

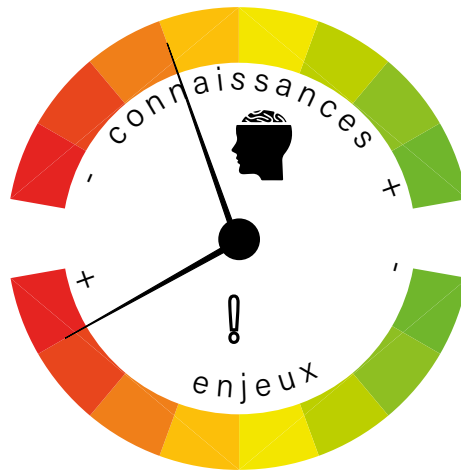
Pour étudier l'effet du bruit émis par les parcs éoliens en phase de construction et d'exploitation sur les écosystèmes marins, est-il pertinent de travailler sur quelques espèces ?



Bulletin n°5
Septembre 2022



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.



Problématique jugée comme

« à enjeu majeur dont les connaissances sont encore insuffisantes dans certains domaines »
par les experts*

**compartiments biologiques, mouvements des particules, etc.*

Expertise scientifique

Laura CEYRAC - Bioacoustique, relations mammifères marins et bruit anthropique (Shom)

Lydie COUTURIER - Écosystèmes marins, interactions peuplements de poissons et EMR (France Énergies Marines)

Karine HEERAH - Écologie marine, interactions mégafaune marine et environnement (France Énergies Marines)

Florent LE COURTOIS - Acoustique, pollution sonore sous-marine (Shom)

Ludivine MARTINEZ - Biologie marine, interactions activités humaines et faune marine (Cohabys)

Coordination, synthèse et rédaction

Sybill HENRY - France Énergies Marines

Introduction

Les émissions sonores générées par les activités humaines peuvent impacter la faune marine. Depuis plusieurs décennies, le bruit sous-marin ambiant augmente, principalement en lien avec l'essor des activités anthropiques. L'évaluation des effets de ces émissions sur les organismes marins est essentielle et constitue un défi méthodologique et scientifique, d'autant plus que le son se propage beaucoup plus efficacement dans l'eau que dans l'air (vitesse d'environ 1500 m/s, soit 5 fois plus vite) (Mooney, 2020).

Dans ce bulletin, les experts ont mis en avant la nécessité de considérer l'ensemble des espèces et de tendre vers une approche écosystémique (c'est-à-dire, l'ensemble des compartiments biologiques) pour évaluer les effets du bruit émis par les activités anthropiques, et notamment par les parcs éoliens en mer en phase de construction et d'exploitation. Les limites exposent les connaissances lacunaires des effets du bruit émis sur la faune marine et plusieurs recommandations pour pallier au manque de connaissances sont proposées par les experts en fin de bulletin.



Définitions

Pression

Traduction des activités humaines dans le milieu se matérialisant éventuellement par le changement d'état, dans l'espace ou dans le temps, des caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques du milieu¹.

Effet

Conséquence objective de l'introduction d'une ou

plusieurs pressions susceptibles de générer un impact sur le milieu marin².

Impact

Transposition d'un effet sur les différents compartiments biologiques de l'écosystème marin tenant compte de leur sensibilité, définie par leur capacité à tolérer des modifications du milieu (résistance), et du temps nécessaire à leur récupération suite à ces modifications (résilience).



© Siegrid Design

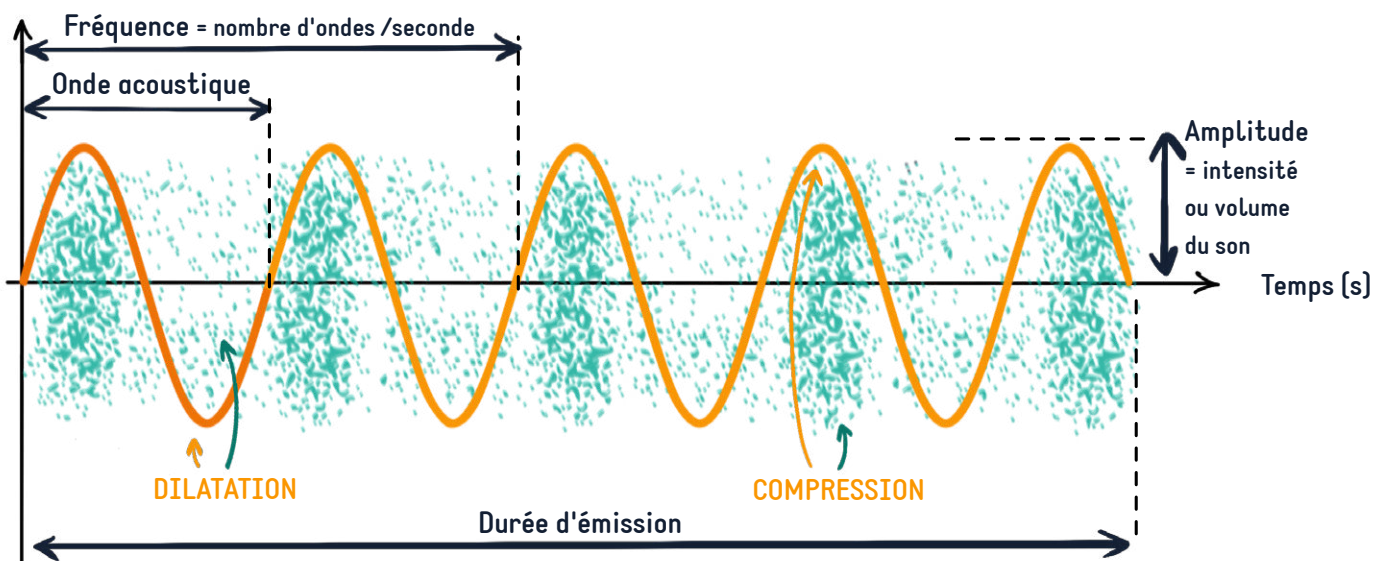
Fig. 1 Schéma conceptuel des termes utilisés pour définir la chaîne d'impact d'une pression sur un récepteur écologique (une espèce, un habitat ou un groupe d'espèces – mammifères marins, communautés planctoniques, etc.)

Son

Variation de pression provoquée par une **onde acoustique** (ou vibration). Un son est caractérisé par sa fréquence (nombre d'ondes acoustiques émises par seconde), son niveau sonore (volume ou intensité du son) et sa durée d'émission. Plus la fréquence est élevée et plus le son est aigu (haute fréquence : son aigu ; basse fréquence : son grave) (Persohn, 2020).

Onde acoustique (Fig. 2)

Phénomène physique qui résulte d'une perturbation mécanique d'un milieu (eau, air) se propageant de proche en proche. Une onde acoustique se caractérise par une succession de **compressions-dilatations** du milieu à l'origine d'une **variation de pression** et d'une mise en **mouvement des particules** (composées de plusieurs molécules du milieu) (Persohn, 2020).



© Siegrid Design

Fig. 2 Schéma d'une onde acoustique et de ses principales caractéristiques (en orange, le sens de propagation du son ; en vert, la représentation du mouvement des particules associées)

Variation de pression

Aussi appelée « pression acoustique », la variation de pression permet de décrire l'amplitude de l'onde acoustique par rapport à la pression statique (ou hydrostatique dans l'eau) du milieu environnant (Persohn, 2020).

Mouvement des particules

Correspond à la mise en mouvement des molécules du milieu (molécules d'eau, de gaz, etc.) généré par une onde acoustique. Plus l'amplitude du mouvement des particules est élevée et plus le son (ou l'intensité du son) est forte.

Bruit ambiant

Correspond au bruit global reçu en un point donné et pour un intervalle de temps défini (Fig. 3). Le bruit ambiant comprend l'ensemble des sources d'émissions sonores en milieu marin réuni au sein de trois composantes :

- 1) La **biophonie** (sons naturels d'origine biologique, émis volontairement (vocalises, clics, etc.) ou involontairement (déplacement, etc.) par la faune marine) ;
- 2) La **géophonie** (sons naturels d'origine non biologique : bruit des vagues, vent, courants marins, volcans sous-marins, tremblements de terre, etc.) ;
- 3) L'**anthropophonie** (sons émis par les activités humaines : trafic maritime, bateaux de croisière, de pêche professionnelle et de loisir, activités nautiques, dispositifs de dissuasion acoustique, prospection sismique et sonars, énergies marines renouvelables, extraction de granulats marins, dragage, immersion de sédiments, etc.) (Persohn, 2020).

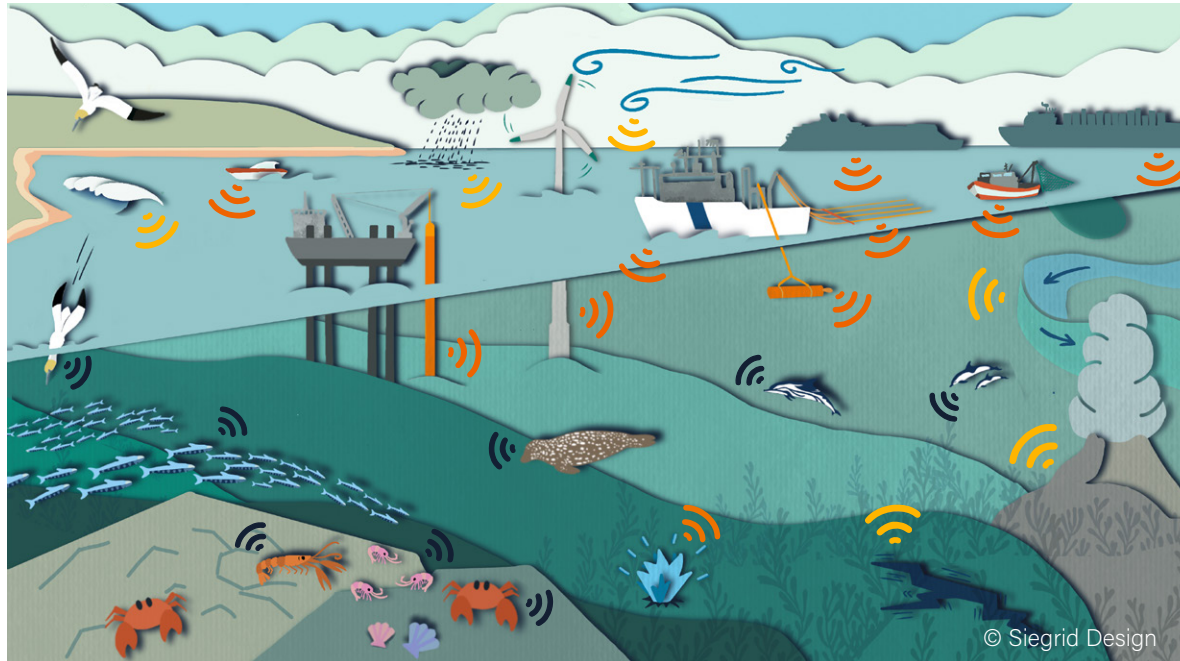


Fig. 3 Synthèse des différentes sources d'émissions sonores en milieu marin contribuant au bruit ambiant ou paysage sonore sous-marin

Population

Historiquement, les populations sont souvent définies comme des ensembles d'individus de la même espèce, vivant dans une même zone géographique et capables de se reproduire entre eux. De grandes précautions doivent être prises pour appliquer ce type de définition aux mammifères marins. Par exemple, des individus d'une même espèce qui se rencontrent n'ont pas tous les mêmes chances de se reproduire. Ceci peut se traduire par l'existence de groupes d'individus au sein d'une même espèce, plus ou moins isolés les uns des autres, qui peuvent pourtant être présents au même endroit.

Unité de gestion

Ensemble ou groupe d'individus d'une même espèce, qui subit une même pression et est suffisamment isolé des autres groupes de cette même espèce pour nécessiter une gestion spécifique.

¹ D'après les définitions issues des travaux du GT ECUME (groupe de travail sur les effets cumulés) du Ministère en charge de l'environnement (MTES, 2020)

² D'après l'arrêté du 17 décembre 2012 relatif à la définition du bon état écologique

Le bruit émis par les parcs éoliens et ses effets potentiels sur la faune marine

Tout au long de leur cycle de vie, les parcs éoliens en mer et leurs raccordements, qu'ils soient posés ou flottants, vont être source de différents types d'émissions sonores qui pourront affecter la faune marine.

1. Les différentes sources d'émissions sonores et leurs natures au sein des parcs éoliens en mer

Le cycle de vie des parcs éoliens peut être découpé en quatre phases principales : développement (études préalables), construction, exploitation et démantèlement. Chacune de ces phases va être à l'origine de plusieurs activités maritimes, sources d'émissions sonores qui vont varier dans leur nature, leur intensité, leur durée, etc. On peut cependant distinguer deux grands types de bruit : le **bruit impulsif** et le **bruit continu**.

Le bruit impulsif (ou impulsionnel) se caractérise par une impulsion sonore de courte durée correspondant à une augmentation transitoire et brutale de la pression acoustique. C'est le type de bruit qui sera généré par le choc d'un marteau sur un pieu lors du battage de pieu (éolien posé) (Persohn, 2020) ou par la mise en tension des chaînes d'ancrage (éolien flottant). La fréquence d'émission du battage de pieu par marteau

LE SAVIEZ-VOUS ?

Le **niveau sonore** traduit l'intensité du son exercé sur une espèce ou un groupe d'espèce. Il est exprimé en Décibel (dB) par rapport (re) à la pression acoustique de référence du milieu marin de 1 microPascal (μPa).

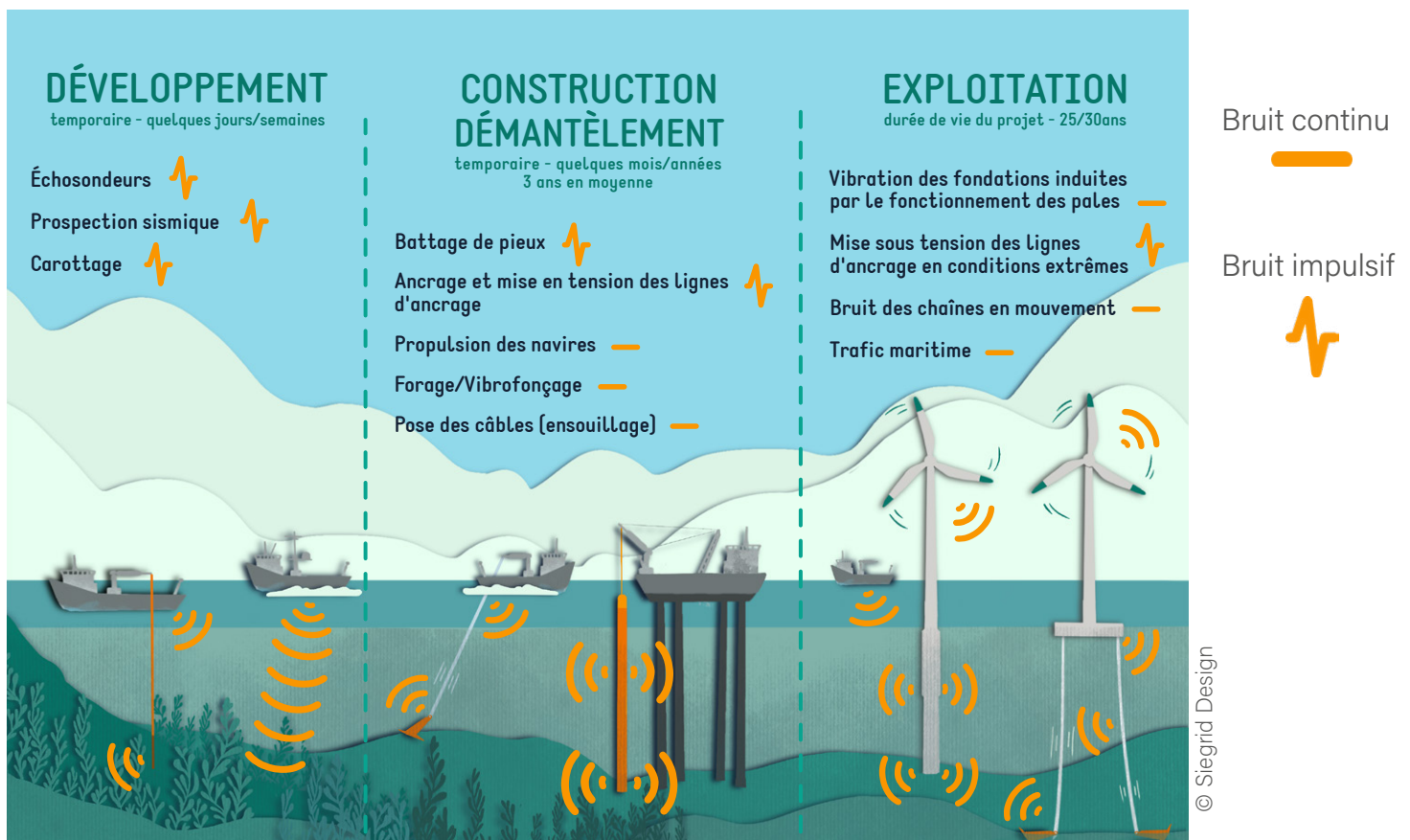


Fig. 4 Synthèse des principales sources d'émissions sonores associées à toutes les phases du cycle de vie d'un parc éolien en mer (allant de la prospection au démantèlement) en fonction du type d'infrastructure (posé ou flottant) et d'activité (prospection, trafic maritime, etc.). Les types de sons émis sont indiqués par les lignes orange. L'énergie acoustique des différentes sources d'émissions en fonction de la distance, du type de bruit, etc. n'est pas représentée ici (D'après Popper et al., 2022).

hydraulique est, par exemple, comprise entre 10 Hz et 20 kHz pour une durée d'émission de quelques millisecondes et dépend de nombreux paramètres (diamètre des pieux, nature des fonds, bathymétrie, etc.). Le niveau sonore associé (traduisant l'intensité du son) est estimé entre 200 et 250 dB re 1 μ Pa. Le bruit continu correspond à une impulsion sonore stable et constante qui se prolonge dans le temps (Persohn, 2020). C'est le type de bruit qui sera généré par le passage d'un bateau ou par une éolienne en fonctionnement. La fréquence émise par les navires de maintenance est, par exemple, estimée entre 1 Hz et 20 kHz en fonction de leur puissance, vitesse, (etc.), pour une intensité qui varie de 150 à 180 dB re 1 μ Pa ; alors que le bruit généré par une éolienne posée en fonctionnement est estimée entre 50 Hz et 2 kHz et sera notamment fonction du type de fondation et de la vitesse du vent pour une intensité estimée entre 120 à 150 dB re 1 μ Pa (Persohn, 2020). Ces deux types de bruit peuvent être émis, de façon concomitante ou non, à toutes les étapes du cycle de vie des parcs éoliens en mer (Fig 4).

2. Effets potentiels des émissions sonores

Capable de se propager rapidement et sur de longues distances dans l'eau, le son est utilisé par les animaux marins pour recueillir des informations sur leur environnement et interagir avec leurs congénères et les autres organismes marins. En fonction des espèces, les capacités auditives et de perceptions des différentes émissions sonores sous-marines varient et toutes réagissent différemment (SEER., 2021).

Les effets des émissions sonores sur la faune marine peuvent être regroupés selon plusieurs zones d'influence (Fig 5) et seront fonction de l'espèce et de sa sensibilité, de l'intensité du bruit et de la durée d'émission (Mooney, 2020) :

- Au plus proche de la source d'émission, la zone de **lésion permanente**. Les blessures peuvent être d'ordre physiques et/ou physiologiques et conduire à la mort de l'individu ;

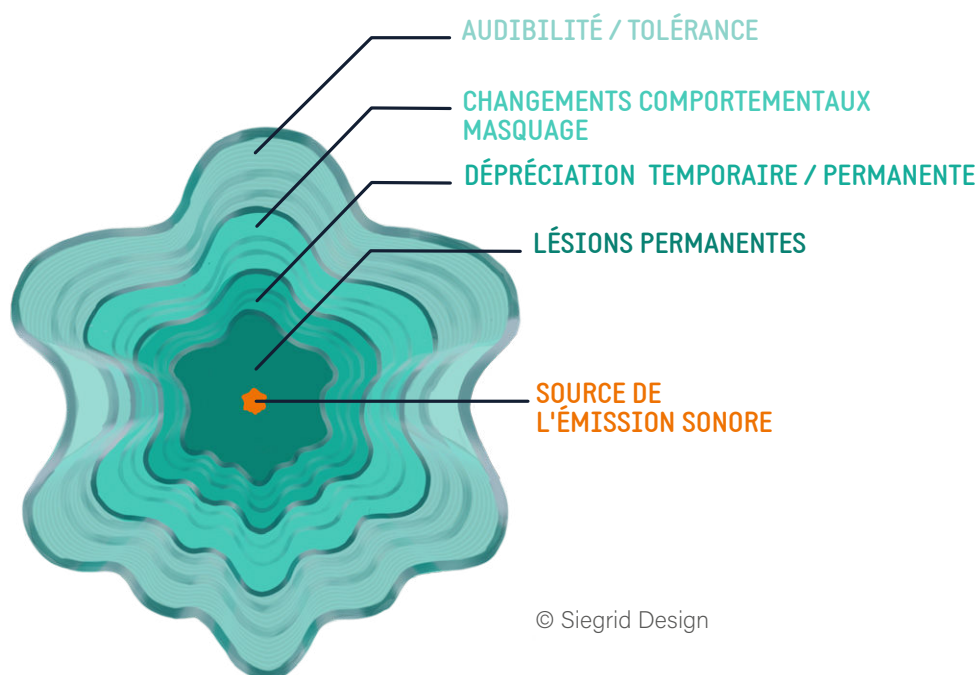


Fig. 5 Zones d'influence des émissions sonores sur la faune marine (d'après Mooney et al., 2020 / Richardons et al., 1995)

- La zone de **dépréciation** où les lésions physiques et/ou physiologiques sont temporaires. Si elles ne conduisent pas directement à la mort de l'individu, elles peuvent néanmoins induire une perte d'audition qui peut être temporaire et entraîner une diminution des capacités reproductives et une baisse du taux de survie, avec des conséquences possibles sur l'ensemble de l'unité de gestion ;

- Les zones de **changements comportementaux** et de **masquage** où les sons biologiquement importants et nécessaires à la communication ou à la perception de l'environnement seront dissimulés/perturbés ;

- La zone d'**audibilité**, ou de tolérance, où les émissions sonores peuvent être perçues par les animaux sans que cela n'ait a priori d'effet sur leur intégrité physique ou leur comportement.



Comme toutes activités anthropiques, le développement des parcs éoliens en mer sera source d'émissions sonores pouvant induire des impacts sur les différents compartiments biologiques de l'écosystème. La sensibilité auditive des mammifères marins est bien connue et comprise entre 10 Hz et 200 kHz pour un seuil de sensibilité estimé à environ 50 dB re 1 μ Pa. Les tortues seraient ainsi capables de percevoir des sons entre 30 Hz et 2000 Hz et les poissons entre 50 et 300 Hz voire plusieurs milliers de hertz pour certaines espèces à vessie natatoire (Persohn, 2020). L'émission d'un bruit impulsif par exemple, peut générer des lésions physiques et physiologiques sur un individu, et cela même si le son émis est en dehors de sa zone d'audibilité. Une émission sonore impulsive de forte intensité peut également conduire à des lésions physiques comme la dégradation de certains organes qui sont particulièrement sensibles aux variations de pressions (poumons des mammifères marins, vessies natatoires des poissons, etc.). Le bruit continu peut conduire à une modification du comportement ou du fonctionnement physiologique par augmentation du stress. La liste d'exemples associés à chacune de ces catégories et les conséquences de ces effets sur le long terme n'est pas exhaustive (Fig. 6)

LE SAVIEZ-VOUS ?

La vessie natatoire est un organe rempli de gaz qui assure la flottabilité de certains poissons leur permettant de rester à une certaine profondeur. Chez certaines espèces, cette vessie natatoire peut être utilisée comme chambre de résonance pour produire/recevoir des sons.



© Siegrid Design

Fig. 6 Effets et impacts potentiels des émissions sonores générées par les parcs éoliens en mer (posés et flottants) sur la faune marine. Pour chaque effet et impact, la liste d'exemples proposée n'est pas exhaustive.

Impacts des émissions sonores à l'échelle de l'écosystème

Les conséquences à long terme des émissions sonores sur l'écosystème sont illustrées ici, à titre d'exemple, à l'échelle d'un parc éolien (Fig. 7). Il est important de noter que les notions illustrées dans cette figure ne sont pas spécifiques au type d'infrastructure représenté. Les conséquences présentées ici en exemple ne sont pas spécifiques au compartiment biologique décrit mais peuvent être déclinées à l'ensemble des compartiments biologiques de l'écosystème (cétacés, tortues, poissons, invertébrés, communautés planctoniques, etc.).

[1] Modification du réseau trophique

Ici, la modification du réseau trophique (réseau alimentaire) est illustré par l'inter-connexion existante entre tous les compartiments biologiques de l'écosystème. Par exemple, le stress généré sur les communautés planctoniques par les émissions sonores peut perturber la croissance et le développement de certaines espèces.

[2] Modification du développement planctonique

Par effet cascade, la diminution du taux de survie de certaines espèces planctoniques peut avoir un impact sur l'ensemble du réseau trophique.

[3] Modification de la connectivité

La connectivité désigne l'ensemble des connexions existantes entre différents milieux naturels qui, étant donné leurs caractéristiques (biologiques, fonctionnelles, etc.) contribuent au bon fonctionnement d'un écosystème. Ici, la modification de la connectivité est illustrée par l'effet barrière pouvant être induit par les émissions sonores. La présence d'une zone bruyante entre deux zones fonctionnelles (abri, reproduction, alimentation, etc.) peut déstabiliser la connectivité d'une population ou d'une

communauté en isolant les individus des uns et des autres et en les empêchant d'utiliser certaines zones fonctionnelles.

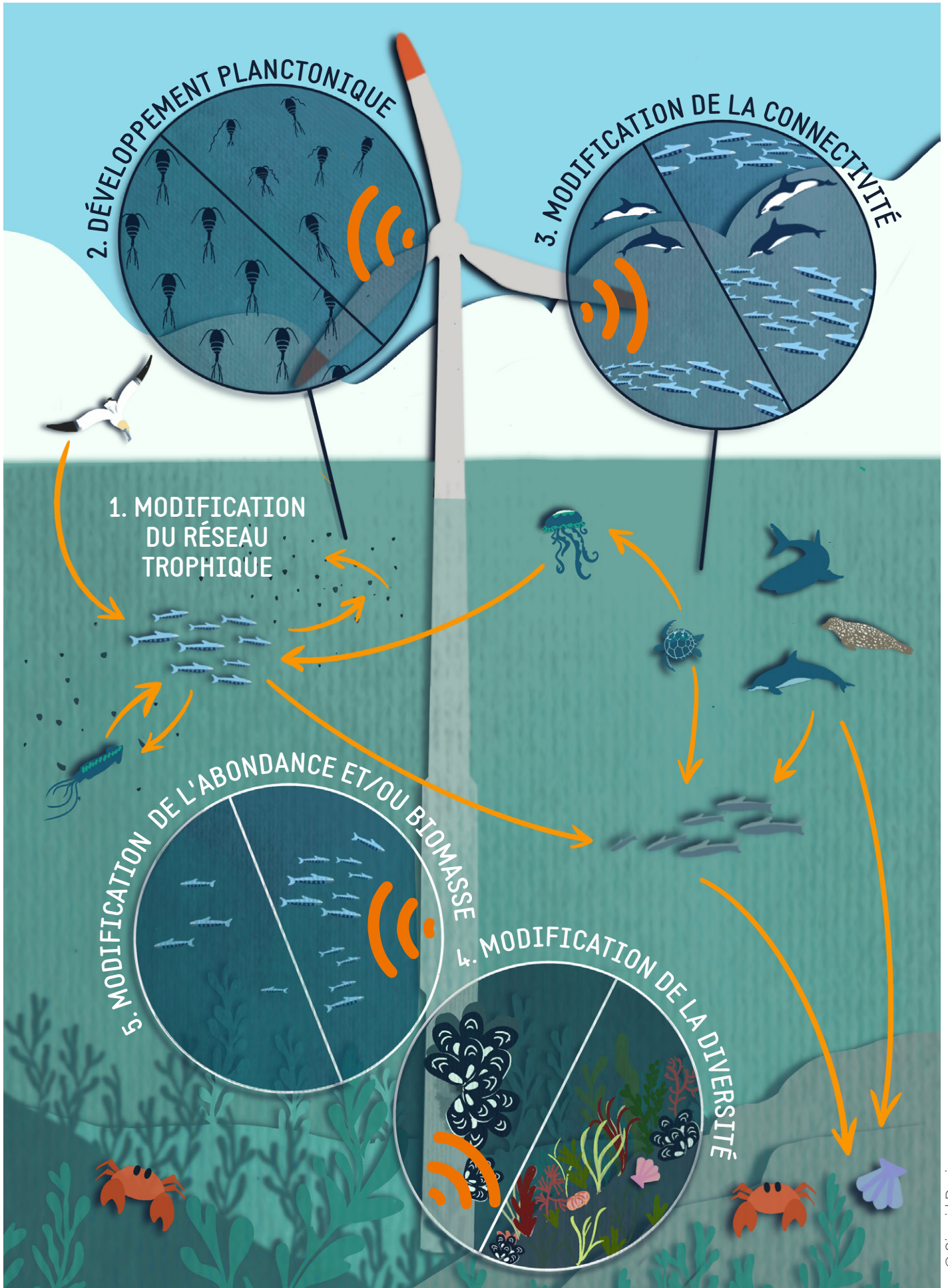
[4] Modification de la diversité

La modification de la diversité est illustrée ici par l'effet d'attraction/répulsion que peuvent avoir les émissions sonores sur certaines larves d'invertébrés benthiques. Les émissions sonores émises par la vibration des fondations liée au mouvement des pâles en surface peuvent favoriser le développement de certaines espèces particulièrement sensibles à cet effet d'attraction (comme la moule bleue, *Mytilus edulis*) au détriment d'autres espèces et être à l'origine d'un appauvrissement de la diversité spécifique.

[5] Modification de l'abondance et/ou de la biomasse

L'abondance (nombre) et la biomasse (masse ou poids) se rapportent à la quantité d'individus d'une ou plusieurs espèces d'un milieu d'intérêt. La modification de l'abondance/biomasse est représentée ici par la variation du nombre d'individus (ici, une augmentation) résultant du phénomène d'attraction/répulsion (ici, un phénomène d'attraction) généré par les émissions sonores pouvant avoir un impact sur la structure des populations/communautés de poissons.

A noter que plusieurs sources de pressions sonores différentes (par exemple : trafic maritime + mouvement des chaînes sur le fond + vibration des fondations), peuvent se cumuler. En l'état actuel des connaissances, il n'est pas toujours possible de différencier les effets spécifiques des émissions sonores générées par les parcs éoliens, de ceux générés par les autres activités anthropiques. On parle alors d'**effets cumulés**.



© Siegrid Design

Fig. 7 Illustrations des conséquences des différents effets potentiels générés par les émissions sonores à l'échelle de l'écosystème (liste non-exhaustive)

Limites et axes de recherche

Limites

Le niveau d'information disponible sur les impacts des émissions sonores varie selon les espèces. Les travaux de recherche actuels portant sur l'évaluation des effets et des impacts présentent certaines limites :

- Ils se concentrent essentiellement sur les mammifères marins. Des lacunes de connaissances persistent sur les impacts des émissions sonores sur les autres espèces marines (poissons, invertébrés, plancton, etc.) ;
- Ils portent essentiellement sur les impacts physiques et physiologiques *via* l'étude des seuils d'audition qui font relativement consensus au sein de la communauté scientifique pour les mammifères marins mais pas pour l'ensemble des compartiments biologiques. Des seuils d'impacts sur les modifications comportementales ou sur le stress font défaut à l'heure actuelle car ils sont difficiles à étudier (limites méthodologiques) ;
- Ils n'intègrent pas l'étude du mouvement des particules qui peut avoir plus d'impact sur les individus que les variations de pression, en particulier pour les poissons et les invertébrés. Selon Popper & Hawkins (2018), les organes sensoriels utilisés pour la détection des sons par certaines espèces de poissons et d'invertébrés sont, de part leurs caractéristiques physiques, sensibles au mouvement des particules plutôt qu'aux variations de pression (Popper, 2018) ;
- Ils reposent sur des méthodes d'évaluation des impacts qui ne sont pas standardisées et dont les protocoles se concentrent généralement sur l'étude d'un seul effet sur une (ou quelques) espèce(s) d'intérêt ;
- Ils sont réalisés à court terme (étude des impacts directs) à l'échelle de l'individu et n'intègrent pas une approche à long terme et à l'échelle de la population ;
- Ils sont limités dans le temps avec des suivis qui sont généralement mis en place sur quelques années (3 ans en moyenne et pas toujours en continu) et qui ne correspondent pas aux cycles biologiques de toutes les espèces ;
- Ils portent essentiellement sur les phases de construction et d'exploitation des parcs éoliens alors que toutes les phases sont génératrices d'émissions sonores et sont donc importantes à considérer.



Recommandations

- Augmenter les connaissances sur le milieu marin afin de :
 - ▷ Mieux comprendre et caractériser les effets des différentes composantes des émissions sonores, en particulier les effets du mouvement des particules. Le mouvement des particules en milieu marin est un phénomène encore peu connu et qui requiert une caractérisation préalable (étude des liens existants entre la variation de pression et le mouvement des particules résultant d'une émission sonore, étude des différences entre le mouvement des particules induit par un son impulsif vs un son continu, etc.) ;
 - ▷ Caractériser les impacts du bruit sur les espèces en fonction des saisons, des stades du cycle de vie (larves, juvéniles, adultes) et du comportement (reproduction, soin aux jeunes, recherche de nourriture, communication) ;
 - ▷ Mieux comprendre la capacité de propagation dans les sédiments pour évaluer les effets et impacts des émissions sonores sur les communautés d'invertébrés benthiques.
- Au regard du manque de connaissance et de données (notamment sur les effets du mouvement des particules et sur les effets des émissions sonores sur certaines espèces marines - invertébrés marins, etc.), privilégier les approches par le risque (probabilité d'impact ou non) par application du principe de précaution ;
- Travailler à une échelle spatio-temporelle adaptée au cycle biologique des espèces et à leur aire de distribution pour évaluer les effets et impacts à l'échelle de l'individu et de l'unité de gestion ;
- Développer des méthodes de suivis pour évaluer les changements comportementaux autres que les mouvements de fuite et les déplacements (arrêt des activités - nourrissage, soin des jeunes, etc., modification de la durée et de la fréquence des plongées, enfouissement dans le sédiment pour certaines espèces benthiques, sursauts, etc.) ;
- Pour mettre en oeuvre une approche écosystémique, poursuivre l'amélioration des connaissances sur les espèces/groupes d'espèces clés pour étudier les impacts des émissions sonores, en particulier pour les poissons et les invertébrés benthiques. S'intéresser à quelques espèces clés constitue une première étape de compréhension pour l'étude des effets et des impacts des émissions sonores à l'échelle de l'écosystème.
- Accentuer les efforts de recherche sur l'ensemble des compartiments biologiques afin de tendre vers une approche écosystémique.



Conclusion

Pour comprendre l'impact des émissions sonores sur l'écosystème marin, il est essentiel de comprendre l'impact sur chacun des compartiments biologiques qui le compose. La mise en œuvre d'une approche écosystémique requiert de ne pas se focaliser uniquement sur les impacts physiques des émissions sonores (comme les lésions auditives, par exemple) à travers l'analyse des seules variations de pression. Pour prétendre comprendre les effets des émissions sonores et leurs impacts sur l'ensemble des espèces, il est nécessaire de considérer également les effets du mouvement des particules, en particulier pour les espèces peu mobiles et les habitats benthiques.

Bibliographie

- Mooney TA., Andersson MH., Stanley J., (2020). Acoustic impacts of offshore wind energy on fishery resources: An evolving source and varied effects across a wind farm's lifetime. In Oceanography 33(4):82-95.
- Persohn, C., Helloco, L., Baudinière, E., Martinez, L., (2020). Préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine. Rapp. Du Ministère de la transition écologique et solidaire, 212p.
- Popper AN., Hawkins AD., (2018). The importance of particle motion to fishes and invertebrates. In The journal of the Acoustical Society of America 143:470-488.
- Popper AN., Hice-Dunton L., Jenkins E., Higgs DM., Krebs J., Mooney A., Rice A., Roberts L., Thomsen F., Vigness-Raposa K., Zeddies D., Williams K.A., (2022). Offshore wind energy development: Research priorities for sound and vibration effects on fishes and aquatic invertebrates. In J. Acoust. Soc. Am. 151 (1), 205-2015.
- Richardson WJ., Greene CR., Malme CI., Thompson DH., (1995). Marine mammals and noise. Academic press, London and San Diego. 576p.
- SEER., (2021). Underwater noise effects on marine life associated with offshore wind farms. Research brief. In. U.S. Offshore Wind Synthesis of Environmental Effects Research, 10p.

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., Ceyrac L., Le Courtois F., Martinez L., Couturier L., Heerah K.

Pour étudier l'effet du bruit émis par les parcs éoliens en phase de construction et d'exploitation sur les écosystèmes marins, est-il pertinent de travailler sur quelques espèces ?

Bulletin COME3T n°05

Plouzané : France Energies Marines, 2022, 20 pages.

Edition : Septembre 2022

Dépôt légal à parution.

Maquettage : France Energies Marines

Conception graphique des figures : Siegrid Design



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 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 des énergies marines renouvelables.

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

Une initiative coordonnée par France Energies Marines.



France Energies Marines est l'Institut pour la Transition Énergétique dédié aux énergies marines renouvelables. Ses missions : fournir, valoriser et alimenter l'environnement scientifique et technique nécessaire pour lever les verrous liés au développement des technologies des EMR tout en assurant une intégration environnementale optimale. De par son fonctionnement reposant sur un partenariat public-privé, l'Institut se situe à l'interface entre les acteurs institutionnels (collectivités territoriales, régions, etc.), académiques, scientifiques et industriels (développeurs et porteurs de projet).



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 - 2022