

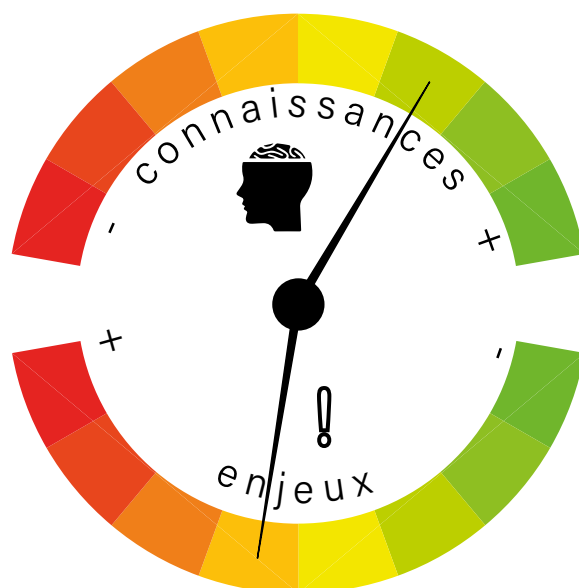


© Haiderose / Adobe Stock

Comment considérer les effets cumulés des activités humaines et des parcs éoliens sur l'écosystème marin et la société ?

Bulletin n°16
Septembre 2026





Problématique jugée comme « à enjeu élevé au regard de l'intérêt de l'approche écosystémique pour évaluer les effets cumulés et dont le niveau de connaissance est bon après une décennie de développement d'outil de modélisation écosystémique appliqué aux parcs éoliens en mer. La complexité des approches écosystémiques réside en partie dans le besoin important de données pour représenter l'ensemble des interactions qui régissent le fonctionnement de l'écosystème »

Tous droits réservés.

Les textes de ce bulletin sont la propriété de France Energies Marines.

Ils ne peuvent être reproduits ou utilisés sans citer la source et sans autorisation préalable. Les photos, les schémas et les tableaux (sauf indication contraire) sont protégés par le droit d'auteur.

Ils restent la propriété de France Energies Marines et ne peuvent être reproduits sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, sans l'autorisation écrite préalable de France Energies Marines.

Citer le document comme ci-dessous :

Henry S., Aраignous E., Bourdaud P., Halouani G., Le Loc'h F., Nogues N. et Raoux A.

Comment considérer les effets cumulés des activités humaines et des parcs éoliens sur l'écosystème marin et la société ?

Bulletin COME3T n°16

Plouzané : France Energies Marines, 2026, 20 pages.

Edition : Septembre 2026

Dépôt légal à parution.

Maquettage : France Energies Marines

Conception graphique des figures : Siegrid Design

COME3T, COMité d'Expertise pour les Enjeux Environnementaux des énergies marines renouvelables, réunit des experts neutres et indépendants pour apporter des éléments de connaissances scientifiques et des recommandations en réponse à un enjeu environnemental en lien avec les énergies marines renouvelables.



Expertise scientifique

Emma Aраignous, Chercheuse en écologie marine et modélisation trophique
France Energies Marines

Pierre Bourdaud, Chercheur en écologie marine et modélisation trophique
France Energies Marines

Ghassen Halouani, Chercheur en écologie marine et modélisation écosystémiques des pêches
Ifremer

François Le Loc'h, Chercheur en écologie trophique
IRD, LEMAR

Quentin Nogues, Chercheur en écologie fonctionnelle des écosystèmes marins et modélisation trophique
France Energies Marines

Aurore Raoux, Chercheuse en écologie marine et modélisation trophique
Université de Caen Normandie, M2C

Avec la participation de **Nathalie Niquil** (CNRS et Université de Caen-Normandie, UMR BOREA puis M2C) et de **Georges Safi** (France Energies Marines), respectivement Responsable scientifique et Coordinateur du projet TROPHIK .

Coordination, synthèse et rédaction

Sybill Henry, Chargée d'études et de médiation scientifique
France Energies Marines

Introduction

La mer et les littoraux sont des espaces où coexistent de nombreuses activités maritimes (transport, défense, pêche, conchyliculture, câbles sous-marins, tourisme, plaisance, éolien en mer, etc.). Ces activités humaines induisent une perturbation de l'environnement (pression) dont les effets peuvent se répercuter sur l'état de santé des écosystèmes marins. **Comprendre la structure et le fonctionnement de ces écosystèmes face à des perturbations d'origine anthropique** est donc nécessaire afin d'identifier les potentiels points de bascule d'un état de l'écosystème vers un autre (17) et proposer des mesures pour les éviter.

Afin de préserver l'environnement, le code de l'environnement impose la réalisation d'une étude d'impacts pour évaluer les effets significatifs d'un projet sur le milieu naturel. Or ces études d'impacts sont réalisées par compartiment écologique (oiseaux, mammifères marins, poissons, etc.). **L'approche écosystémique vise à faire du lien entre ces différents compartiments en considérant les interactions entre les différentes espèces ainsi qu'avec leur environnement.** L'étude des effets induits par les activités maritimes sur l'écosystème, via la prise en compte des interactions qui structurent le réseau trophique, permet d'avoir une vision des effets sur l'ensemble de l'écosystème.

L'essor des parcs éoliens en mer en France (45 GW de capacité installée d'ici à 2050) et en Europe (300 GW d'ici 2050) induit l'ajout d'une nouvelle pression d'origine anthropique dans le milieu marin. Les travaux de recherche de Nathalie Niquil, Directrice de recherche au CNRS et à l'Université de Caen Normandie, ont posé les bases d'une approche écosystémique des parcs éoliens en mer et du cumul d'impact. Ils ont été poursuivis dans le projet **TROPHIK**. En s'appuyant sur ces travaux, le bulletin présente les réflexions et les démarches menées depuis 2012 pour tendre vers une évaluation représentative des effets cumulés des activités anthropiques sur les écosystèmes marins.

● En bref

Les **modèles écosystémiques permettent d'étudier les effets cumulés des activités en mer sur l'écosystème marin**. Ils considèrent les interactions qui structurent et régissent le fonctionnement de l'écosystème et fournissent ainsi une **vision globale du réseau trophique**. Les modèles trophiques considèrent les interactions alimentaires entre les espèces et les flux de matières associés. Le projet de recherche TROPHIK a contribué à **poser les bases de l'approche écosystémique pour étudier les effets des parcs éoliens en mer**. TROPHIK a notamment permis de (i) représenter la zone de la baie de Seine dans un modèle, (ii) développer une méthode d'analyse de la répartition des espèces en baie de Seine selon différents scénarios de changement climatique, (iii) étudier certains effets induits par les parcs éoliens en mer comme les effets récif et réserve.

Définitions

Approche écosystémique

L'approche écosystémique repose sur l'étude de la structure de l'écosystème, les mécanismes qui régissent son fonctionnement ainsi que les fonctions et interactions qui lient les organismes vivants entre eux et à leur environnement (11).

Écosystème

Milieu naturel où l'ensemble des organismes vivants présents dans une aire donnée interagissent entre eux et avec leur environnement (11).

Effet

Conséquence objective de l'introduction d'une ou plusieurs pressions susceptibles de générer un impact sur le milieu vivant marin. Un effet peut générer ou non un impact sur les différents compartiments de l'écosystème marin en fonction de leur sensibilité (capacité à tolérer des modifications du milieu –résistance, et au temps nécessaire à sa récupération suite à ces modifications – résilience).

Effet cumulé

Combinaison dans le temps et/ou dans l'espace de plusieurs effets (issus d'une ou de plusieurs activités anthropiques différentes) qui peuvent se cumuler de manière **additionnelle** (la somme des effets équivaut à la somme de chaque effet pris individuellement), **atténuée** (les effets observés seront inférieurs à la somme de chaque effet pris individuellement), **synergique** (les effets observés seront supérieurs à la somme de chaque effet pris individuellement) ou **masquante** (un effet domine le signal et masque les autres effets pris individuellement) sur un **récepteur écologique** (c'est-à-dire un individu, une espèce, un groupe d'espèces ou un habitat) (1).

Effet récif

Correspond à l'augmentation de la capacité du milieu marin à accueillir des organismes vivants inféodés aux substrats durs ou sédentarisés, (c'est-à-dire présents une grande partie de l'année) résultant de l'ajout d'un substrat dur d'origine anthropique. L'effet récif est localisé à l'échelle de la structure artificielle et de ses alentours proches et peut induire d'autres effets comme l'effet d'agrégation temporaire d'espèces mobiles.

Effet réserve

Effet lié à la modification des usages (trafic maritime, plaisance, pêche, etc.) dans une zone donnée et qui influe sur les abondances, les biomasses et les spectres de tailles individuelles (et autres caractéristiques démographiques) des espèces exploitées.

Impact

Transposition d'un effet sur les différents compartiments de l'écosystème marin en tenant compte de leur sensibilité.

Impact cumulé

Combinaison spatiale et/ou temporelle de plusieurs impacts qui peuvent se cumuler de manière additionnelle, antagoniste ou synergique sur un récepteur écologique. On distingue « impact cumulé » de la notion de « cumul d'impact » qui représente la multiplicité des activités humaines dont les effets se combinent sur un même écosystème (1).

Modèle

Représentation conceptuelle simplifiée des composants clés d'un système et des relations existantes entre ces composants. En fonction des modèles, ces représentations peuvent être qualitatives (nature des liens existants) ou quantitatives (données chiffrées) et s'appuient sur des connaissances scientifiques établies pour représenter les processus et mécanismes existants (11).

Pression

Traduction des activités anthropiques dans le milieu marin pouvant se matérialiser éventuellement par le changement d'état, dans l'espace ou dans le temps, des caractéristiques physiques, chimiques et ou biologiques du milieu. L'aire ou la zone d'influence de cette pression est l'étendue géographique à l'intérieur de laquelle cette pression est exercée. Elle dépend du compartiment environnemental impacté.

Réseau trophique

Représente l'ensemble des chaînes alimentaires intriquées entre les différents êtres vivants d'un écosystème et formant un réseau impliquant un transfert d'énergie depuis les producteurs primaires jusqu'aux consommateurs supérieurs (Fig 1). Le réseau trophique se structure généralement sur plusieurs niveaux incluant les herbivores (**consommateurs primaires**), les carnivores (**consommateurs secondaires** jusqu'aux **top-prédateurs**) et les **détritivores** qui interviennent à tous les niveaux du réseau trophique pour recycler la matière organique (1).

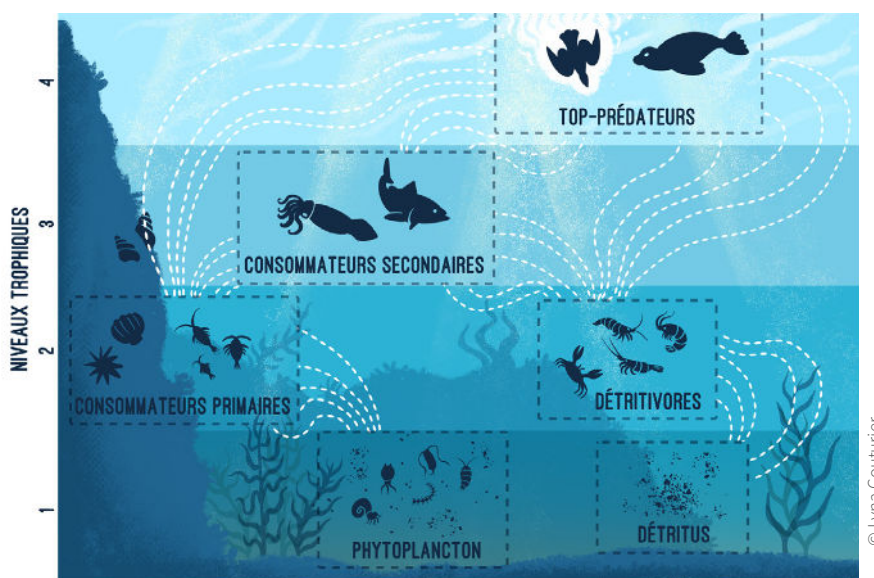


Fig. 1 Représentation simplifiée et non exhaustive des principaux niveaux trophiques en milieu marin.

Scenario

Représentation conceptuelle de plusieurs avenir possibles pour un ou plusieurs composants d'un système, à partir d'un point de départ défini. Les scénarios mettent en évidence les facteurs de changement au sein d'un écosystème et les impacts de ces changements sur une période donnée. Il existe différents types de scénario dont les deux principaux sont :

- Les **scénarios exploratoires** ou **descriptifs** qui permettent d'évaluer une série de possibilités à partir des trajectoires potentielles des facteurs de changement, qu'ils soient indirects (les facteurs sociopolitiques ou économiques par exemple) ou directs (changement climatique, développement d'activité, etc.).
- Les **scénarios normatifs** qui permettent d'identifier les différentes voies possibles pour atteindre un (ou des) objectif(s) fixé(s) à l'avance (11).

Trophique

Du grec « trophê » qui signifie « nourriture », trophique qualifie ce qui a trait aux relations alimentaires entre les organismes vivants. Ces relations alimentaires se traduisent par des flux entre les différentes espèces. On appelle « niveau trophique », la position qu'occupe une espèce au sein d'un réseau trophique (1).

Les modèles et les outils de l'approche écosystémique

Pour évaluer les effets potentiels d'un projet sur l'environnement, les études d'impact environnemental considèrent la sensibilité de l'écosystème aux potentielles perturbations anthropiques de manière fractionnée (6, 7). En France, le guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer subdivise l'écosystème marin en quatre grands compartiments : milieu physique, milieu biologique, paysage et patrimoine, activités socio-économiques et usages (12). Les composantes de chacun de ces compartiments sont évaluées à travers différents critères qui s'appuient sur des données directement acquises sur le terrain. Par exemple, la composante « habitat benthique » du compartiment « milieu biologique » peut être évaluée grâce à différents critères tels que le nombre d'espèces, l'abondance ou la biomasse. La composante « conditions océanographique » du compartiment « milieu physique » peut être évaluée grâce à la direction et la vitesse des vents, l'amplitude de marée ou encore la direction et la hauteur de houle. (12). Si cette approche par compartiment est fondamentale pour connaître toutes les composantes d'un écosystème, elle rend difficilement compte des interactions qui structurent et régissent son fonctionnement (1). **Développer une méthode qui intègre ces interactions dans l'évaluation des effets potentiels permet de considérer l'écosystème dans son ensemble. Les deux approches sont complémentaires** (2).

En fonction des interactions qu'ils ciblent, les **modèles écosystémiques** peuvent être de différentes natures. Les modèles biogéochimiques par exemple, vont cibler les flux de matière (carbone, azote, phosphore) existants entre les différents compartiments biotiques (biosphère) et abiotiques (géosphère, atmosphère et hydrosphère). Les modèles socio-écologiques vont plutôt cibler les interactions existantes entre l'homme et l'environnement (1).

Les **relations trophiques** entre espèces et les flux associés figurent parmi les interactions écologiques les plus importantes. Les étudier permet de mieux comprendre la structure et le fonctionnement de l'écosystème et d'évaluer leurs potentiels changements en réponse à une perturbation (pêche, éolien en mer ou changements globaux - changement climatique). Pour y parvenir les **modèles trophiques** sont des outils intéressants dans le sens où ils établissent et caractérisent l'ensemble des liens (ici les relations trophiques) entre les différents organismes vivants de l'écosystème (1).

On distingue les modèles qualitatifs et quantitatifs. Les **modèles qualitatifs** se focalisent sur l'identification des interactions existantes (présence/absence de flux) entre les différentes composantes de l'écosystème et les facteurs de changement (perturbations de l'écosystème). Ils permettent une analyse fine de la structure et du fonctionnement de l'écosystème et peuvent prédire sa réponse à une perturbation (18). Les interactions sont souvent définies à dire d'experts et ne sont pas quantifiées. Cela présente l'avantage de pouvoir construire un modèle d'écosystème pour lequel on manque de connaissances et de données (17). Ces modèles donnent un bon aperçu de l'ensemble des interactions et permettent d'identifier les interactions (directes et indirectes) indispensables à l'étude du cumul d'impacts. Les **modèles quantitatifs** vont attribuer une valeur aux interactions en quantifiant les flux (16). S'ils permettent d'être plus représentatifs de certaines interactions, ces modèles sont fortement dépendants des données disponibles. L'utilisation d'un modèle plutôt qu'un autre va dépendre de la question de recherche initiale et du type de résultat souhaité (1).

En considérant les interactions dans leur globalité, les modèles écosystémiques ouvrent donc la voie à l'étude du cumul d'impacts (18). Ils considèrent les interactions existantes au sein d'un écosystème, leurs évolutions dans le temps et dans l'espace, ainsi que leurs réponses à une perturbation et leurs répercussions sur l'ensemble de l'écosystème (14).

Pour réaliser ces études, de nombreux outils de modélisation trophique ont été développés par la communauté de recherche : EwE, OSMOSE, ATLANTIS, etc. Si ces outils sont généralement disponibles en

« open source » ou sous licence, leur utilisation requiert nécessairement des développements et des adaptations spécifiques des modèles (intégration des données, échelles d'intérêt, scénarios à tester, etc.).

Utilisé dans le cadre du projet TROPHIK, seul EwE sera présenté ici. EwE est un logiciel de modélisation du réseau trophique composé de trois modules (5):

- **Ecopath**, fournit une représentation statique de l'écosystème. Il met en relation l'ensemble des interactions trophiques et caractérise les flux. Le modèle s'appuie sur des données de biomasse et de captures.
- **Ecosim**, fournit une représentation dynamique de l'écosystème et permet de suivre son évolution dans le temps.
- **Ecospace**, ajoute une dimension spatiale à la représentation de l'écosystème.

Adaptable, il peut être modifié et paramétré pour modéliser des scénarios spécifiques (10). C'est ainsi que cet outil a été utilisé pour TROPHIK, afin d'adapter le modèle aux spécificités de la Baie de Seine étendue et considérer les perturbations anthropiques liées au développement du parc éolien en mer du Calvados (Courseulles-sur-Mer) et au changement climatique (2).

Quelques limites

Tout exercice de modélisation présente des limites qui sont directement liées aux hypothèses initiales, à la nature du modèle et aux contraintes de l'outil utilisé. Ce sont des simplifications de la réalité. Toute modélisation doit donc être interprétée au regard des hypothèses et des choix de paramétrisation du modèle. En fonction des conditions d'études (question de recherche, spécificité de la zone, espèces locales, espèces d'intérêt commercial, patrimonial, etc.) le nombre et la caractérisation des groupes fonctionnels pourront être différents d'un modèle à l'autre. Il est donc important de connaître, en amont de l'interprétation des résultats, quels sont les agrégations d'espèces ou les groupes fonctionnels qui ont été pris en compte et quelle est l'origine des données (dires d'expert ou données empiriques) (1).

Le projet de recherche TROPHIK et ses principaux résultats

Poser les bases de l'approche écosystémique pour l'étude des effets des parcs éoliens en mer

Mené entre 2016 et 2019, le projet de recherche TROPHIK visait à modéliser le rôle des parcs éoliens en mer et des autres activités anthropiques dans la modification du fonctionnement des réseaux trophiques en baie de Seine en tenant compte du changement climatique. Situé en baie de Seine, le parc éolien en mer du Calvados a servi de cas d'étude au projet. Encore en phase d'autorisation en 2015, le parc a été approuvé en 2019 et sa construction a commencé en 2021. Les principaux résultats du projet sont les suivants :

• Représentation de la zone « Baie de Seine étendue » au travers un modèle EwE

La Baie de Seine étendue va au-delà des 5000 km² de la baie de Seine et s'étend jusqu'à la limite nord de la zone économique exclusive française pour une surface totale de 13 500 km² (Fig 2). Elle est caractérisée par une large diversité de substrats et la présence de mammifères et d'oiseaux marins. C'est également une zone maritime fortement anthropisée avec une activité de pêche importante (notamment en volume de captures) et un trafic maritime intense, la Manche - Mer du nord étant l'une des voies maritimes les plus empruntées du monde (14). L'étude de ces caractéristiques a permis de créer le modèle « Baie de Seine étendue » projeté dans le temps et l'espace. Il fournit ainsi une bonne représentation de l'écosystème avec 40 compartiments vivants (allant du phytoplancton aux oiseaux et mammifères marins) et 2 non vivants : les rejets de pêche et les détritiques (8).

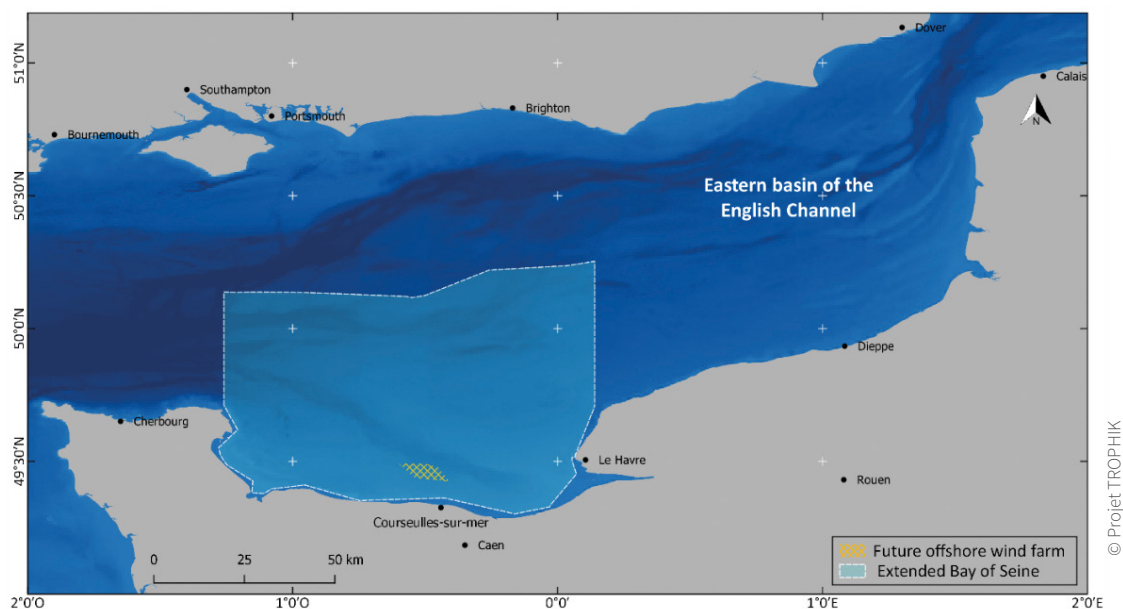


Fig. 2 Carte de la zone “Baie de Seine étendue”.



Campagne d'échantillonnage en mer menée dans le cadre du projet TROPHIK.

• Développement d'une méthode pour étudier la répartition spatiale des espèces en Baie de Seine étendue selon différents scénarios de changement climatique

En s'appuyant sur des données d'occurrences géographiques par espèces et des données environnementales, des modèles de niche ont été créés. Ces modèles présentent la spécificité de prédire la distribution spatiale de la biomasse des espèces en partant de l'hypothèse que chaque espèce occupe la niche écologique (ensemble des conditions environnementales nécessaire à la viabilité d'une espèce) qui lui est la plus favorable (2). Ils ont permis d'élaborer un atlas cartographique présentant la distribution de 73 espèces vivant dans la Baie de Seine étendue. Ainsi, l'évolution des aires de répartition de ces espèces du fait du changement climatique a été simulée en s'appuyant sur les scénarios de changement climatique établis par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) chargé d'évaluer l'ampleur, les causes et les conséquences du changement climatique à l'œuvre (3). Ces données ont ensuite été couplées aux modèles trophiques pour étudier les changements induits par le changement climatique sur l'écosystème (4). **Les résultats obtenus montrent que le changement climatique est le facteur le plus influent dans la structuration et le fonctionnement de l'écosystème** avec des « gagnants » (bivalves, cabillauds, etc.) et des « perdants » (grondins, morues, etc.) qui bénéficient ou pâtissent des changements des conditions environnementales (température, aire de répartition, relations trophiques, etc.) (4).

• Etude des effets de l'installation d'un parc éolien en mer en baie de Seine grâce à l'approche écosystémique

L'installation d'un parc éolien en mer peut avoir plusieurs effets sur l'écosystème marin, dont l'effet réserve induit par la mise en place d'une zone d'exclusion du parc en phase travaux, puis par une fermeture partielle ou totale de certaines activités de pêche en phase d'exploitation. L'hypothèse émise dans le cadre du projet de recherche TROPHIK s'appuie sur la possibilité de création d'une zone tampon autour des éoliennes lors de l'installation où certaines espèces marines pourraient bénéficier d'un effet réserve et, à plus large échelle, d'un effet de débordement. La modification des activités de pêche au sein d'une zone donnée engendre une modification de l'écosystème. En cas d'interdiction totale de la pêche comme c'est le cas en phase travaux, cette modification se traduit notamment par une augmentation de la biomasse de certains groupes de poissons, notamment ceux fortement dépendant aux fonds marins (poissons démersaux) du fait de leur faible mobilité (Fig. 3). Les changements induits par l'effet réserve vont surtout : (i) affecter les espèces à faible mobilité, (ii) induire une réallocation de l'effort de pêche, (iii) attirer les top-prédateurs sur les zones adjacentes (15). Cependant les variations de l'écosystème sont relativement faibles au regard des indices de biomasse et de capture, même si leur variation témoigne tout de même d'une modification de la composition spécifique à proximité immédiate du parc éolien (2). Par ailleurs, ces résultats sont à considérer en tenant compte des limites de la modélisation, du manque de données sur le terrain et des choix méthodologiques opérés (agrégation de certaines espèces au sein d'un même niveau trophique par manque de données par exemple) (2).

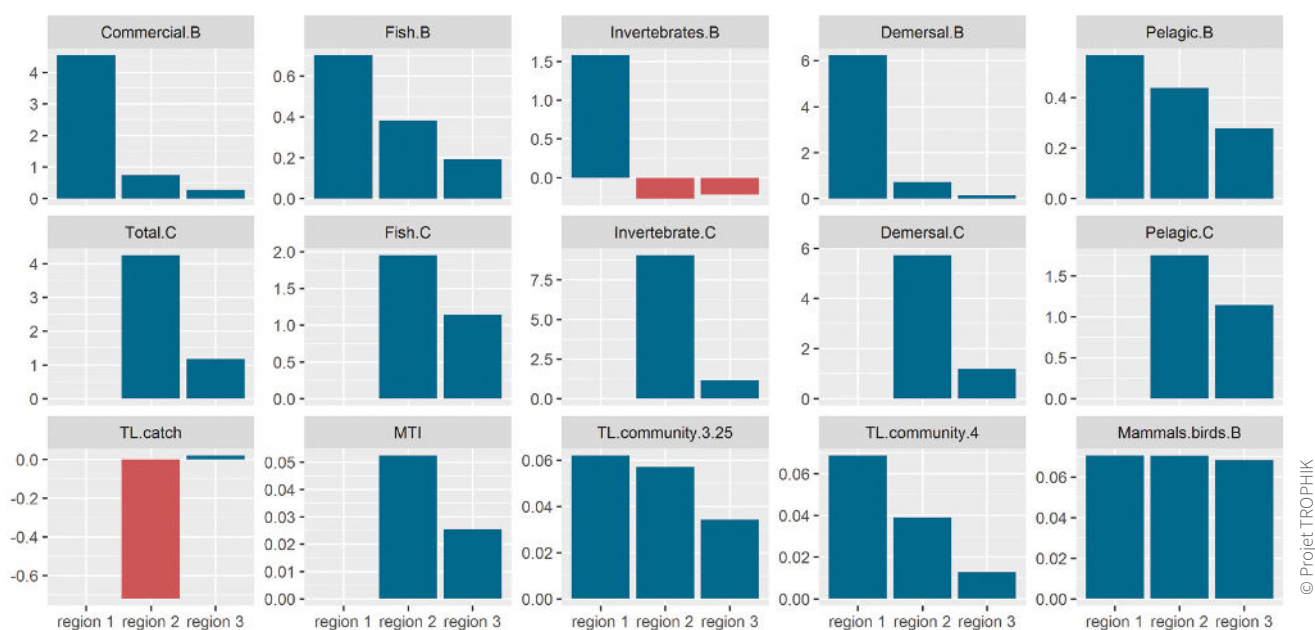


Fig. 3 Evolution des biomasses, des captures et des indices de niveau trophique suite à la fermeture du parc. Sur la première ligne sont présentées les biomasses (B) de certains compartiments, puis en deuxième ligne les captures (C) de ces mêmes compartiments, et enfin les indices : niveau trophique moyen de captures (TL catch), niveau trophique moyen des captures ayant un niveau trophique supérieur à 3.25 (Marine Trophic Index, MTI), niveau trophique moyen de toutes les espèces à niveau trophique supérieur à 3.25 (TL.community.3.25) ou à 4.

• Prendre en compte l'humain : vers une approche intégrée de l'écosystème

Comprendre le fonctionnement de l'écosystème c'est aussi comprendre comment ce dernier interagit avec la société et inversement. Le projet TROPHIK a notamment mis en avant le besoin de comprendre les dynamiques qui régissent le **fonctionnement du socio-système** et de mieux considérer ses effets sur l'écosystème (1).

Pour répondre à ces questions, des modèles socio-écologiques peuvent être développés. Ces derniers permettent de déterminer la résilience des socio-systèmes en étudiant les réponses de l'écosystème aux changements environnementaux et le rôle des organismes responsables de la gestion de l'environnement (et des ressources naturelles associées) (14). C'est un outil qui permet de comprendre les relations entre la société et la nature (9). Il est particulièrement utile lorsque le socio-système est complexe : diversité et pluralité des acteurs, composantes environnementales, etc. (13).

A partir du modèle qualitatif des effets du parc éolien en mer du Calvados sur l'écosystème, un modèle qualitatif du socio-système associé au parc éolien en mer a été créé. Ce modèle avait pour objectif de représenter les différents liens existants (i) entre les acteurs économiques et (ii) entre les différentes composantes du réseau d'acteur et les compartiments écologiques de l'écosystème, au travers de trois fonctions : économique, politique et socio-culturel (9). C'est donc un bon outil pour aider à identifier les préoccupations des populations locales (13).

La mise en œuvre d'une approche interdisciplinaire est indispensable à la compréhension du fonctionnement et de la dynamique d'évolution des socio-écosystèmes (14). La caractérisation de l'ensemble des relations (trophiques, économiques, sociales, etc.) nécessite des disciplines différentes mais complémentaires pour aboutir à une vision holistique de l'écosystème (1).

Les limites de cette approche holistique

La prise en compte de l'ensemble des facteurs anthropiques (pêche, transport maritime, plaisance, activités militaires, etc.) et de la complexité de leurs relations avec les écosystèmes dans les modèles écosystémiques est encore difficile. Cela est principalement dû à la **quantité d'informations** nécessaires pour construire l'ensemble des relations trophiques identifiées et à la **difficulté de transposer un effet en flux** dans le modèle (par exemple, transposer les effets d'une modification du bruit ambiant sur le comportement alimentaire des mammifères marins).

De plus, chaque écosystème possède des caractéristiques qui lui sont propres. Les retours d'expériences et les observations faites au sein d'autres écosystèmes, parcs éoliens en mer, activités générant la même pression ou encore d'autres zones géographiques sont importantes à considérer. Ils apportent des informations utiles au dimensionnement des modèles et à la définition d'hypothèses. Cependant, extrapoler les résultats sans tenir compte des spécificités et des caractéristiques propres à l'écosystème étudié limite les résultats de la modélisation. Cela a été le cas dans TROPHIK par exemple, où les données de colonisation des fondations du parc éolien en mer du Calvados ont été extrapolées à partir des observations faites au sein des parcs éoliens belges pour des infrastructures similaires et des écosystèmes proches (mer du Nord). Or l'état des populations de moules constaté *a posteriori* par des données d'observation sur le terrain ont montré un effondrement des gisements à proximité de Barfleur, qui n'avait pas été prédit par le modèle. Il est donc primordial d'interpréter les résultats au regard des hypothèses et des contraintes du modèle : source des données empiriques ou à dire d'experts, incertitudes liées à la variabilité du vivant ou aux scénarios, etc. En ce sens, valider ces hypothèses par des données d'observations sur le terrain est indispensable.

Où en est-on aujourd'hui et où allons-nous ?

Les perspectives et les limites du projet [TROPHIK](#) ont conduit au développement de nombreux autres projets de recherche (Fig. 4).

Si chaque projet a des objectifs bien spécifiques, tous sont liés et visent à intégrer de nouvelles données et ainsi tendre vers une meilleure représentativité de l'écosystème.

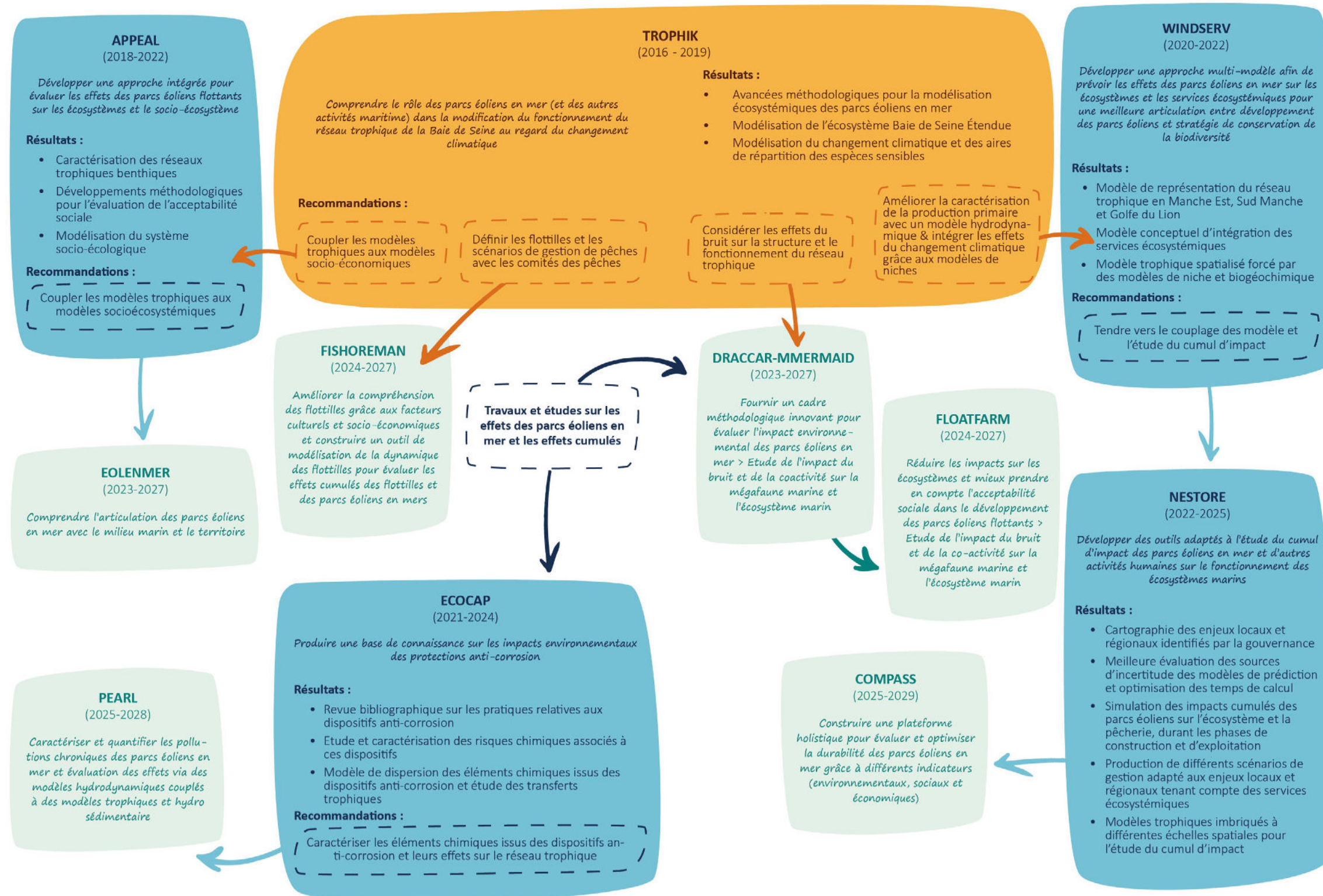


Fig. 4 Synthèse des projets de R&D menés depuis TROPHIK pour l'évaluation des effets cumulés en mer appliquée à l'éolien en mer.

En orange, le projet TROPHIK. En bleu clair, les projets terminés. En vert, les projets en cours.

L'avancement continu des connaissances au cours de ces 10 dernières années permet aujourd'hui de :

- **Mieux comprendre les effets des différentes pressions sur les différents compartiments de l'écosystème et sur son fonctionnement ;**
- **Considérer le cumul de ces différentes pressions sur un même écosystème** et ainsi caractériser les potentiels effets synergiques, additifs, antagonistes, etc.

Comme en témoigne la **figure 4**, de nombreuses questions de recherche se posent encore aujourd'hui, toujours dans la perspective de tendre vers une approche plus intégrée des effets cumulés en améliorant :

- les **connaissances des interactions** : caractérisation des activités et de leurs effets sur les écosystèmes, intégration des activités humaines, etc.
- la **performance des outils** : diminution des temps de calculs, réduction des incertitudes, etc.

Avec ses nombreuses avancées méthodologiques pour la modélisation écosystémique des parcs éoliens en mer, TROPHIK a mis en contexte la notion de cumul d'impacts en s'intéressant au changement climatique et au socio-écosystème (2).

Si les modèles trophiques sont de bons outils pour considérer les effets cumulés sur les écosystèmes marins, rendre compte de la complexité de leur structure et de leur fonctionnement est un exercice complexe qui ouvre la voie à de nombreuses perspectives de recherche pour :

- **Intégrer les effets qui ne peuvent pas encore être pris en compte dans les modèles trophiques seuls** en couplant les différents modèles (trophiques, physiques, biogéochimiques, démographiques, etc.) et avoir ainsi une modélisation plus complète de l'écosystème ;
- **Poursuivre les travaux exploratoires** menés sur la capacité de dispersion des espèces non-indigènes au sein des parcs éoliens en mer ou sur la traduction des effets de certaines pressions comme le bruit, l'acidification des eaux ou l'augmentation de la température sur les différents compartiments de l'écosystème pour les intégrer aux modèles ;
- **Considérer les évolutions de la société** (contexte réglementaire, nouvelles pratiques, évolution des usages, etc.) pour (i) faire évoluer les modèles (cas des rejets en mer, polluants, etc.) et (ii) considérer les répercussions de ces évolutions sur la dynamique de l'écosystème ;
- **Améliorer les connaissances de certains compartiments écologiques** et en particulier les bas niveaux trophiques, les microbes et les bactéries essentiels à la structure et au fonctionnement de l'écosystème mais encore méconnus ;
- **Améliorer les connaissances des liens trophiques existants** par analyse des contenus stomacaux des espèces marines présentes sur le site d'étude.

L'amélioration des connaissances et la validation des modèles et des hypothèses par des données d'observation acquises sur le terrain permettra notamment de limiter les extrapolations faites à partir d'écosystèmes analogues. Plus les interactions et les flux des modèles sont proches des données terrains, plus les modèles sont représentatifs du fonctionnement « réel » de l'écosystème, et moins le niveau d'incertitude et le risque d'erreurs associé (cas du gisement de moules précédemment évoqué) sont élevés.

Conclusion

Les modèles de l'approche écosystémique sont particulièrement bien adaptés à l'étude des effets cumulés des activités humaines et des parcs éoliens sur l'écosystème et la société. Le projet TROPHIK a permis le développement d'une méthode permettant de passer d'une vision sectorielle et compartimentée à une **approche plus globale de l'écosystème**. Au fil des projets, la recherche a permis de développer des outils prometteurs pour l'évaluation des effets cumulés. Avec la multiplication des activités et des usages en mer, la prise en compte des effets cumulés est indispensable à la préservation de l'état de santé des écosystèmes marins et répond à une obligation réglementaire.

Bibliographie

- [1] Paroles d'experts., (2025) : Ateliers et entretiens COME3T menés auprès d'E. Araignous (FEM), P. Bourdaud (FEM), G. Halouani (Ifremer), F. Le Loc'h (IRD), Q. Noguès (FEM), A. Raoux (Univ. De Caen-Normandie), N. Niquil (CNRS, Univ. De Caen-Normandie), G. Safi (FEM). Coord. S. Henry (FEM)
- [2] Araignous, E., Beaugrand, G., Ben Rais Lasram, F., Bourdaud, P., Champagnat, J., Dauvin, JC., Grangeré, K., Halouani, G., Haraldsson, M., Hattab, T., Le Loc'h, F., Leroy, B., Lejart, M., Niquil, N., Nogues, Q., Pagot, JP., Raoux, A., Safi, G., Villanueva, C., (2019) : Recommandations pour une approche écosystémique des aires d'implantation d'énergies marines renouvelables. Cas d'étude du parc éolien offshore de Courseulles-sur-Mer. Plouzané : France Energies Marines Editions, 2019, 60.
- [3] Ben Rais Lasram, F., Hattab, T., Noguès, Q., Beaugrand, G., Dauvin, JC., Halouani, G., Le Loc'h, F., Niquil, N., Leroy, B., (2020) : An open-source framework to model present and future marine species distributions at local scale. In Ecol. Inf, Vol 59 (2020), 101130. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101130>
- [4] Bourdaud, P., Ben Rais Lasram, F., Araignous, E., Champagnat, J., Grusd, S., Halouani, G., Hattab, T., Leroy, B., Noguès, Q., Raoux, A., Safi, G., Niquil, N., (2021) : Impacts of climate change on the Bay of Seine ecosystem: Forcing a spatio-temporal trophic model with predictions from an ecological niche model. In Fisheries Oceanography. 30:471-489. <https://doi.org/10.1111/fog.12531>
- [5] Christensen, V., Walter, CJ., (2004) : Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. In Ecol. Mod. 172 (2004) 109-139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.003>
- [6] Curtin, R., Prelezo, R., (2010) : Understanding marine ecosystem based management: A literature review. Marine Policy 34, 821–830. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.01.003>
- [7] De Jonge, VN., Schückel, U., Baird, D., (2019) : Subsets of food webs cannot be used as a substitute to assess the functioning of entire ecosystems. Marine Ecology Progress Series 613. <https://doi.org/10.3354/meps12863>
- [8] Halouani, G., Villanueva, CM., Raoux, A., Dauvin, JC., Ben Rais Lasram, F., Foucher, E., Le Loc'h, F., Safi, G., Araignous, E., Robin, JP., Niquil, N., (2020) : A spatial food web model to investigate potential spillover effects of a fishery closure in an offshore wind farm. In Jour. Of Mar. Sys. Vol 212 (2020), 103434. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103434>
- [9] Haraldsson, M., Raoux, A., Riera, F., Hay, J., Dambacher, JM., Niquil, N., (2020) : How to model social-ecological systems ? A case study on the effects of a future offshore wind farm on the local society and ecosystem, and whether social compensation matters, In Marine Policy, Vol. 119 (2020) : 104031, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104031>
- [10] ICES., (2025) : Workshop to compile evidence on the impacts of offshore renewable energy in fisheries and marine ecosystems (WKCOMPORE). ICES Scientific Reports. 7:45. 283 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.28759259>
- [11] IPBES., (2025) : Site internet de l'IPBES, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services : <https://www.ipbes.net/glossary>, consulté le 22/07/2025
- [12] MEEM., (2017) : Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer. Ed. 2017, Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer., 201p.
- [13] Niquil, N., Raoux, A., Haraldsson, M., Araignous, E., Halouani, G., Leroy, B., Safi, G., Noguès, Q., Grangeré, K., Dauvin, JC., Riera, F., Mazé, C., Le Loc'h, F., Villanueva, MC., Hattab, T., Bourdaud, P., Champagnat J., Ben Rais Lasram, F., (2020) : Toward an Ecosystem Approach of Marine Renewable Energy: The Case of the OffshoreWind Farm of Courseulles-sur-Mer in the Bay of Seine. In Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020 K. D. Nguyen et al.

(eds.), *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change*, Springer Water, https://doi.org/10.1007/978-981-15-2081-5_9, pp 137-148

[14] Noguès, Q., (2021) : Etude du cumul d'impact autour du parc éolien offshore de la Baie de Seine : quelles conséquences pour le fonctionnement trophique de l'écosystème, sa résilience et les services écosystémiques? Ecologie, Environnement. Normandie Université, 2021. Français. 2021NORMC250. tel-03883258

[15] Noguès, Q., Araidous, E., Bourdaud, P., Halouani, G., Raoux, A., Foucher, E., Le Loc'h, F., Loew-Turbout, F., Ben Rais Lasram, F., Dauvin, J.C., Niquil, N., (2022): Spatialized ecological network analysis for ecosystem-based management: effects of climate change, marine renewable energy and fishing on ecosystem functioning in the Bay of Seine. In *ICES Journal of Marine Science*, 2022, 79, 1098–1112. DOI: 10.1093/icesjms/fsac026

[16] Plagányi, E.E., (2007) : Models for an ecosystem approach to fisheries, In *FAO Fisheries Technical Paper*, Vol 477. 108p.

[17] Raoux, A., (2017): Approche écosystémique des énergies marines renouvelables : étude des effets sur le réseau trophique de la construction du parc éolien au large de Courseulles-sur-Mer et du cumul d'impacts. *Physiologie et Biologie des organismes-Populations-Interactions*. Université de Caen Normandie (2017), 292p

[18] Reum, J., Ferriss, B.E., McDonald, P.S., Farrell, D.M., Harvey, C.J., Klinger, T., Levin, P.S., (2015) : Evaluating community impacts of ocean acidification using qualitative network models. In *Mar. Ecol. Prog. Vol*, 536: 11–24. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v536/p11-24/>



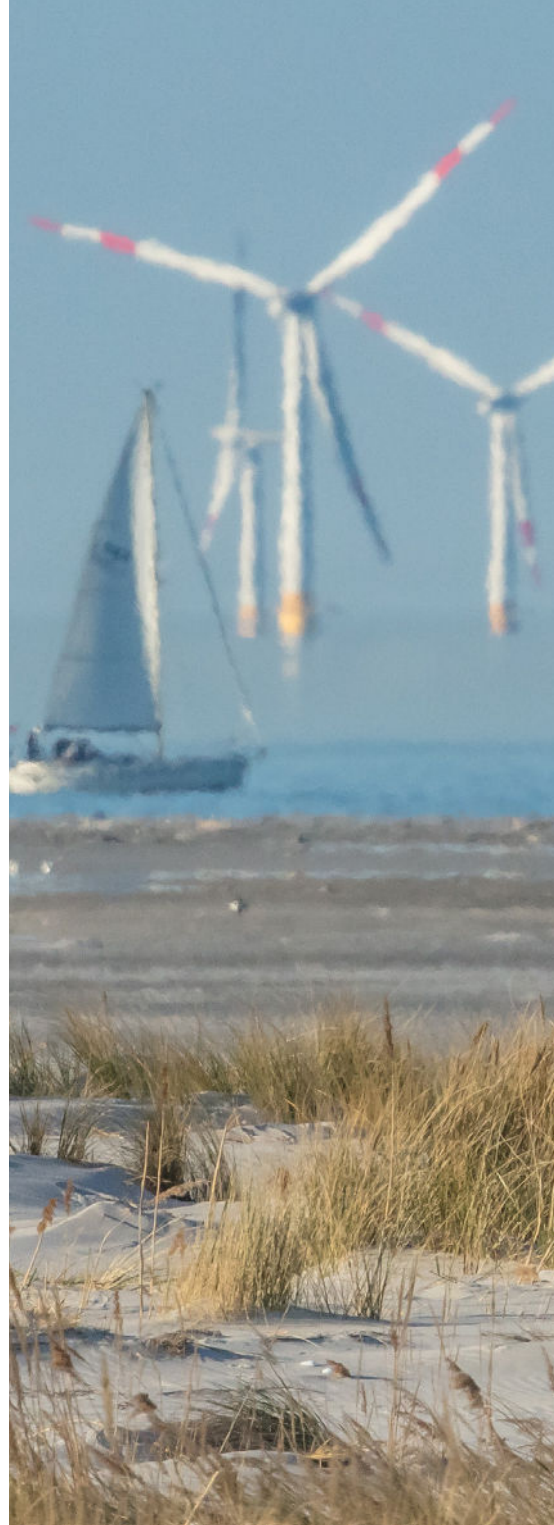
COME3T est une initiative qui réunit un ensemble d'acteurs nationaux et régionaux (universités, industriels, bureaux d'études, régions, services de l'État, etc.) au sein d'un comité de pilotage qui soumet des questions, issues des interrogations du public et des principaux enjeux environnementaux et socio-économiques identifiés par les acteurs, à des comités d'experts neutres et indépendants. Pour chaque thématique, un comité d'experts est constitué suite à un appel à candidature et apporte des éléments d'information, de synthèse et de recommandation sur les enjeux environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables.

<https://www.france-energies-marines.org/projets/come3t/>

Une initiative coordonnée par France Energies Marines.



France Energies Marines est un centre de recherche et d'innovation sur l'éolien en mer à l'impact industriel, économique et sociétal reconnu en France et à l'international. Sa mission ? Lever les verrous auxquels est confronté le secteur de l'éolien offshore. Soutenu par l'Etat, porté par une équipe multidisciplinaire de plus de 90 collaborateurs, un réseau d'experts internationaux et des infrastructures uniques, l'Institut mène des projets de recherche multi-partenariaux guidés par l'excellence. Les résultats qui en découlent sont transférés à la filière sous la forme de prestations de recherche et d'expertise, de licences d'exploitation, de transfert de savoir-faire, ainsi que de participation à des comités d'experts et des réseaux. L'un des quatre programmes de recherche structurant ses activités est dédié à l'intégration environnementale et sociétale des parcs éoliens en mer.



Bâtiment Cap Océan
Technopôle Brest Iroise
525, Avenue Alexis De Rochon
29280 Plouzané
02 98 49 98 69
www.france-energies-marines.org

ISSN 2743-6896



© France Energies Marines - 2026