grand ensemble de données telles que Fishbase et Lifebase. Les indicateurs relevant de l'objectif 4.1 sont utiles pour une première évaluation de l'impact anthropique potentiel sur la structure des réseaux trophiques dans leur ensemble en s'appuyant spécifiquement sur des données simples telles que la biomasse ou l'abondance des groupes d'espèces (indicateur 4.1.1), la trophodynamique (indicateur 4.1.2) et la diversité comme les indices alpha et bêta (indicateur 4.1.3). Les indicateurs relevant de l'objectif opérationnel 4.2 se concentrent sur certains compartiments du réseau trophique afin d'obtenir des preuves plus précises d'impacts anthropiques potentiels tels que les effets néfastes de la pêche de fond et/ou l'eutrophisation (indicateur 4.2.1), l'augmentation des espèces non indigènes (indicateur 4.2.2), les changements dans la production primaire nette affectant la base des réseaux trophiques (indicateurs 4.2.3 et 4.2.4), l'appauvrissement des grands organismes mégafauniques (indicateur 4.2.5)

14. Le OWG a proposé (i) de compléter la liste d'experts, de laboratoires, d'institutions et d'organisations impliqués dans les travaux sur l'OE4 établie dans l'étude documentaire et (ii) de mettre à jour et de compléter les listes des projets de réseaux trophiques marins menés aux niveaux national et régional qui pourraient contribuer au développement de l'OE4. À cette fin, le SPA/RAC a préparé et envoyé un questionnaire aux pays contractants afin de recueillir les informations nécessaires. En outre, il est important (iii) d'échanger des expériences avec d'autres groupes de travail sur les réseaux trophiques dans le cadre de la DCSMM, de l'HELCOM et de l'OSPAR.

15. 11 pays et partenaires étaient représentés dans le OWG pour le réseau trophique marin. Le SPA/RAC invitera les Parties contractantes qui n'ont pas encore désigné de membres au OWG d'experts à le faire dès que possible afin de pouvoir tirer parti de la diversité des compétences et de l'expertise dans la région.

16. Compte tenu de l'importance de la surveillance des réseaux trophiques marins, en particulier compte tenu des perturbations multifactorielles de l'écosystème méditerranéen, le SPA/RAC continuera d'élaborer l'objectif écologique 4 de l'IMAP sur les réseaux trophiques marins, en s'appuyant sur les résultats de l'étude d'examen documentaire prévue dans le programme de travail du SPA/RAC pour 2024-2025 et sur les nouvelles réalisations du groupe de travail. Le groupe de travail et le SPA/RAC ont prévu d'avoir deux autres réunions en 2025 après la réunion CORMON. Au moins l'un d'entre elles sera organisé avec la participation représentative de l'Espagne et de la Croatie pour le D4, afin d'identifier les lacunes en matière de données concernant les réseaux trophiques en Méditerranée et les approches innovantes pour améliorer le suivi et l'évaluation sur la base des meilleures pratiques et méthodologies. En outre, il a été proposé de partager une base de données entre les représentants des pays et le SPA/RAC afin de recueillir des informations sur la disponibilité d'échantillons de terrain pertinents pour l'élaboration d'indicateurs de réseau trophique au niveau régional.

References:

Agnetta D, Badalamenti F, Colloca F, Cossarini G, Fiorentino F, Garofalo G, Patti B, Pipitone C, Russo T, Solidoro C and Libralato S (2022). Interactive effects of fishing effort reduction and climate change in a central Mediterranean fishing area: Insights from bio-economic indices derived from a dynamic food-web model. *Front. Mar. Sci*. 9:909164. doi: 10.3389/fmars.2022.909164.

Agnetta D, Badalamenti F, Sweeting CJ, D'Anna G, Libralato S, Pipitone C. (2024) Erosion of fish trophic position: an indirect effect of fishing on food webs elucidated by stable isotopes. *Phil. Trans. R. Soc. B* 379: 20230167. https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0167.

Berto Daniela, Fanelli Emanuela, Vizzini Salvatrice, Rampazzo Federico, Da ros Zaira, Noventa Seta, Fortibuoni Tomaso,Antonini Camilla, Ciluffo Giovanna, Signa Geraldina, Premici Alice, Bardelli Roberta, Raicevich Saša (2024). ISOMED - A Stable ISOtope database of MEDiterranean marine food web components. *SEANOE*. https://doi.org/10.17882/100661.

Coll M, Libralato S (2012) Contributions of food web modelling to the ecosystem approach to marine resource management in the Mediterranean Sea. *Fish Fish* 13:60–88.

Elliott SAM, Arroyo NL, Safi G, Ostle C, Guérin L, McQuatters-Gollop A, Aubert A, Artigas F, Budria A, Rombouts I, Artigas F, Pesch R, Schmitt P, Vina-Herbon C, Meakins B, González-Irusta JM, Preciado I, López-López L, Punzón A, Torriente A, Serrano A, Haraldsson M, Capuzzo E, Claquin P, Kromkamp J, Niquil N, Judd A, Padegimas B, Corcoran E (2017) Proposed approaches for indicator integration. EcApRHA Deliverable WP 4.1. OSPAR.

Gascuel D, Bozec YM, Chassot E, Colomb A, Laurans M (2005) The trophic spectrum: thOEry and application as an ecosystem indicator. *ICES J Mar Sci* 62:443-452.

HELCOM (2023) HELCOM Thematic assessment of biodiversity 2016-2021. Baltic Sea Environment Proceedings No.191. HELCOM, Helsinki.

Link JS, Pranovi F, Libralato S, Coll M, Christensen V, Solidoro C, Fulton EA (2015) Emergent Properties Delineate Marine Ecosystem Perturbation and Recovery. *Trends in Ecology and Evolution* 30:649-661.

Link JS, Pranovi F, Zucchetta M, Kindinger TL, Heenan A and Tanaka KR (2024) Cumulative trophic curves elucidate tropical coral reef ecosystems *Frontiers in Marine Science* 10.3389/fmars.2023.1324053.

Machado I, Costa JL, Cabral H (2021a) Response of Food-Webs Indicators to Human Pressures, in the Scope of the Marine Strategy Framework Directive. *Front Mar Sci* 8:699566.

McCormack SA, Trebilco R, Melbourne-Thomas J, Blanchard JL, Fulton EA, Constable A (2019) Using stable isotope data to advance marine food web modelling. *Rev Fish Biol Fish* 29:277–296.

OSPAR ICG COBAM (2012) MSFD Advice Manual and Background Document on Biodiversity. Approaches to determining good environmental status, setting of environmental targets and selecting indicators for Marine Strategy Framework Directive descriptors 1, 2, 4 and 6. OSPAR.

Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R, Torres F (1998) Fishing down marine food webs. *Science* 279:860–863.

Piroddi C, Teixeira H, Lynam CP, Smith C, Alvarez MC, Mazik K, Andonegi E, Churilova T, Tedesco L, Chifflet M, Chust G, Galparsoro I, Garcia AC, Kamari M, Kryvenko O, Lassalle G, Neville S, Niquil N, Papadopoulou N, Rossberg AG, Suslin V, Uyarra MC (2015) Using ecological models to assess ecosystem status in support of the European Marine Strategy Framework Directive. *Ecol Indic* 58:175–191.

Preciado I, López-López L, Rabanal I, Ortiz JJ, Torres MA, Muñoz I, Iglesias D, García Rebollo JM, Mendes H, Le Loc'h F, Garrido S, Metaireau H, Serre S (2023) Changes in Average Trophic Level of Marine Consumers. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London.

Safi G, Giebels D, Larissa Arroyo N, Heymans JJ, Preciado I, Raoux A, Schueckel U, Tecchio S, de Jonge VN, Niquil N (2019) Vitamine ENA: A framework for the development of ecosystem-based indicators for decision makers. *Ocean Coast Manag* 174:116–130.

Thompson MSA, Pontalier H, Spence MA, Pinnegar JK, Greenstreet SPR, Moriarty M, Helaouet P, Lynam CP (2020) A feeding guild indicator to assess environmental change impacts on marine ecosystem structure and functioning. *J Appl Ecol* 57:1769–1781.

Tam JC, Link JS, Rossberg AG, Rogers SI, Levin PS, Rochet M-J, Bundy A, Belgrano A, Libralato S, Tomczak M, van de Wolfshaar K, Pranovi F, Gorokhova E, Large SI, Niquil N, Greenstreet SPR, Druon J-N, Lesutiene J, Johansen M, Preciado I, Patricio J, Palialexis A, Tett P, Johansen GO, Houle J, Rindorf A (2017) Towards ecosystem-based management: identifying operational food-web indicators for marine ecosystems. *ICES J Mar Sci* 74:2040–2052.