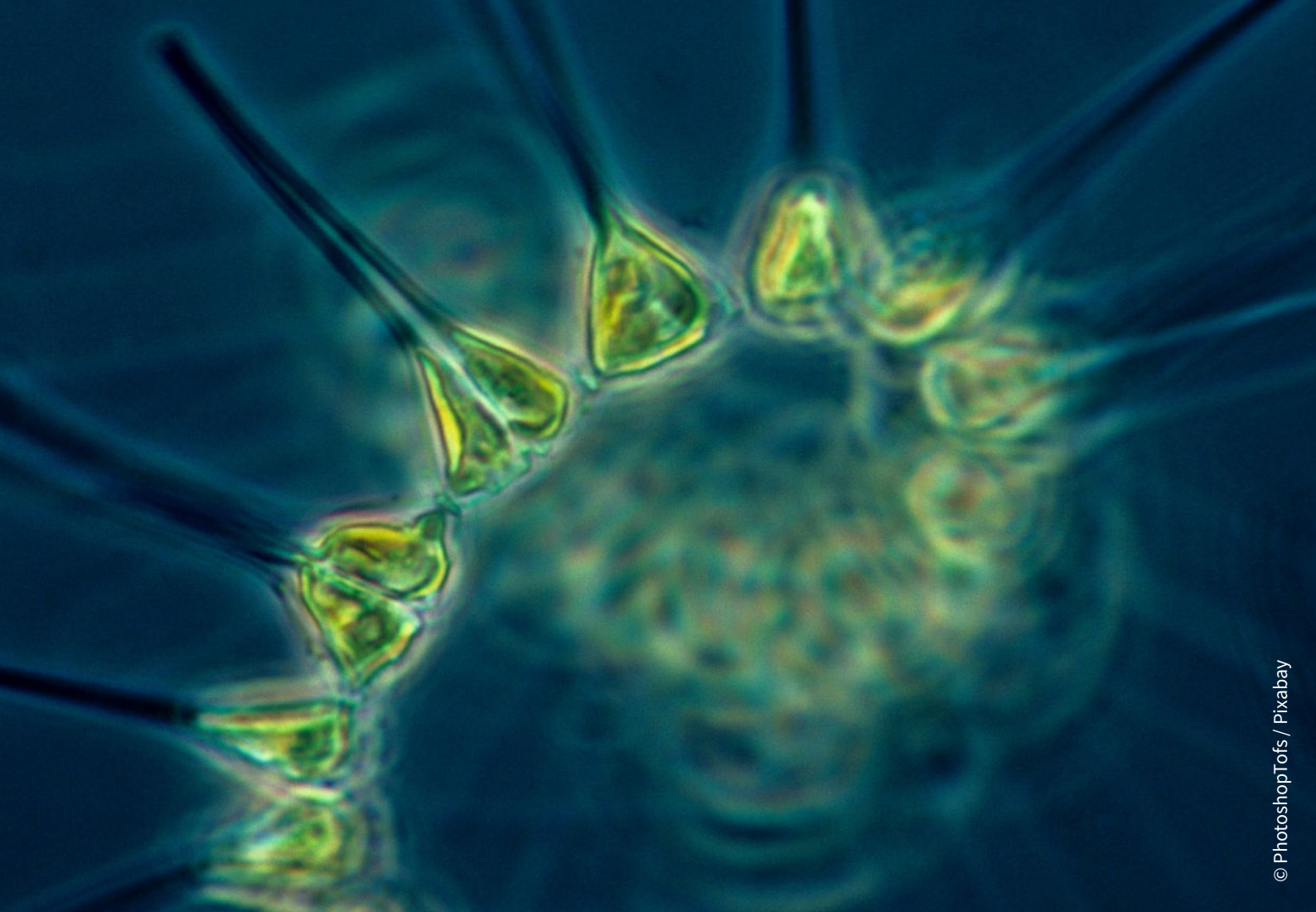




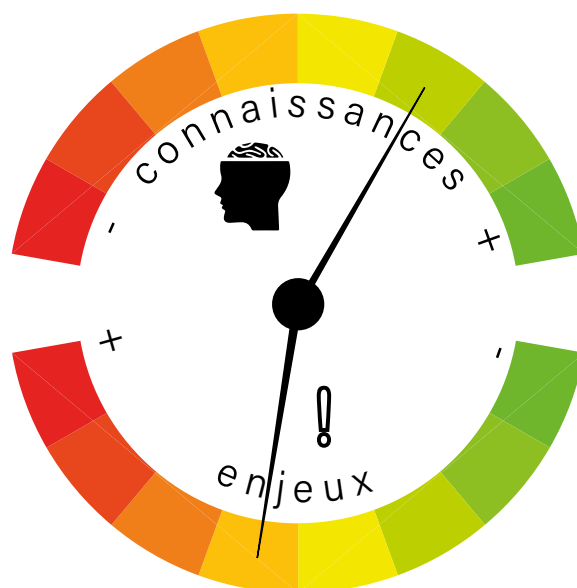
© PhotoshopTofs / Pixabay

Quels effets peuvent avoir les parcs éoliens en mer et leur raccordement sur les producteurs primaires ?

Bulletin n°15

Mai 2026





Problématique jugée comme à « enjeu moyen à l'échelle des parcs éoliens en mer et dont les connaissances sont bonnes sur les producteurs primaires mais faibles sur les effets des pressions anthropiques (incluant les parcs éoliens en mer) »

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., Chenillat F., Claquin P., Hubas C., Pezy, J.-P., Vincent D. et Conan P.

Quels effets peuvent avoir les parcs éoliens en mer et leur raccordement sur les producteurs primaires ?

Bulletin COME3T n°15

Plouzané : France Energies Marines, 2026, 24 pages.

Edition : Mai 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

Fanny Chenillat, Ingénieure

Actimar

Pascal Claquin, Professeur

Université de Caen Normandie (UR MERSEA)

Cédric Hubas, Professeur

Muséum national d'histoire naturelle (Station marine de Concarneau)

Jean-Philippe Pezy, Chargé de recherche HDR

CNRS (UMR M2C)

Dorothée Vincent, Référente « écologie planctonique et eutrophisation »

PatriNat, OFB-MNHN

Avec la participation de **Pascal Conan**, enseignant-chercheur à la Sorbonne Université et décédé le 2 août 2025.

Coordination, synthèse et rédaction

Sybill Henry, Chargée d'études et de médiation scientifique

France Energies Marines

Introduction

En contribuant à capter le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère, les organismes photosynthétiques, représentés pour une grande proportion par le phytoplancton, jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat. Situé à la base du réseau trophique marin, le phytoplancton, et plus largement l'ensemble des producteurs primaires, représentent un compartiment clé du fonctionnement de l'écosystème. Or, ces organismes sont soumis aux effets du changement climatique et des pressions induites par les activités humaines. Parmi elles, le développement des parcs éoliens en mer contribue à la lutte contre le changement climatique en produisant une énergie décarbonnée mais induit le développement de nouvelles infrastructures en mer. **L'étude des interactions existantes entre le développement des parcs éoliens en mer et les producteurs primaires fait l'objet de ce bulletin.**

Après une présentation des principales notions écologiques spécifiques aux producteurs primaires et aux premiers niveaux trophiques, ce bulletin explore l'ensemble des interactions existantes entre les parcs éoliens en mer et ces communautés. En tenant compte de leur large diversité, les principaux outils de surveillance et de suivis seront présentés dans une troisième et dernière partie.

● En bref

Les **producteurs primaires** sont des organismes capables de produire leur propre matière organique grâce à la photosynthèse. Ils jouent un **rôle fondamental** dans la **structure** et le **fonctionnement de l'écosystème** car ils établissent les premiers flux de matière et d'énergie au sein du **réseau trophique** (ensemble des relations alimentaires existantes entre les différents organismes vivants). Comme toute activité humaine, les parcs éoliens en mer constituent une source de pressions potentielles. Deux pressions issues des parcs éoliens en mer ont été identifiées (**ajout de substrat artificiel** et **pollution chimique**) comme potentielles source d'impacts sur la productivité et la biomasse à échelle locale et ont été jugées comme importante à suivre. **Cependant, les effets des parcs éoliens sur la production primaire sont jugés peu significatifs au regard des différents forçages existants en milieu marin** (changement climatique et apports anthropiques notamment).

Définitions

Biocolonisation

Processus biologique qui se met en place lorsqu'un support est ajouté au milieu aquatique, ou qu'une surface déjà présente dans le milieu est libre. Ce support d'origine naturelle ou anthropique forme un nouvel espace disponible où peuvent se développer successivement des organismes vivants fixés ou mobiles (biofilm, puis algues, invertébrés, etc.) (21).

Biomasse

Quantité de matière vivante présente à un instant donné sur une surface ou dans un volume donné (18).

Chlorophylle *a*

Pigment essentiel à la photosynthèse en raison de sa capacité à capter l'énergie lumineuse pour la convertir en énergie chimique et fabriquer de la matière organique (18).

Clines

Masses d'eaux aux propriétés physico-chimiques différentes - salinité, température, etc. - qui se succèdent sur la profondeur (1)

Nutriments

Ensemble des éléments essentiels à la croissance et à l'accomplissement du cycle de vie des organismes. Ces nutriments sont principalement constitués de minéraux (carbone, azote – sous ces différentes formes nitrate, nitrite et ammonium, phosphore – sous forme de phosphate, silice et oligoéléments - fer, cuivre etc.) et de petites molécules organiques (1, 5, 18).

Cycle nyctéméral

Désigne un rythme ou un cycle biologique dépendant de l'alternance du jour et de la nuit (5).

Pélagique

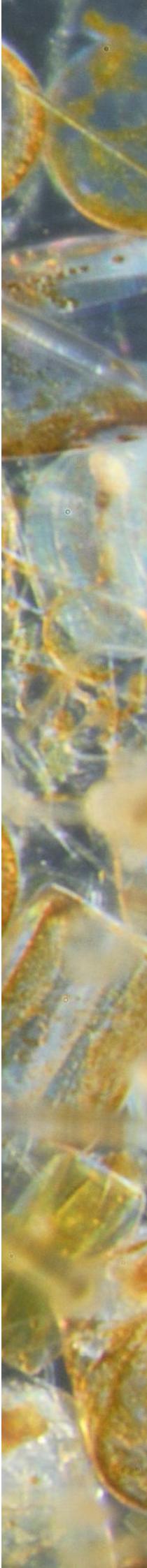
Qui est relatif à la colonne d'eau. Un organisme pélagique est un organisme dont tout ou une partie du cycle de vie est réalisé dans la colonne d'eau, qu'ils s'affranchissent des courants en nageant (cas de nombreux poissons) ou qu'ils soient passifs et dérivent sous l'effets des mouvements des masses d'eau (cas du plancton ou de nombreuses larves d'espèces marines) (5).

Phanérogame

Correspond aux plantes à fleurs marines comme les zostères ou les posidonies. Elles se distinguent des algues par leur caractéristiques (présence de racines, tiges ou feuilles) et leur mode de reproduction (présence de graines et de fleurs) proche des plantes terrestres (1).

Photosynthèse

Processus par lequel certains organismes utilisent l'énergie solaire pour synthétiser des molécules organiques à partir de dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau. Il permet la transformation de l'énergie lumineuse en énergie biochimique et aboutit à la formation de sucres simples ainsi qu'à la libération d' O_2 (1).



Production

Quantité de matière organique produite par un écosystème ou par un compartiment de l'écosystème par unité de temps et d'espace. Elle s'exprime en biomasse produite par unité de temps et de surface (par ex. $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$). (1, 2).

Productivité

Production de biomasse rapportée à la biomasse déjà présente, c'est-à-dire à la capacité d'un écosystème ou d'un organisme à produire de la matière organique par unité de biomasse et par unité de temps (1).

Trophique

Qualifie les relations proies-prédateurs existantes entre différents organismes vivants (1).

Quelques notions clés

Qu'est-ce que les producteurs primaires ?

Les **producteurs primaires** regroupent l'ensemble des organismes dits **autotrophes** (2), c'est-à-dire qu'ils produisent leur matière organique de manière autonome grâce à deux procédés : la **photosynthèse** ou la **chimiosynthèse**. La photosynthèse utilise de la lumière comme source d'énergie. Cette énergie lumineuse est captée par un pigment appelé chlorophylle *a* pour convertir du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O) en matière organique tout en libérant de l'oxygène (O_2) (**Fig. 1**). La chimiosynthèse est un mécanisme mis en œuvre par des bactéries, qui vont utiliser l'énergie chimique pour convertir du dioxyde de carbone (CO_2), de l'eau (H_2O) et un composé chimique (sulfure d'hydrogène - H_2S , ammoniac - NH_3 etc.) en matière organique (1).

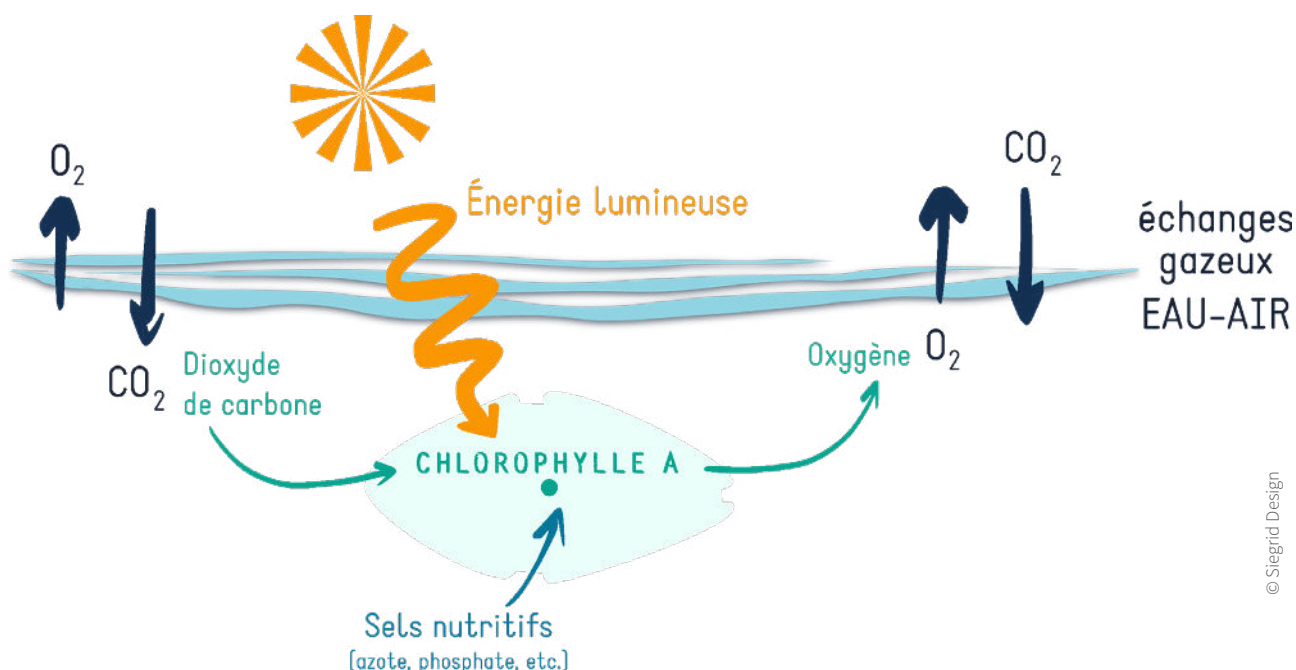


Fig. 1 Représentation schématique de la photosynthèse en milieu marin.

On parle de **production primaire** pour traduire la quantité de matière organique produite par la photosynthèse à un instant *t*. On peut distinguer la production primaire (c'est-à-dire la quantité de matière produite par unité de temps et de surface) de la **productivité primaire** qui correspond à la production rapportée à une unité de biomasse. Cette production est largement influencée par un ensemble de paramètres environnementaux (température, salinité, temps de résidence des masses d'eau, conditions d'éclairement et de luminosité, apports en nutriments, etc.) qui vont varier dans le temps et l'espace (1).

En fonction de la nature de leur habitat, on distingue deux groupes au sein des **producteurs primaires** :

- les **producteurs primaires planctoniques** pour les organismes présents dans la colonne d'eau,
- les **producteurs primaires benthiques** pour les **microalgues** (micro-phytobenthos), les **macroalgues** et les **phanérogames marines** qui vont se développer ou interagir directement avec le substrat ou dans le sédiment (26).

• Les producteurs primaires planctoniques

Du grec « plankton » qui signifie « errer », le **plancton** désigne l'ensemble des organismes de petite taille qui dérivent au gré des courants et du mouvement des masses d'eau (5, 18). La plupart des espèces planctoniques ont une capacité de déplacement restreinte, même si certains organismes planctoniques peuvent réaliser des migrations de grande amplitude (jusque 1000 mètres de profondeur) entre le jour et la nuit (migration verticale nycthémérale des copépodes par exemple) (5). Deux grands types de catégories peuvent être identifiés au sein du plancton : le **phytoplancton** et le zooplancton (18).

En tant que producteur primaire, le phytoplancton regroupe l'ensemble des organismes capables d'élaborer leur propre matière organique par photosynthèse et regroupe les microalgues (diatomées, dinoflagellés, chlorophycées, etc.), les cyanobactéries (18) et les organismes **mixotrophes**, c'est-à-dire capables d'avoir recourt à la photosynthèse et de consommer des organismes vivants (1). Le zooplancton n'est pas un producteur primaire car il regroupe l'ensemble des organismes exclusivement **hétérotrophes** (qui obtiennent de la matière organique par consommation d'organismes vivants) (1).

• Les producteurs primaires benthiques.

Du grec « benthos » qui signifie « profondeur », les **organismes benthiques** passent la plus grande partie de leur cycle de vie (voir leur cycle de vie entier) sur, ou à proximité du fond, ou dans le sédiment. Ils peuvent être fixés (comme les coraux, les moules, etc.) ou mobiles comme certains crustacés (crabes, araignées de mer, etc.) ou poissons plats (soles, plies, etc.) (1).

Le **microphybenthos** regroupe l'ensemble des microalgues photosynthétiques et cyanobactéries qui se développent sur différents substrats benthiques (macro-algues, rochers, etc.). Comme le phytoplancton, certaines microalgues sont capables de se déplacer dans le sédiment. Les macro-algues se développent généralement sur fond rocheux, comme les laminaires, alors que les phanérogames marines, comme les herbiers de zostères, affectionnent plutôt les fonds sableux. Toutes deux constituent le **macrophytobenthos** (1).

En milieu côtier, les interactions entre les organismes de la colonne d'eau (pelagos) et les organismes et habitats des fonds marins (benthos) tiennent une place importante dans le fonctionnement de l'écosystème. L'ensemble des relations existantes (flux de matières organiques et de nutriments) entre le pelagos et le benthos sont appelés **couplage benthopélagique** (15).

Que sont les premiers niveaux trophiques et quel est leur rôle ?

Le lien entre un prédateur et une proie est appelée **relation trophique**. Le phytoplancton va donc être consommé par le zooplancton, lui-même consommé par d'autres espèces zooplanctoniques, comme les méduses, ou par des prédateurs de plus grande taille (petits poissons pélagiques, comme la sardine ou l'anchois par exemple). Ces derniers seront consommés à leur tour, jusqu'à atteindre les prédateurs de plus haut niveau trophique (comme les mammifères marins) qui n'ont pas (ou peu) de prédateurs naturels. La structure et les relations trophiques entre plusieurs espèces de la colonne d'eau constitue le **réseau trophique pélagique**. En parallèle, le **réseau trophique benthique** repose sur les producteurs primaires du fond marin (micro et macro-algues) qui seront consommés par des espèces herbivores (brouteurs comme les oursins et les ormeaux, poissons herbivores, consommateurs de débris algaux et végétaux), eux-mêmes consommés par des prédateurs de plus grande taille (étoiles de mer, poissons prédateurs comme les mérous et les dorades). Comme précédemment, ces derniers seront consommés à leur tour, jusqu'à atteindre les prédateurs de plus haut niveau trophique.

Ces deux réseaux trophiques sont étroitement liés. D'une part parce que certaines espèces sont communes aux deux réseaux pour tout ou partie de leur cycle de vie, et d'autre part parce que la matière organique produite par le réseau trophique pélagique devient une composante majeure du réseau trophique benthique en sédimentant.

Situés à la base de ces réseaux trophiques, les producteurs primaires et la diversité des organismes qui les compose constituent les **premiers niveaux trophiques** (1) (Fig. 2).

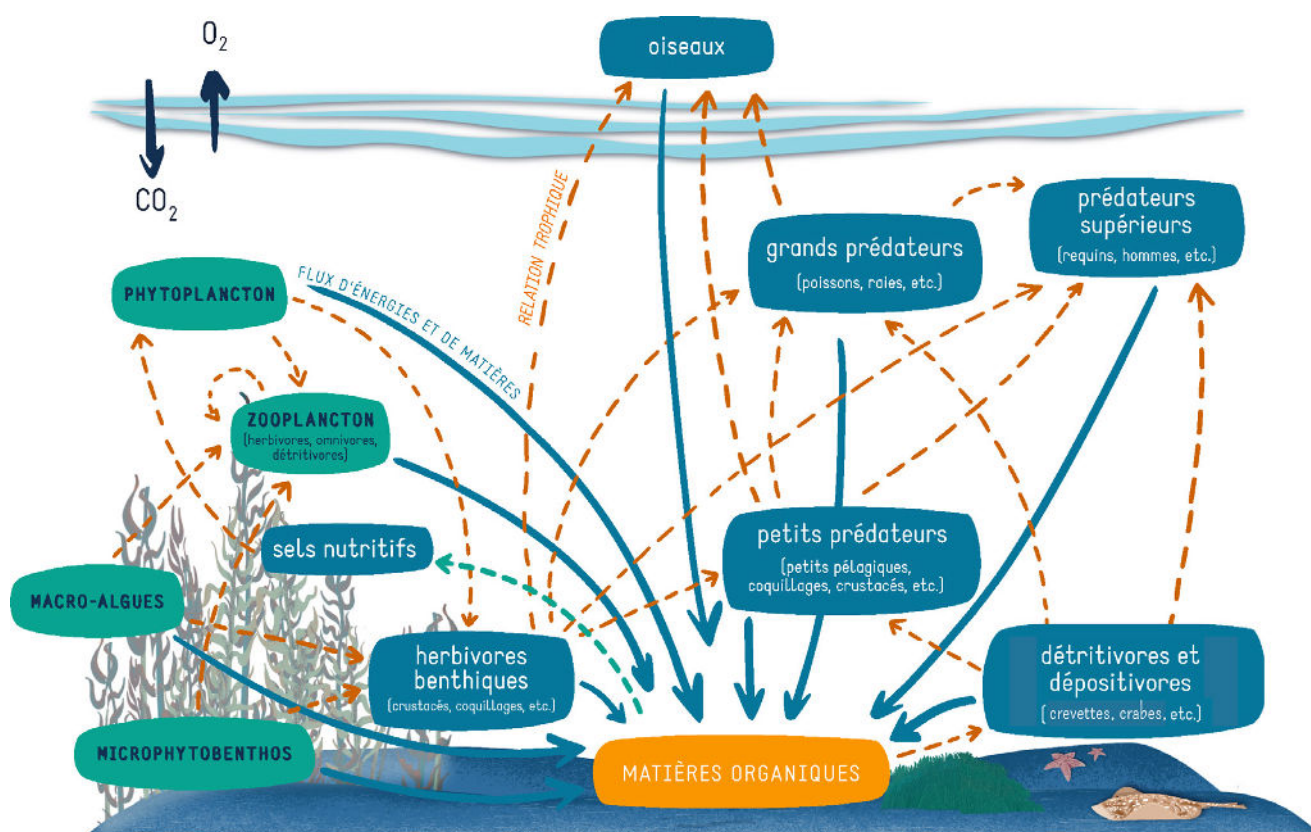


Fig. 2 Réseau trophique en milieu marin. En vert, les producteurs primaires. En bleu, les principaux groupes trophiques en milieu marin. En orange, la matière organique. Les flèches bleues représentent les flux d'énergie et de matière. Les flèches oranges, les relations trophiques et la flèche verte, la reminéralisation de la matière organique.

Parcs éoliens en mer et producteurs primaires

Qu'est-ce qui caractérise les producteurs primaires et que doit-on considérer pour évaluer leurs interactions potentielles avec les parcs éoliens en mer ?

Le milieu marin présente une large diversité de producteurs primaires dont les origines et les caractéristiques (génétiques, fonctionnelles, métaboliques, morphologiques, etc.) sont très différentes (1).

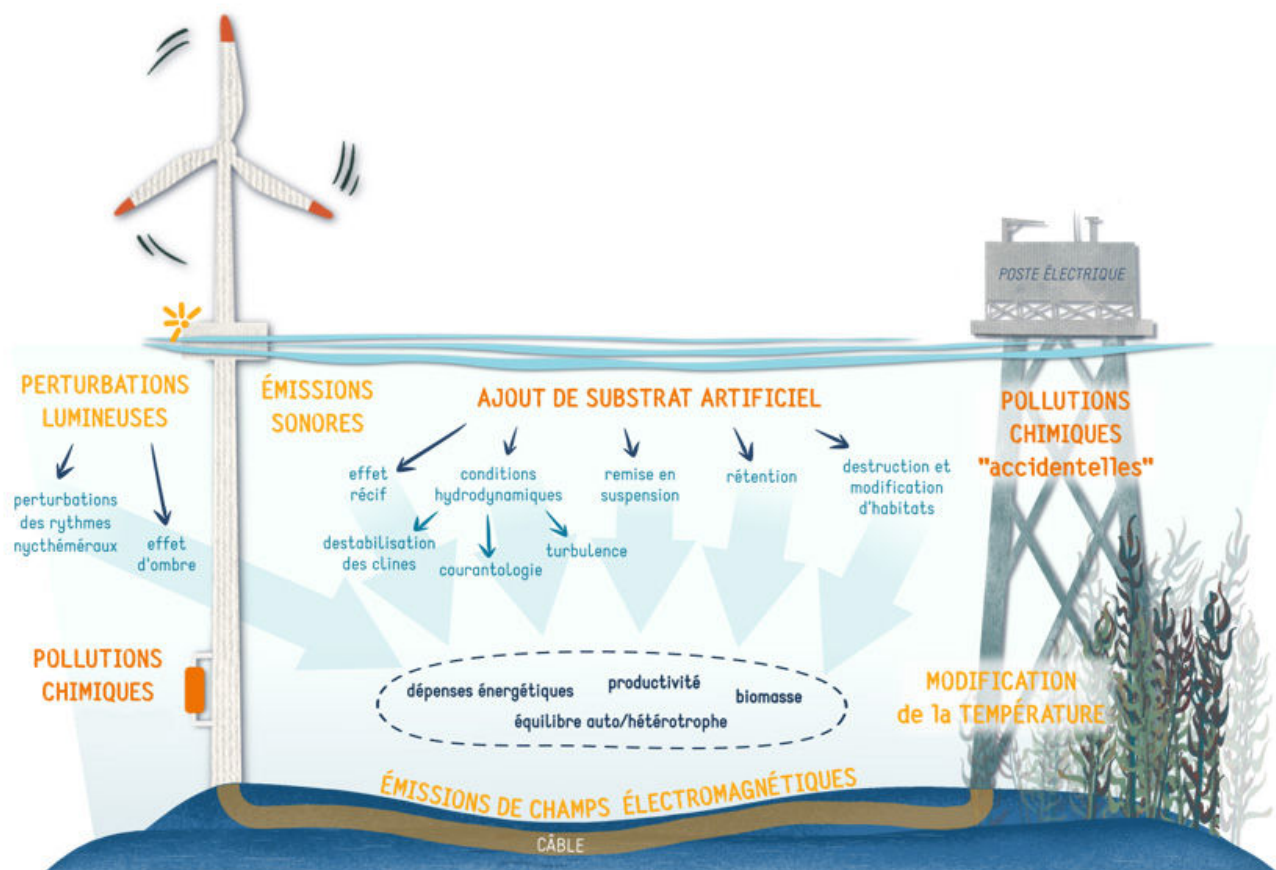
Ces organismes présentent des cycles de vie de durée très variable (de quelques jours à mois pour le plancton ou le microphytobenthos ; de quelques mois à années pour les macro-algues ou les herbiers), et leur étude nécessite des approches très spécifiques (1). A l'échelle d'une communauté, une perturbation de l'environnement dépassant leur seuil de tolérance et leur capacité d'adaptation peut induire un **changement de régime** (ou *regime shift*). Cela se traduit par une restructuration de la structure des communautés et de fait, une modification des interactions entre les organismes de premiers niveaux trophiques ainsi que des conséquences sur la structure et le fonctionnement du reste du réseau trophique (5).

Pour évaluer les interactions potentielles entre une pression anthropique et un compartiment de l'écosystème, il est important d'identifier au préalable l'ensemble des caractéristiques du milieu et de la pression étudiée. Dans le cas des parcs éoliens en mer, plusieurs paramètres sont importants à considérer : **type de structure** (posé/flottant), **fondation** (monopieux, gravitaire, ancrage, etc.), **câble** (puissance, courant, etc.), **procédure d'installation des câbles** (ensouillage, protection, etc.) **et des fondations** (lestage des fondations, battage de pieux, etc.), **matériaux** (béton, acier, fibres synthétiques, etc.) ; auxquels s'ajoute l'ensemble des **paramètres environnementaux** qui caractérisent la zone d'implantation du parc éolien étudié : type de substrat, profondeur d'eau, marnage, hydrodynamisme local, etc.

Quels sont les effets potentiels des parcs éoliens en mer sur les producteurs primaires ?

Les effets potentiels présentés et décrits ci-après ne sont pas spécifiques au développement des parcs éoliens en mer mais résultent des effets attendus et/ou observés sur les producteurs primaires par les différentes pressions identifiées. Chaque écosystème doit être étudié au cas par cas afin de considérer les pressions susceptibles de modifier la productivité d'un écosystème, et d'impacter le bon fonctionnement du réseau trophique dans son ensemble.

Dans le cas des parcs éoliens en mer, six sources de pressions ont été identifiées dont deux ont été jugées comme importantes à suivre pour le compartiment des producteurs primaires (Fig. 3). Leurs effets potentiels sur l'environnement et leurs conséquences sont détaillés juste après.



© Siegrid Design

Fig. 3 Synthèse des pressions (en jaune) et des principaux effets (en bleu clair) des parcs éoliens en mer sur les producteurs primaires. Les pressions significatives sont indiquées en orange et les conséquences sur le réseau trophique en bleu foncé.

• Ajout de substrat artificiel

Tout ajout d'infrastructures en mer induit la présence de nouveaux substrats dans le milieu marin. Quelle que soit sa nature (épave, fondation d'éolienne, bouée, etc.), cet ajout peut induire plusieurs effets potentiels sur l'environnement :

- L'**effet récif**. Dans une zone naturellement sableuse, la présence d'infrastructure induit un ajout de substrat dur qui offre un habitat alternatif (7, 11). Considéré comme l'un des principaux effets des parcs éoliens en mer (9), l'effet récif peut avoir deux conséquences sur les producteurs primaires :
 - Une **modification de la biomasse** en fonction de la capacité de développement des organismes filtreurs et des macro-algues sur ces nouvelles structures. L'augmentation de la biomasse des consommateurs primaires peut avoir des effets sur la biomasse des communautés phytoplanctoniques qui vont avoir tendance à diminuer.
 - Une modification des conditions de recyclage de la matière. Les organismes présents pourront contribuer au transfert et au recyclage de la matière organique (organismes qui vont se nourrir et mourir sur place). Cela peut aboutir à la mise en place d'un système de recyclage de la matière propre à l'écosystème du parc éolien (1).
- Une **modification des conditions hydrodynamiques**, qui pour des organismes planctoniques particulièrement dépendants de ces conditions, est importante à considérer. Ces changements peuvent être de différentes natures : **modification de la turbulence** (effet de sillage induit par un obstacle à l'écoulement naturel des eaux), **modification de la courantologie** (perturbation des écoulements naturels par un obstacle physique), **déstabilisation des clines** (perturbation de la stratification des masses d'eau et des échanges de nutriments existants), **remise en suspension** (action mécanique des engins sur le fond lors de la phase travaux), **création d'une zone potentielle de rétention** (création d'un obstacle à l'écoulement naturel de certains courants), **destruction d'habitats** (perte d'habitats benthiques) (1, 10, 12). Les conséquences sur les producteurs primaires peuvent se traduire par :
 - Une **altération des conditions d'accès aux nutriments et à la lumière** (1) pouvant conduire à (i) augmenter le stress physiologique et la dépense énergétique liée au maintien dans la colonne d'eau et à la recherche de nourriture (12), (ii) réorganiser les communautés planctoniques en favorisant l'émergence d'espèces plus tolérantes, (iii) augmenter le taux de rencontre entre proie/prédateur jusqu'à un certain seuil et (iv) perturber la croissance des producteurs primaires benthiques (1) ;
 - Une **création de patch planctoniques** dû à la modification de la productivité. Cela peut conduire à l'émergence de certains groupes planctoniques et à modifier la structure et le fonctionnement de l'écosystème à l'échelle des parcs éoliens en mer (6, 24) ;
 - Une **modification/perte des interactions benthopélagiques** en fonction du type d'habitat benthique perdu ou modifié (1) ;
 - Une **modification de la disponibilité et de l'accessibilité des nutriments** résultant de la présence d'infrastructures dans l'eau et de leur influence sur la dynamique biogéochimique locale et la structure des communautés biologiques qui en dépendent. Localement, cela peut induire une modification de la disponibilité des nutriments en surface et stimuler ou réduire la productivité primaire (1).

• Les pollutions chimiques

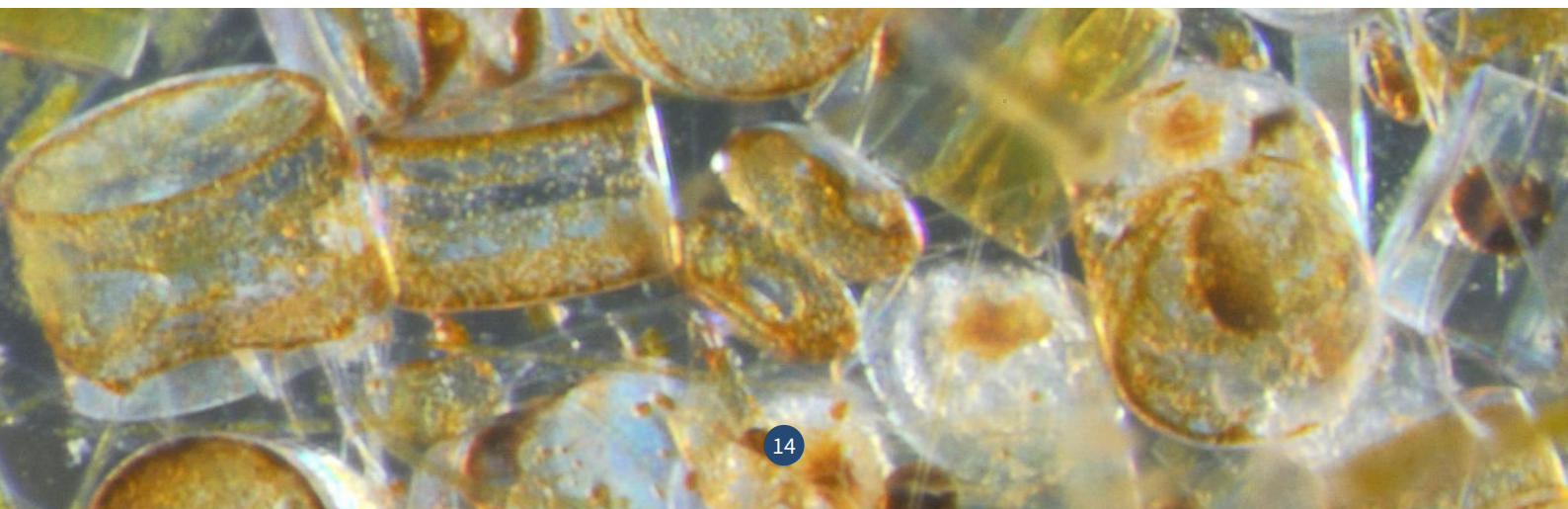
La principale source de **pollution** par les parcs éoliens en mer résulte des systèmes de protection des infrastructures contre la corrosion (14, 16). Au regard des connaissances actuelles et des suivis menés au sein des parcs éoliens en mer en France et en Europe, les pollutions chimiques induites par les parcs sont faibles, notamment en comparaison des émissions de polluants par les fleuves (13), avec des concentrations généralement situées dans la gamme de variabilité naturelle (3). Les risques de **pollutions accidentelles** résultent des activités maritimes (maintenance, tourisme industriel, etc.) exercées au sein des parcs éoliens en mer (17) : fuites d'hydrocarbures, liquides hydrauliques, liquides de refroidissement, lubrifiants, etc. (9, 16). Ces pollutions accidentelles ne sont pas spécifiques au développement des parcs éoliens en mer et sont jugées relativement faibles pour ce type d'activité (1).

La principale conséquence sur les producteurs primaires des pollutions chimiques est une modification de la **structure des communautés et des flux de matière associés**. A noter que l'impact des polluants est souvent difficile à quantifier car les études menées sur les effets écotoxicologiques sont souvent réalisées en conditions contrôlées en ciblant un organisme et/ou une molécule en particulier. En fonction de la nature et du degré de pollution, les conséquences sur les communautés seront très variables. Si la présence d'une couche d'hydrocarbure à la surface de l'eau peut entraîner des conséquences directes sur la productivité des producteurs primaires (diminution du taux de pénétration de la lumière, modification des flux de surface et des échanges gazeux, etc.), certains polluants peuvent induire des perturbations physiologiques et agir sur le développement et la croissance des communautés (perturbation de la photosynthèse, altération de la croissance, etc.) (1).

• Les autres pressions potentielles

Quatre autres pressions potentielles ont été identifiées pour les producteurs primaires, même si elles sont jugées comme peu significatives au regard des pressions « ajout de substrat » et « pollutions chimiques » :

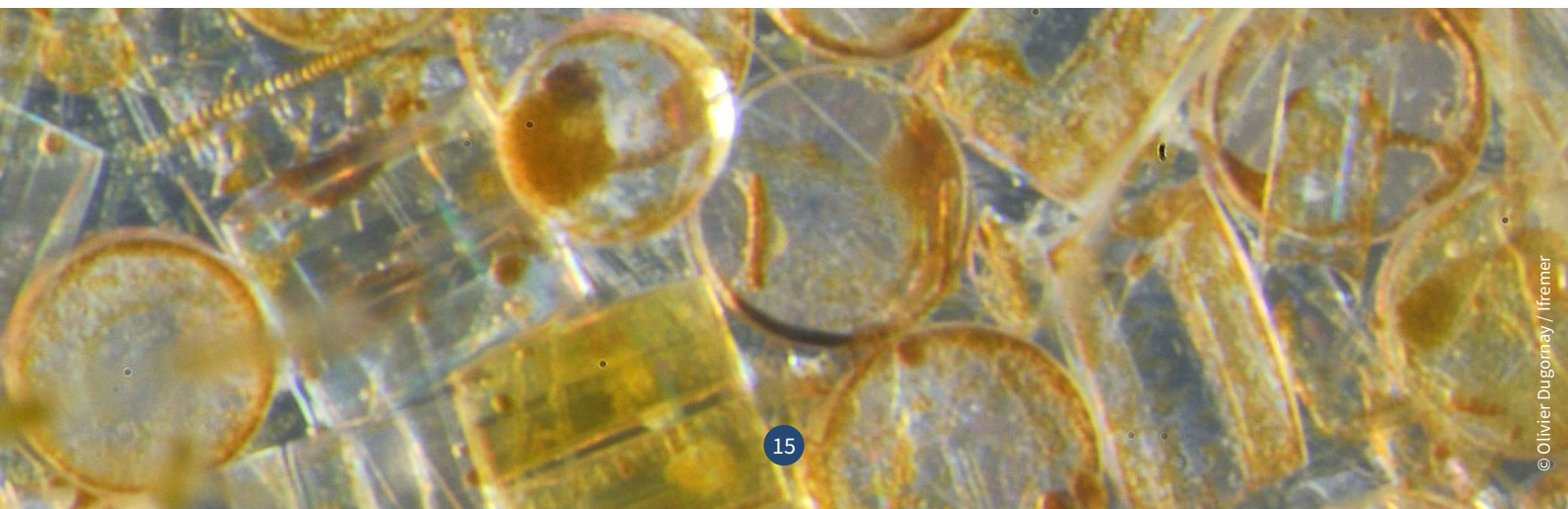
- **Perturbations lumineuses** : si le phénomène de photo-attraction est bien connu, son impact sur les communautés de producteurs primaires l'est moins. Il peut néanmoins conduire à une accumulation d'organismes à proximité de la source d'émission et les rendre plus vulnérables à la prédation. Par ailleurs, certaines espèces planctoniques sont sensibles aux variations de lumière. Les émissions lumineuses pourraient alors avoir des conséquences sur le déroulé des cycles nycthémeraux de certaines espèces de zooplancton. (1, 17).
- **Emissions sonores** : les effets des émissions sonores sur les communautés planctoniques sont peu connus et reposent majoritairement sur des approches expérimentales menées en laboratoire. Si un effet d'attraction sur les larves de certaines espèces (notamment pour sélectionner un substrat d'intérêt) semble exister, il y a peu d'informations sur les effets des émissions sonores sur les premiers niveaux trophiques (1).
- **Modification de la température** : au sein des parcs éoliens en mer, ce sont principalement les



câbles et les systèmes de refroidissement du poste électrique qui vont être à l'origine d'une modification de la température de l'eau. Dans les deux cas, les variations de température sont localisées à proximité des câbles et de la sous-station électrique (4). La capacité de dissipation de la chaleur au sein de la colonne d'eau fait que la modification de la température est très localisée avec un impact jugé négligeable au regard de la surface océanique considérée. Pour les organismes fixés, l'élévation de la température du câble pourrait perturber la bio-colonisation et accélérer certains processus métaboliques favorisant l'émergence de certaines espèces plus tolérantes aux variations de température (1). Cependant, la modification très localisée de la température à l'échelle des parcs éoliens est jugée négligeable au regard de l'élévation de la température des océans à large échelle du fait du changement climatique (18).

- **Emissions de champs électromagnétiques :** au sein des parcs éoliens, seuls les câbles de transport d'électricité sont susceptibles de générer des champs électromagnétiques artificiels dans le milieu marin. Leurs effets sur les communautés planctoniques sont peu connus et limités à l'échelle des câbles. Pour les organismes directement fixés sur les câbles, l'émission de champs électromagnétiques peut perturber la biocolonisation et potentiellement favoriser l'émergence de certaines espèces plus tolérantes à ce type de perturbations (1).

S'il est possible d'anticiper les modifications de certaines interactions trophiques, définir quelles seront les conséquences pour l'ensemble du réseau trophique est un exercice plus difficile. Cette difficulté s'explique notamment par la complexité des interactions et les caractéristiques propres à l'écosystème. Elles dépendent également des communautés présentes, de l'importance du couplage benthopélagique préexistant, de l'hydrodynamique du milieu et des modifications engendrées par le développement d'un parc éolien en mer sur ces communautés en termes de composition, d'abondance et/ou de biomasse: augmentation/diminution des producteurs primaires, développement d'organismes filtreurs/consommateurs de macro-algues, attraction d'espèces mobiles (poissons et prédateurs supérieurs), création de nouvelles niches écologiques, création de zones d'accumulation (patches), etc. (6, 24).



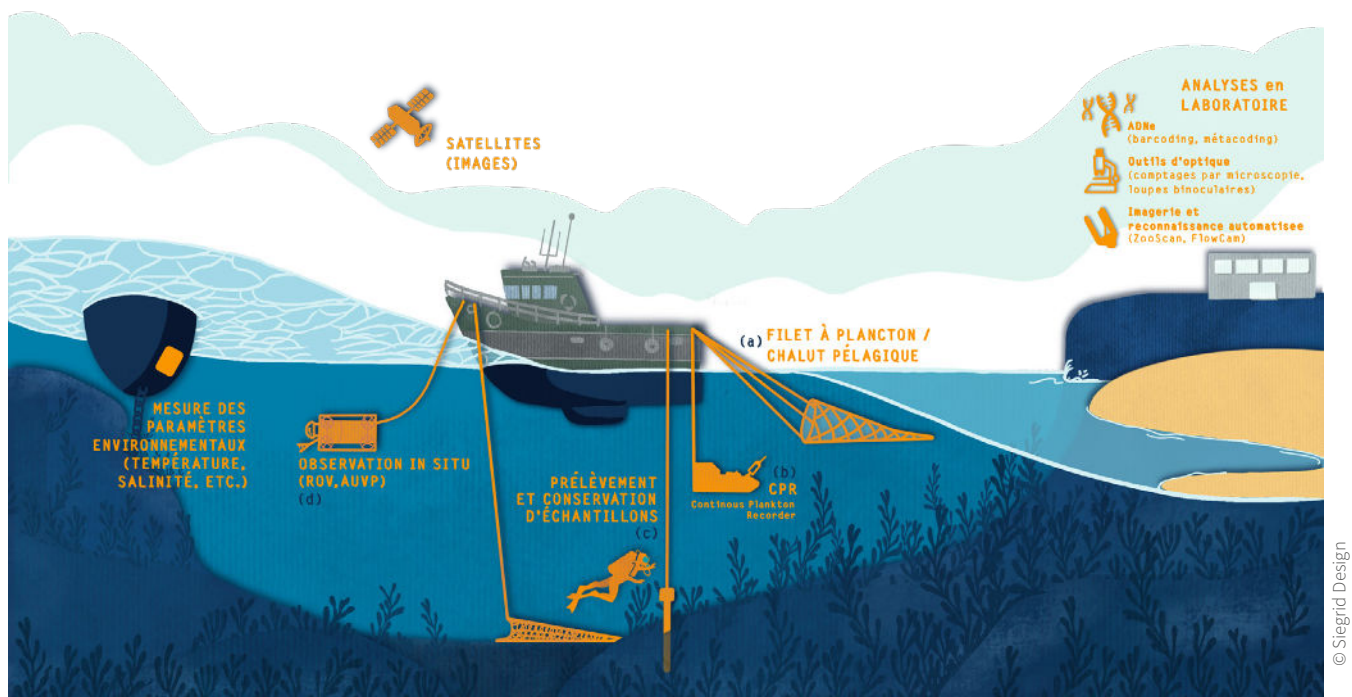
Quels suivis existent pour mieux...

... connaître les producteurs primaires ?

En fonction du type d'habitat (benthique ou pélagique), les suivis mis en œuvre pour améliorer les connaissances seront très différents. Les communautés planctoniques par exemple présentent la particularité d'avoir une croissance journalière et requièrent des outils de suivis adaptés à cette dynamique particulière ; alors que les communautés benthiques se caractérisent par une large diversité d'organismes (du microphytobenthos aux macro-algues) et évoluent à des profondeurs qui rend leur observation difficile. Dans les deux cas, les méthodes de collecte de données sont très variables et requièrent des données contextuelles relatives aux espèces et à l'environnement (paramètres physico-chimiques de l'eau notamment).

Parmi les outils et techniques d'observation existantes, les **images satellites** sont utilisées depuis longtemps pour alimenter les indicateurs de biomasse phytoplanctonique comme la chlorophylle *a*. Plus précis, les **prélèvements en mer** (a,b,c,d) vont fournir des échantillons. Ces derniers pourront être analysés pour identifier et caractériser les espèces et la composition des communautés, et pour quantifier l'abondance et la biomasse en laboratoire grâce à différentes techniques d'identification basées sur l'imagerie, la reconnaissance automatisée et l'analyse par comptage (microscopie, loupe binoculaire) (1). Les **suivis par vidéos et photographies sous-marines** permettent d'observer et de cartographier les communautés benthiques et en particulier les macro-algues. En fonction des contraintes du site et de la fréquence des suivis, ces derniers peuvent être réalisés par des plongeurs ou des robots sous-marins (ROV et AUV).

De nouvelles méthodes reposant sur l'**analyse génétique** se développent et visent à (i) identifier les espèces en étudiant une partie de leur génome (barcoding) et/ou (ii) évaluer la diversité du plancton à partir de l'ensemble des séquences génétiques présentes dans un échantillon (métabarcoding). L'utilisation de ces techniques d'**ADN environnemental** offre une vue précise de la diversité locale.



© Siegrid Design

Fig. 4 Synthèse des outils de suivis existants utilisés pour l'étude des producteurs primaires

... suivre les effets des parcs éoliens en mer sur ces communautés ?

Le développement des parcs éoliens en mer n'est pas la seule activité à induire des pressions sur les producteurs primaires. Cependant, leur exploitation d'une durée moyenne de 25 à 30 ans et les suivis environnementaux réglementaires mis en œuvre par les développeurs représentent une opportunité de mettre en place des suivis à long terme.

Aujourd'hui, la majorité des suivis repose sur des mesures ponctuelles. Des mesures hautes fréquences (moins de 20 minutes) envisagées à long terme permettraient (i) de considérer la dynamique complexe de ces communautés (croissance rapide, variabilité saisonnière, etc.) et (ii) de caractériser les communautés (composition, diversité spécifique, etc.) afin de mieux caractériser l'écosystème. Les séries temporelles existantes acquises à basses fréquences (bi-hebdomadaires à mensuelles) restent utiles pour caractériser les communautés avant l'implantation du parc. Des suivis complémentaires à hautes fréquences permettrait de comprendre et d'évaluer plus efficacement les effets en tenant compte des caractéristiques environnementales qui ont contribué à "façonner" les communautés déjà présentes (25).

Recommandations

Alors qu'ils sont à la base du réseau trophique, les caractéristiques et les spécificités des producteurs primaires sont finalement méconnues. Afin de pallier ce manque de connaissances, il apparaît nécessaire de :

- **Mettre en place des suivis standardisés à l'échelle nationale** via des protocoles communs (incluant des mesures sur les paramètres environnementaux) et déployés à une fréquence adaptée au cycle biologique de ces communautés afin de mieux les connaître et les caractériser. Ces suivis doivent tenir compte des standards internationaux, des indicateurs (biomasse, abondance et diversité en particulier) et des suivis déjà mis en œuvre à l'échelle nationale afin de garantir l'interopérabilité, l'accès aux données et la comparabilité des résultats. Des mesures automatisées permettant d'estimer la production primaire peuvent être déployées sur des bouées instrumentées ou à bord de navires (19, 20, 22, 23). En ce sens, les opérations de maintenance des parcs éoliens peuvent représenter une opportunité d'acquisition de connaissance en équipant les navires de maintenance avec des systèmes de mesure automatisés (1).
- **Développer des techniques de suivis innovants** pour suivre ces communautés et aller au-delà du suivi de la diversité spécifique (nombre d'espèces différentes dans un échantillon). Il est nécessaire de tendre vers un suivi de la diversité fonctionnelle (caractéristiques morphologiques comme la taille, physiologiques comme le mode de reproduction ou comportementales comme la prédation, la photosynthèse et les flux de matières) permettant de mieux caractériser la structure de la communauté en identifiant notamment l'ensemble des mécanismes liant « environnement » et « fonctionnement de l'écosystème ».
- **Considérer plus finement les mécanismes de la production primaire dans le dimensionnement des outils de modélisation (biogéochimiques et trophiques)** afin d'améliorer leur représentativité et réduire les incertitudes. Les suivis menés à long terme pourraient ainsi constituer une base de données utile à la validation et à la calibration de ces outils.

Conclusion

Situé à la base du réseau trophique, le plancton et toute la diversité d'organismes composant les producteurs primaires sont indispensables à la structuration et au bon fonctionnement de l'écosystème. Etudier les effets des différentes pressions anthropiques sur ces producteurs primaires est fondamental pour appréhender et anticiper les changements qui pourraient survenir à court, moyen et long terme.

Dans le cas des parcs éoliens en mer, six sources de pression ont été identifiées pour ces communautés (ajout de substrat artificiel, pollutions chimiques, perturbations lumineuses, émissions sonores, modification de la température, émissions de champs électromagnétiques). Deux ont été jugées comme importantes à suivre : l'ajout de substrat artificiel et les pollutions chimiques. Les effets potentiels associés à ces pressions sont cependant à replacer dans le contexte de l'ensemble des forçages existants en milieu marin (changement climatique, apports de polluants par les fleuves, activités anthropiques, etc.) et sont jugés peu significatifs pour les producteurs primaires. Au-delà des suivis et protocoles existants, il est indispensable de faire évoluer les approches de surveillance et d'observation afin de mieux prendre en compte les effets cumulés des différentes pressions anthropiques, et notamment ceux liés à l'éolien en mer et à l'ensemble des activités humaines à l'échelle des façades maritimes.

Bibliographie

- [1] Paroles d'experts, (2024) : Ateliers COME3T du 09/07/2024, 02/09/2024, 28/10/2024 et du 16/12/2024 en présence de F. Chenillat (Actimar), P. Claquin (Univ. Caen Normandie), P. Conan (Sorbonne Univ.), C. Hubas (MNHN), JP. Pezy (CNRS), D. Vincent (PatriNat, OFB-MNHN). Coord. S. Henry (FEM)
- [2] Berthet, J., Amar-Costesec, A., (2006) : Dictionnaire de Biologie. Editions De Boeck Université. De Boeck et Larcier s.a., 2006, 1034p. ISBN 2-8041-2798-2
- [3] BSH, (2025) : Chemical emissions from offshore wind farms. Summary of the project « OffChem », 30p
- [4] Carlier, A., Vogel, C., Alemany, J., (2019) : Synthèse des connaissances sur les impacts des câbles électriques sous-marins : phases de travaux et d'exploitation. Rapport IFREMER. 99pp.+ Annexes
- [5] D'Elbée, J., (2016) : Mémento de planctonologie marine. Editions Quae, 527p. ISBN 978-2-7592-2413-5
- [6] Daewel, U., Akhtar, N., Christinansen, N., Schrum, C., (2022) : Offshore wind farms are projected to impact primary production and bottom water deoxygenation in the North Sea, In Commun Earth Environ. Vol 3, 292 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00625-0>
- [7] Defingou, M., Bils, F., Horchler, B., Liesenjohann, T., Nehls, G., (2019): PHAROS4MPAs - A review of solutions to avoid and mitigate environmental impact of offshore windfarms. BioConsult SH on behalf of WWF. France, p.264
- [8] Degraer, S., Carey, D., Coolen, J., Hutchison, Z., Kerckhof, F., Rumes, B., Vanaverbeke, J., (2020) : Offshore Wind Farm artificial reefs affect ecosystem structure and functioning : A synthesis. In Oceanography, Vol 33, N4. Special issue on understanding the effects of offshore wind energy development on fisheries, 48p.
- [9] Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., Vigin, L., (eds). (2021): Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. Attraction, avoidance and habitat use at various spatial scales. Memoirs on the Marine Environment. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management, 140pp.
- [10] Floeter, J., Van Beusekom, JEE., Auch, D., Callies, U., Carpenter, J., Dudeck, T., Eberle, S., Eckhardt, A., Gloe, D., Hänselmann, K., Hufnagl, M., JanBen, S., Lenhart, H., Möller, KO., North, RP., Pohlmann, T., Riethmüller, R., Schulz, S., Spreizenbarth, S., Temming, A., Walter, B., Zielinski, O., Möllmann, C., (2017): Pelagic effects of offshore wind farm foundations in the stratified North Sea. In Progress in Oceanography, 156 (2017), 154-173
- [11] Hemery, LG., (2020): Changes in Benthic and Pelagic Habitats Caused by Marine Renewable Energy Devices. In A.E. Copping and L.G. Hemery (Eds.), OES-Environmental 2020 State of the Science Report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World. Report for Ocean Energy Systems (OES). (pp. 104-125). doi:10.2172/1633185
- [12] Henry, S., Assali, C., Alloncle, N., Campillos-Llanos, M., Cervera-Nunez, C., Gutierrez, E., Prevot, J., (2022a): Knowledge synthesis about interactions between Mediterranean ecosystems and offshore floating windfarm in the Gulf of Lion. EU Project Grant No EASME/887390/MSPMED/EMFF-MSP-2019. Towards the operational implementation of MSP in our common MEDiterranean sea (MSPMED). OFB, 58p + annexes
- [13] Kirchgeorg, T., Weinberg, I., Hörnig, M., Baier, R., Schimd, MJ., Brockmeyer, B., (2018): Emissions from corrosion protection systems of offshore wind farms: Evaluation of the potential impact on the marine environment. In Mar. Poll. Bull., Vol 136, 257-268
- [14] Kjelland, ME., Woodley, CM., Swannack, TM., Smith, DL., (2015): A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. Environ Syst Decis 35:334–350.

- [15] Marchais, V., (2014): Relations trophiques entre producteurs primaires et quatre consommateurs primaires benthiques dans un écosystème côtier tempéré.
- [16] Michelet, N., Julian, N., Duarte, R., Burgeot, T., Amouroux, I., Dallet, M., Caplat, C., Gonzalez, J.L., Garreau, P., Aragon, E., Perrin, F.X., Safi, G., (2020): Recommendations for the quantitative assessment of metal inputs in the marine environment from the galvanic anodes of offshore renewable energy structures. Ed France Energies Marines, 34p.
- [17] Miquerol, L., Bultel, E., Michel, S., Coz, R., La Rivière, M., Sauboua, P., (2024) : Référentiel pour la préservation de l'environnement marin dans les projets d'éoliennes en mer. Tome 2. Interactions entre les projets d'éoliennes en mer et le milieu marin – avec focus sur les habitats benthiques de métropole et les espèces Natura 2000. Office français de la biodiversité. 896 pp.
- [18] Mollo, P., Noury, A., (2013) : Le manuel du plancton. Editions Charles Léopold Mayer, 195p. ISBN 978-2-84377-173-6
- [19] Morel, J., Schapira, M., Orvain, F., Riou, P., Lopez-Pascal, J., Pierre-Duplessix, O., Rabiller, E., Maheux, F., Simon, B., Claquin, P., (2018) : Annual phytoplankton primary production estimation in a temperate estuary by coupling PAM and carbon incorporation methods. In Estuaries and Coasts, Vol 41, N 5 (2018) 1337-1355. <https://doi.org/10.1007/s12237-018-0369-8>



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

