



IMPACTS ACOUSTIQUES DES PROJETS ÉOLIENS EN MER SUR LA FAUNE MARINE

COMPARTIMENTS DES MAMMIFÈRES MARINS,
DES POISSONS ET DES INVERTÉBRÉS



Pour télécharger
le rapport d'expertise
complet

Le développement de l'éolien en mer fait aujourd'hui débat. Les effets préjudiciables potentiels des pollutions sonores sur la vie marine font partie des préoccupations légitimes de la société civile, de l'industrie et des instances politiques.

Pour cerner la question complexe de l'impact acoustique des projets d'énergie marine renouvelable sur la faune marine, les trois ministères de la Transition écologique, de la Mer et de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation ont mandaté le CNRS¹ pour réaliser une expertise scientifique collective afin d'apporter des éléments scientifiques éprouvés. Cet état des lieux des connaissances scientifiques aujourd'hui disponibles sur le sujet de l'impact acoustique des projets éoliens a pour ambition d'éclairer la décision publique concernant l'installation et le pilotage des plateformes éoliennes offshore.

Cette expertise scientifique a été coordonnée par Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS. Un groupe de scientifiques, experts du domaine issus de différentes disciplines, a été mobilisé² pour établir un panorama des connaissances les plus récentes analysant de manière collective, critique et neutre la littérature scientifique mondiale relative aux mécanismes de propagation sonore sous-marine, aux impacts multiples de l'anthropophonie sur les diverses espèces marines, aux bruits engendrés par les projets éoliens, notamment lors de leur construction, et aux méthodes permettant de les réduire.

Le rapport indique les espèces qui risquent d'être impactées par les projets éoliens en mer, la forme et la sévérité de cet impact ainsi que l'effet des stratégies d'atténuation qui peuvent être mises en place. Il pointe aussi l'incomplétude des connaissances actuelles et la nécessité de les compléter, en particulier pour plusieurs espèces et sources sonores.

J'espère que les travaux de recherche, qui se poursuivent, permettront bientôt d'élargir les études d'impact à l'ensemble des écosystèmes marins en intégrant toutes les sources sonores aussi bien transitoires que chroniques.

Avec ce rapport, le CNRS, organisme de recherche couvrant de multiples champs disciplinaires, souhaite apporter l'éclairage de la science aux décideurs et au débat public sur une question d'actualité pour la société.

Antoine Petit,
Président-directeur général

-
- 1 Voir la lettre de mission (Annexe 1).
 - 2 Dans le respect de la Charte nationale d'expertise scientifique (Annexe 2) et de la Charte française de déontologie des métiers de la recherche (Annexe 3).

SYNTHÈSE

Ce rapport d'expertise fait le point sur les connaissances scientifiques relatives à l'impact acoustique des projets éoliens en mer sur la faune marine. Il s'inscrit dans le contexte d'un développement attendu des projets d'énergies marines renouvelables (EMR). Il met l'accent sur l'impact du bruit des travaux offshore utiles à la construction d'éoliennes et sur trois compartiments de la faune marins – les mammifères marins, les poissons et les invertébrés –, peu d'études étant disponibles pour les oiseaux marins et les tortues marines. À des fins de comparaison, l'étude prend aussi en compte les projets d'EMR en phase d'exploitation et d'autres émissions sonores anthropiques (d'origine humaine).

La première partie du rapport présente de manière synthétique les connaissances en traitement du signal, acoustique sous-marine et bioacoustique nécessaires à l'étude de l'impact des EMR et des sons générés. Une onde sonore peut être décrite par plusieurs quantités physiques, notamment la pression acoustique et la vitesse particulaire. Les EMR produisent divers types de sons, transitoires (impulsionnels ou non) et continus, et il faut distinguer la phase de construction – avec notamment les opérations de forage et de battage de pieux – de l'exploitation et du démantèlement. Il convient également de replacer autant que possible les bruits générés par les EMR dans la description globale des paysages sonores océanographiques qui prend en compte les sons déjà présents d'origines naturelle et humaine.

La propagation de ces sons dans les milieux marins est difficile à modéliser : le calcul réaliste des pertes de transmission nécessite la prise en compte et la connaissance précise de la bathymétrie (reliefs des fonds océaniques), des variations spatiales de la vitesse du son dans la colonne d'eau ainsi que des paramètres géoacoustiques du fond marin et des strates de sédiments, largement méconnus. En pratique, les connaissances actuelles reposent sur des expériences faites en laboratoire et sur des observations *in situ*.

Les paramètres environnementaux utilisés par les animaux pour percevoir le son varient selon les systèmes auditifs. Certains sont sensibles à des variations de pression, d'autres à des accélérations particulières et/ou aux vibrations du substrat. Trois groupes du règne animal sont principalement considérés – mammifères marins, poissons et invertébrés (pélagiques et benthiques) – mais l'étendue des connaissances disponibles est inégale d'un groupe à l'autre, très largement plus fournie pour les vertébrés que pour les invertébrés.

La deuxième partie du rapport présente les retours d'expériences de différents projets EMR en termes d'impact sur le vivant. Cette partie s'appuie sur un ensemble d'études internationales grâce auquel on commence à cerner les effets du son sous-marin généré par les projets éoliens en mer sur la faune marine.

Depuis les années 2000, de nombreuses études *in situ* ont été menées en mer du Nord et en mer Baltique. Elles concernent notamment les opérations de battage de pieux durant la phase de construction. Des suivis *in situ* de la phase d'exploitation ont été mis en place plus récemment. Il n'y a pas encore d'observation *in situ* disponible pour l'éolien flottant. La phase de démantèlement, relativement peu étudiée, n'est pas prise en compte.

Concernant les **éoliennes flottantes**, peu d'études ont été faites.

- **Phase d'exploitation** : Au vu des niveaux sonores mesurés pendant les phases de tests, il ne devrait y avoir d'impact physiologique sur aucune espèce de mammifères marins ou de poissons pendant la phase d'exploitation. La zone de changement comportemental observée a un rayon maximum de 450 m pour les mammifères marins et de 15 m pour les poissons.

- **Phase de construction** : La construction des parcs éoliens en mer flottants ne nécessite pas de battage de pieux, mais les caractéristiques sonores des travaux d'installation d'un parc éolien en mer flottant (enrochement, ensouillage de câbles, ancrage) sont proches du bruit généré par des navires. Les études montrent une diminution de la fréquentation de mammifères marins (marsouins et phoques) qui peut être attribuée au bruit généré par le trafic maritime accru sur le site.

Concernant les **éoliennes posées**, les études permettent de considérer l'impact des opérations de construction et d'exploitation pour plusieurs espèces marines : espèces de mammifères marins abondantes en mer du Nord et mer Baltique (marsouins communs, phoques gris et phoques communs), poissons et invertébrés.

Marsouin commun : Les effets réels de l'implantation et l'exploitation de parcs éoliens en mer sur les marsouins communs ont pu être identifiés par des études *in situ*, avec des suivis acoustiques passifs et visuels (observations aériennes et à partir de navires) lors de différents projets.

- **Phase de construction** : D'importantes différences dans l'étendue et l'importance de l'effet occasionné par la phase de construction sur les marsouins communs ont été observées entre les sites éoliens offshore mais la quasi-totalité des études rapportent un impact à court terme, composé d'une baisse significative de l'activité acoustique et d'un déplacement temporaire des individus proches du parc dès ou avant le début des travaux, suivi d'un retour à la normale (activité acoustique, abondance) intervenant jusqu'à 3 jours après les opérations. Peu d'effets à long terme sont rapportés.
- **Phase d'exploitation** : Les suivis plusieurs années après la construction ont permis d'évaluer les effets des parcs éoliens en mer en phase d'exploitation. Aucun effet significatif n'est rapporté à ce jour.

Phoques : La réponse des phoques aux activités associées aux projets éoliens a pu être étudiée *via* des observations visuelles et des suivis télémétriques.

- **Phase de construction** : Aucun effet à long terme n'a été relevé sur le comportement des phoques durant la phase de construction, mais une diminution significative à court terme du nombre de phoques présents à proximité des parcs (abondance en mer et à terre) a été observée lors des opérations du battage de pieux. Cette réaction d'évitement, probablement liée au bruit généré par les opérations de battage de pieux et les mesures d'atténuation associées, a été observée jusqu'à 25 km de distance.

- **Phase d'exploitation** : Les études montrent l'absence d'effet significatif des parcs éoliens sur le comportement des phoques (abondance en mer et à terre, mouvements et comportement en mer) lors du fonctionnement des éoliennes.

Poissons

- **Phase de construction** : De nombreuses expérimentations en bassin ont relevé des effets négatifs du bruit généré par les activités liées à la construction de parcs éoliens en mer sur des espèces de poissons. Des seuils d'impacts sonores théoriques ont été définis pour différentes catégories de poissons, ce qui permet de simuler l'influence des parcs éoliens, en tenant compte des niveaux sonores émis, de la propagation du son et des capacités auditives des poissons. Les études sur les effets réels du battage de pieux sur les espèces de poissons sont peu nombreuses, principalement en raison des défis logistiques impliqués. ➔



Plongeur installant un hydrophone sur les contreforts du fjord Kongsfjorden, au Spitzberg, dans l'archipel du Svalbard, en Norvège, pour connaître le paysage acoustique à cet endroit.

© Erwan AMICE/LEMAR/CNRS Photothèque

- **Phase d'exploitation** : De nombreux facteurs sont susceptibles d'avoir un effet sur les populations de poissons une fois les parcs éoliens en mer opérationnels, tels que les modifications de l'habitat, les perturbations sonores ou causées par les champs électromagnétiques créés autour des câbles. Étant donné que tous ces facteurs agissent simultanément, leur importance relative pour les poissons est difficile à démêler et à évaluer empiriquement.

Invertébrés : Les très rares études existantes s'appuient sur des observations *in situ* et sur des simulations de bruit d'éoliennes offshore en exploitation. Aucune conclusion générale ne peut cependant être tirée : certaines études considèrent l'impact acoustique (bruit et vibration) sur la faune benthique pendant la phase d'exploitation comme négligeable ; d'autres rapportent une influence négative des sons émis par des turbines éoliennes sur la fixation de larves de crabes et un retard de leur métamorphose.

La troisième partie du rapport élargit l'analyse des impacts acoustiques à d'autres sources anthropiques pour lesquels davantage de connaissances sont disponibles. Ces impacts peuvent être importants et s'exprimer tout au long du cycle de vie des organismes marins, avec des réponses biologiques sur l'individu (réponses physiologiques et comportementales), sur les populations et sur les espèces mais aussi sur les interactions interspécifiques. Ces réponses peuvent varier en fonction du stade de développement, de l'âge ou du sexe, du contexte ou encore en fonction de la distance à la source et des caractéristiques de la source sonore.

La synthèse bibliographique proposée s'appuie sur une large gamme d'observations pour diverses émissions anthropiques (tirs sismiques, explosions, trafic maritime). Elle prend en compte les mammifères marins – cétacés à audition basses (BF), moyennes (MF) et hautes (HF) fréquences, pinnipèdes –, les poissons à audition spécialiste ou généraliste selon que leur oreille interne est ou n'est pas connectée à la vessie natatoire qui peut jouer un rôle de caisse de résonance, mais aussi les impacts sur les stades larvaires, paralarvaires et juvéniles d'invertébrés. Les effets liés à la production sonore anthropique sont classés en cinq groupes : mortalité directe, changements de seuil auditif (transitoire ou permanent), autres réponses physiologiques, réponses comportementales et masquage même si ces réponses ne sont pas indépendantes et peuvent interagir de façon complexe.

Concernant la **mortalité**, il existe peu d'observations directes de mortalités concomitantes (au niveau individuel ou populationnel) à la mesure des caractéristiques (fréquence, niveau) de l'onde sonore incidente mais des événements sont rapportés pour trois groupes d'animaux (mammifères marins, poissons, invertébrés), en lien à de fortes productions sonores. Chez les mammifères marins, la mortalité correspond essentiellement à des événements d'échouage de masse de cétacés à audition moyennes fréquences (baleines à bec) observés lors de l'utilisation de sonars militaires et de tirs sismiques. Des mortalités sont observées pour les poissons généralistes dans un rayon moyen de 10 m autour de la source sonore,

lors de l'utilisation de canons à air par les navires sismiques et d'opérations de battage de pieux. Les études concernant les invertébrés semblent montrer un impact très variable selon les espèces et le stade de développement.

Les **effets traumatiques sur le système auditif** sont bien documentés. Les animaux exposés à un son suffisamment intense montrent une augmentation de leur seuil d'audition, c'est-à-dire une baisse de leur sensibilité aux sons. La durée de cet effet dépend essentiellement du temps d'exposition, de l'amplitude et de la fréquence des sons. Dans le cas d'un effet temporaire, les cellules ciliées de l'oreille interne des animaux présentent les caractéristiques d'un état de fatigue et retrouvent plus tard leur forme normale. Si l'exposition au bruit dépasse une certaine limite ou si la perte auditive temporaire est induite de façon chronique et sur une longue période de temps, les cellules ciliées se trouvent alors endommagées de façon permanente : elles finissent par se nécroser et disparaître.

D'autres **réponses physiologiques ou lésions** impactant les tissus non liés au système auditif et aux conditions métaboliques (de stress ou non) ont pu être observées.

- Chez les **mammifères marins**, ces réponses peuvent prendre la forme d'une augmentation de l'activité respiratoire ou du niveau de stress, voire de changements neurologiques et immunitaires. Chez certains mammifères marins, des lésions peuvent apparaître principalement au niveau de la mâchoire inférieure pleine de gras ou d'huile qui réduisent ou empêchent la transmission du son vers l'oreille interne.
- Chez les **poissons**, les sons anthropiques induisent généralement la mise en place de métabolisme de stress caractérisé par une augmentation du débit cardiaque et de la ventilation ou la sécrétion de cortisol. La plupart des études ont montré un effet néfaste sur les processus physiologiques sous les effets de niveau sonore élevé (type battage de pieux). Des lésions tissulaires peuvent également apparaître. Ces réponses varient en fonction des capacités auditives et du mode de vie des espèces.
- Les réponses physiologiques observées chez les **invertébrés** à une exposition à des bruits anthropiques sont majoritairement liées à une augmentation des marqueurs biochimiques de stress :
 - chez les **crustacés**, il est impossible de tirer des conclusions globales mais les études font état de diverses réponses physiologiques selon les espèces : augmentation de l'expression de protéines de stress et de la consommation d'oxygène, diminution des taux de croissance et de reproduction, modification des capacités immunologiques ;
 - très peu d'études traitent des impacts acoustiques sur la physiologie des **mollusques de l'endofaune**.

Lors d'émissions de sons d'origine anthropique, les **réactions comportementales** observées chez les mammifères ou les poissons sont comparables et consistent globalement à fuir pour éviter la source sonore. D'après les études, ces réactions

peuvent être remarquées à des distances très variables en fonction de la source sonore, du groupe d'animaux étudié et même de l'espèce. Dans certains cas pourtant, les animaux ne sont pas perturbés par le bruit produit et peuvent même être attirés par la source sonore.

- Les études réalisées chez les **mammifères marins** font état d'un large éventail de changements comportementaux en réponse aux bruits anthropiques : évitement de la source sonore parfois avec une augmentation de la vitesse de nage, changement de la profondeur des plongées, resserrement des groupes sociaux ou encore diminution des temps de repos ou du temps dédié à la recherche alimentaire. La nature des effets et leur niveau de sévérité sont variables d'une espèce à l'autre, en fonction de la distance à la source et des caractéristiques de la source sonore. On sait par exemple que la réponse comportementale des espèces de baleine à bec à des émissions de sonar peut être particulièrement sévère, allant jusqu'à l'échouage, ou qu'une émission sonar peut engendrer un stress similaire au risque immédiat de prédation. Pour le battage de pieux, l'incidence a été observée jusqu'à 30 km du foyer pour les cétacés « hautes fréquences » et certains phoques. Concernant le bruit des navires, les comportements peuvent varier suivant la taille et le type de bateau mais un effet d'accoutumance a pu être observé lors de passages réguliers de navires, avec une diminution du comportement de fuite.
- Les **poissons** à audition généraliste ou spécialiste montrent des réactions d'affolement et de fuite de la source sonore avec une nage plus rapide, un relâchement des bancs et une dispersion verticale plutôt qu'horizontale. Dans le cas des battages de pieux, le rayon d'incidence varie de 300 m à 1,4 km pour les poissons généralistes mais il est limité à 4 m pour le bruit des éoliennes offshore en fonctionnement, pour l'ensemble des poissons. Le bruit produit par les navires peut également induire une réduction de la détection et de la capture des proies, ainsi qu'une moindre réponse à la présence de prédateurs. Enfin, les différents bruits anthropiques perturbent le comportement nuptial de nombreuses espèces.
- Les réponses comportementales à l'exposition à une source sonore (battage de pieux, bruit de bateaux mais aussi vibrations du substrat) observées chez les **invertébrés** sont nombreuses. Pour les crustacés, elles peuvent concerner les comportements d'enfouissement et de déplacement, le comportement alimentaire, la réponse face à un prédateur, la production de sons. Les différents travaux révèlent des effets complexes sur des interactions biologiques entre espèces benthiques sans qu'il n'y ait d'impact majeur en termes de mortalité directe. Chez certains céphalopodes, les réponses comportementales correspondent à des modifications brutales de la nage et à la production de jets d'encre durant les premières secondes d'exposition à des bruits de battage de pieux et de prospections sismiques, mais sans effet avéré à long terme. La tolérance accrue au bruit pourrait aussi altérer les capacités à fuir les prédateurs. Chez les bivalves, l'exposition sonore semble affecter

l'activité valvaire, pouvant aller jusqu'à la fermeture totale des valves, ce qui génère un arrêt de l'activité de filtration ; elle réduit aussi leur capacité à mélanger la surface sédimentaire lors des déplacements.

Les sons ont aussi un impact sur le **développement larvaire et le recrutement des invertébrés**. Ces impacts peuvent s'exprimer tout au long du cycle de vie des invertébrés marins – notamment sur les stades larvaires, paralarvaires et juvéniles – et ils sont étudiés depuis longtemps, même si rarement dans le cas de bruits d'aménagement. Les études montrent par exemple une forte vulnérabilité de certains céphalopodes lors d'expériences en laboratoire, des impacts majeurs sur le zooplancton (avec une mortalité de masse pour les larves de krill) après des prospections sismiques, mais aussi des impacts sur le taux de fixation des larves et des modifications de la dynamique de métamorphose qui peut être retardée ou accélérée pour différentes espèces de faune benthique.

L'impact acoustique se traduit indirectement quand il y a **masquage**, c'est-à-dire lorsqu'un signal d'intérêt ne peut pas être efficacement détecté ou reconnu par un récepteur. La capacité de masquage dépend des caractéristiques du bruit masquant (niveau, bande de fréquence, durée) et de la distance mais des études montrent une diminution des espaces de communication et d'écoute des mammifères marins en présence de bruits anthropiques ainsi que des difficultés pour les poissons à détecter leurs congénères et à communiquer avec eux.

La quatrième partie du rapport d'expertise présente les retours d'expériences concernant l'utilisation des méthodes de réduction des impacts acoustiques. Afin de diminuer l'impact acoustique des opérations de battage de pieux, reconnu comme prépondérant, plusieurs approches et méthodes ont été proposées et testées depuis le début des années 2000. Ces méthodes peuvent aussi être pertinentes pour réduire l'impact d'autres types de travaux (forage, dragage, enrochement, etc.). Ces méthodes peuvent être classées en trois catégories.

Les **méthodes de réduction du niveau sonore à la source** modifient la technique de battage de pieux pour réduire le niveau sonore émis. À l'heure actuelle, il n'existe aucune mesure *in situ* concernant la modification des caractéristiques du battage de pieux. Les seuls résultats connus sont issus de simulations. On sait que prolonger la durée d'un coup de marteau et la durée de contact peut réduire significativement le niveau sonore et permet de décaler le maximum d'énergie à des fréquences plus basses qui sont moins impactantes sur les mammifères marins. Les solutions envisagées consistent à installer des coussins sur le pieu ou à enfoncer les pieux par vibration. Le niveau de maturité de ces techniques est encore faible.

Les **méthodes d'atténuation de la propagation acoustique** consistent à mettre en place des dispositifs autour du pieu pour réduire le niveau transmis. ➔

- Les résultats de tests *in situ* conduisent à préconiser la **méthode du rideau de bulles** qui permet de diminuer le niveau sonore lors du battage de pieux et de minimiser les réactions comportementales des marsouins communs. Elle consiste à injecter de l'air comprimé dans l'eau à travers un anneau de tuyaux perforés entourant le pieu pour libérer des bulles d'air qui modifient la compressibilité de l'eau et ainsi la vitesse de propagation du son. La stimulation des bulles de gaz à leur fréquence de résonance réduit l'amplitude des ondes sonores par dispersion et absorption. Les interactions entre la multitude de bulles d'un rideau augmentent la réduction sonore. Pour remédier aux problèmes liés aux courants, une solution proposée est le rideau de bulles confiné (le rideau de bulles est généré entre la paroi d'un tube d'acier et le pieu lui-même).

- Les **filets équipés de ballons remplis d'air** (*Hydro sound damper*, ou « atténuateur sonore hydro ») sont utilisés pour réduire le bruit continu et le bruit impulsif. Cette méthode permet de contrôler la fréquence de résonance qui est inversement proportionnelle au diamètre des ballons. Cette technique est moins mature que celle des rideaux de bulles, mais elle a l'avantage de ne pas utiliser de compresseurs. Il faut toutefois noter que le système est coûteux, que sa mise en place nécessite des conditions météorologiques clémentes et que son efficacité semble affectée par le courant de marée.

- Les **blocs isolants et batardeaux** ont fait l'objet de tests *in situ* et ont montré leur efficacité pour la réduction du volume sonore de l'opération de battage. La technique consiste à entourer le pieu d'un tuyau en acier (bloc isolant) et il y a différentes variantes (avec et sans air entre le pieu et la couche d'acier, avec des couches supplémentaires de mousse). C'est la réflexion entre l'air, l'acier et l'eau qui permet l'isolation sonore. La difficulté d'installation de ces dispositifs, en particulier à cause du poids de ballast nécessaire, freine cependant leur utilisation.

Les **dispositifs d'éloignement des espèces** visent à faire s'éloigner de la source les espèces sensibles. Le but est de limiter l'impact des sons sur la faune marine en induisant la fuite des animaux avant que l'impact soit effectif. Des tentatives d'évitement de l'impact ont essentiellement été réalisées chez les mammifères marins.

- La méthode dite de « **démarrage progressif** » est principalement utilisée pour le battage de pieux : elle consiste à lancer progressivement la phase de travaux afin de laisser le temps aux mammifères de s'éloigner avant que les opérations atteignent leur pleine puissance.
- Les dispositifs de dissuasion sonore, ou **répulsifs acoustiques**, consistent à émettre des impulsions ou des signaux à modulation de fréquences pour faire fuir les animaux en dehors d'une zone où ils pourraient être exposés à des niveaux sonores élevés. Leurs caractéristiques (type de

signal, fréquence, niveau d'émission) varient selon l'espèce de mammifère marin ciblée. Deux types de répulsifs, communément utilisés pour éloigner les mammifères marins des fermes aquacoles ou des filets de pêche, peuvent être utilisés pour faire fuir les animaux des zones de battage de pieux. Bien que leur efficacité ait été mesurée, en particulier sur les marsouins communs, la préoccupation principale concerne le phénomène d'accoutumance. Il y a des résultats plus mitigés sur les dauphins et il n'y a pas, à ce stade, de retour d'expérience concernant l'efficacité sur les phoques des répulsifs leur étant destinés.

La cinquième partie du rapport d'expertise aborde la question de la conservation des populations de mammifères marins, de poissons et d'invertébrés soumis au bruit anthropique sous l'angle législatif. Cette conservation fait l'objet de divers textes de loi (directive-cadre européenne de 2008 ou DCSMM ; Plan d'action pour le milieu marin de 2012 ou PAMM) qui fixent les conditions à respecter en matière de protection aux impacts sonores. Les projets de travaux, d'ouvrages et d'aménagement des EMR devant faire l'objet d'une étude d'impact et être rendus compatibles avec les objectifs du PAMM, la connaissance des effets acoustiques sur les espèces marines ainsi que des principaux moyens de préservation et de protection constitue un enjeu important pour le développement des EMR. Si le cadre réglementaire est assez clair, les études d'impact souffrent du manque de connaissances sur les espèces, les habitats et leur sensibilité au son en milieu marin. Il faudrait également prendre en compte l'incidence du projet sur la biodiversité ou sur la ressource halieutique, ainsi que le contexte environnemental local, avec l'intégralité des pollutions sonores préexistantes ou chroniques.

La sixième et dernière partie du rapport liste les éléments de connaissances qui manquent pour une bonne compréhension de l'impact acoustique des projets éoliens offshore sur la faune marine. Globalement, la connaissance scientifique sur l'impact des émissions sonore est bonne pour ce qui concerne les impacts forts au niveau individuel, pour les mammifères marins et les poissons. Elle est faible à inexistante pour les effets plus modérés à l'échelle individuelle (dérangement chronique) qui peuvent néanmoins avoir des conséquences importantes au niveau populationnel. On manque également cruellement de connaissances sur les invertébrés.

Des progrès restent à faire pour comprendre les paysages sonores sous-marins et la manière dont les sons s'y propagent. Il faudrait notamment mieux mesurer l'accélération particulière et prendre en compte les vibrations du sous-sol qui ont un impact sur les espèces benthiques. La connaissance des capacités auditives et de production de sons des animaux marins est également très inégale selon les espèces et demande à être complétée pour les invertébrés comme pour les oiseaux et les tortues. L'ensemble de ces connaissances sont essentielles pour déterminer les seuils de bruit provoquant des pertes d'audition temporaires ou permanentes.

Pour compléter l'étude de l'impact des projets éoliens et autres aménagements en mer il faudrait une approche plus globale et systémique, à l'échelle de l'ensemble de l'écosystème marin (les individus, les espèces et leurs interactions), prenant en compte les schémas migratoires et l'ensemble du réseau trophique. La présente étude pourrait aussi être étendue à l'impact en milieu aérien des projets éoliens (bruit et risques de collision) pour toutes les espèces d'oiseaux marins comme cela a été fait pour les chauves-souris.

Les dispositifs et conditions d'expérimentation doivent aussi progresser. La plupart des études publiées sont effectuées en laboratoire, dans des cuves où le champ acoustique complexe est rarement quantifié, ce qui rend difficiles la comparaison des résultats des différentes études et l'extrapolation de l'analyse au milieu marin. Il y a notamment peu d'études exposant des invertébrés marins à une vraie source sonore anthropique en milieu marin.

Enfin, le cadre réglementaire (études d'impact, politique de mitigation, etc.) reste incomplet. La protection nationale des espèces marines est restreinte, notamment concernant les invertébrés et les espèces végétales. Les études d'impact réglementaires des EMR souffrent encore d'un manque de connaissances et de recherches adaptées alors que l'impact acoustique apparaît comme l'un des plus difficiles à établir et que le débat public a besoin d'un éclairage scientifique.

En conclusion, il apparaît que la faune marine (mammifères et poissons) est largement impactée par la pollution sonore anthropique. Trop peu d'informations sont disponibles pour généraliser une réponse des invertébrés mais, à ce stade, l'impact semble moindre.

Quand les données sont disponibles, particulièrement sur les mammifères marins et poissons, les recherches montrent que le bruit peut induire des traumatismes transitoires ou permanents de l'appareil auditif, d'autres types de lésions ou de troubles liés au stress ainsi que des réponses comportementales (réactions d'évitement notamment, changements

concernant l'alimentation, la réaction aux prédateurs, etc.), éventuellement liées au masquage de signaux d'intérêt qui ne sont plus efficacement détectés ou reconnus. Dans certains cas extrêmes, l'impact des bruits d'origine anthropique peut être mortel chez ces mêmes mammifères et poissons.

La nature et la gravité des impacts acoustiques sont cependant très variables d'un groupe taxonomique à l'autre et, au sein d'un groupe, d'une espèce à l'autre. Elles varient aussi en fonction de la source sonore. Les études existantes sont encore trop parcellaires pour permettre de tirer des conclusions générales.

Concernant l'impact acoustique des projets éoliens offshore, il apparaît que les opérations de battage de pieux (phase de construction des éoliennes posées) ont un impact significatif et parfois sévère pour certaines espèces étudiées et sur de grandes distances, d'où l'importance du développement et de la mise en place de dispositifs de mitigation. Les autres opérations des projets éoliens (construction des éoliennes flottantes, exploitation des éoliennes) semblent avoir un impact acoustique plus modéré mais assez variable d'une espèce à l'autre. L'état actuel des connaissances, lacunaire concernant notamment les invertébrés et la vie benthique mais aussi les oiseaux marins et les tortues, ne permet pas de donner de conclusion générale.

Il apparaît essentiel de poursuivre les recherches en acoustique et bioacoustique pour mieux comprendre les systèmes de perception de la faune marine – notamment des invertébrés –, ainsi que les effets du stress acoustique sur les différentes espèces animales et donc sur la biodiversité littorale en incluant les communautés benthiques qui présentent un fort intérêt commercial. Il faut également poursuivre dans la durée, les observations *in situ* pour avoir des retours d'expérience exploitables et quantifiables. La qualité des études d'impact associées aux projets de travaux, d'ouvrages et d'aménagement des installations d'énergies marines renouvelables en dépend.

ANNEXES

Nuage de vase provoqué par le prélèvement d'espèces benthiques à l'aide d'une suceuse pneumatique, dans le fjord Young Sund, aux abords de la station de Daneborg, au Groenland.

© Erwan AMICE/LEMAR/CNRS Photothèque

ANNEXE 1 • LETTRE DE MISSION



GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Reçu le
23 JUL. 2021
PRÉSIDENCE

Paris, le 22 juillet 2021

La ministre de la Transition écologique
La ministre de la Mer
La ministre de l'Enseignement supérieur, de la
Recherche et de l'Innovation

à

Réf : D21005478

Monsieur Antoine PETIT
Président-directeur général du CNRS

Monsieur le Président-Directeur général,

Le développement de l'éolien en mer, priorité du gouvernement français, est susceptible d'avoir de potentiels impacts sur la biodiversité que nous entendons limiter au maximum en application de la séquence ERC (éviter, réduire, compenser).

Les études qui ont été menées estiment que les impacts sur la faune marine seraient limités. C'est en particulier le cas des impacts du bruit et de la turbidité qui ont été étudiés pour le projet de Saint-Brieuc. Pour autant, les impacts restent décrits comme mal connus, alors même que l'éolien en mer se développe largement, notamment en Europe, et que les analyses et retours d'expérience sont de plus en plus nombreux.

Dans ce contexte, il nous paraît utile de mettre en valeur les travaux scientifiques qui ont été réalisés à la fois dans la baie de Saint-Brieuc mais également ailleurs sur la planète dans des circonstances similaires de travaux éolien offshore.

Ainsi, nous souhaitons confier au CNRS, une expertise collective basée sur une étude bibliographique relative à l'impact acoustique des projets éoliens offshore sur la faune marine. Cette expertise pourrait s'appuyer sur les travaux du GT ECUME (effets cumulés de l'éolien offshore), piloté par le MTE (DEB et DGEC), ainsi que sur un test des modèles utilisés par les industriels dans la propagation sonore.

La partie sur les retours d'expérience devra se fonder sur un bilan aussi exhaustif que possible des projets conduits dans les différents pays européens, y compris au Royaume-Uni le cas échéant. Elle tiendra compte également des travaux en cours au large de Saint-Brieuc.

Hôtel de Roquelaure
246 boulevard Saint-Germain
75007 Paris
Tél : 33(0)1 40 81 21 22
www.ecologie.gouv.fr

20, avenue de Ségur
75007 Paris
Tél : 33(0)1 40 81 21 22
www.cohesion-territoires.gouv.fr

Pavillon Boncourt
21, rue Descartes
75005 Paris
Tél : 33(0)1 55 55 10 10
www.enseignementsup-recherche.gouv.fr

Pour cela, vous réunirez un panel de scientifiques effectuant leurs recherches dans plusieurs laboratoires nationaux et internationaux afin de dresser un état des connaissances le plus large possible et de prendre en compte la pluridisciplinarité des recherches existantes. Par ailleurs, le Conseil national de la protection de la nature (CNP) s'étant auto-saisi sur le sujet de l'éolien en mer, vous pourrez échanger avec ses membres impliqués dans la démarche.

Les différentes thématiques scientifiques abordées dans cette expertise sont décrites dans le plan en annexe.

L'étude demandée devra être disponible pour le 31 juillet 2021.

Le document final sera conçu de façon à être accessible à un large public.



Barbara POMPILI



Annick GIRARDIN



Frédérique VIDAL

Annexe : Plan de l'expertise collective

Charte nationale de l'expertise

Préambule de la charte

Ont vocation à adhérer à la présente charte les opérateurs de recherche français, quel que soit leur statut juridique, déjà dotés ou non d'un document qui leur est propre sur ce sujet, sous réserve de la compatibilité de ce document avec les prescriptions de la charte.

La charte a vocation à s'appliquer à toutes les formes d'expertises scientifiques et techniques susceptibles d'être exercées par ces établissements: expertises institutionnelles au sens de la norme AFNOR NF X 50-110, individuelles ou collectives, et ce quelle qu'en soit l'origine : saisine interne, commanditaire public ou privé.

Sans vouloir uniformiser les pratiques d'expertise scientifique et technique des opérateurs de recherche qui y adhèrent, ni méconnaître les documents normatifs dont certains se sont déjà dotés pour encadrer leurs travaux en la matière, la charte se fonde sur le caractère national de la mission d'expertise (au sens de l'article L.411 du code de la recherche).

La charte sera soumise par chaque opérateur à son Conseil d'administration pour approbation. Elle pourra être complétée par tout document compatible, existant ou à créer, de nature à en préciser l'application au contexte d'intervention propre à chaque établissement. Ce document précisera notamment pour chaque opérateur les conditions dans lesquelles il souhaite pouvoir s'affranchir, temporairement ou non, de la charte, notamment pour des raisons qui relèvent de la sécurité publique ou de la défense nationale.

La qualité d'une expertise s'apprécie essentiellement au regard de la compétence et de l'indépendance de ceux qui la conduisent, de la traçabilité des sources utilisées, de la transparence des méthodes mises en œuvre et de la clarté des conclusions.

Le respect des principes communs énoncés par la charte et par les documents spécifiques à chaque établissement est garant de la nécessaire indépendance des experts individuellement ou en collège, et de la protection dont ils doivent bénéficier en cas de mise en cause.

Les cas sont fréquents d'experts amenés à s'exprimer à titre personnel, en amont, en aval ou en parallèle d'une expertise à laquelle ils ont été eux mêmes associés ou non. Les conditions de cette expression relèvent de la déontologie et des textes propres à chaque établissement. C'est pourquoi la charte nationale ne les aborde pas.

ANNEXE 3 • CHARTE FRANÇAISE DE DÉONTOLOGIE DES MÉTIERS DE LA RECHERCHE

Contenu de la charte

Les établissements signataires de la charte s'engagent à respecter les principes suivants :

Article 1 :

Toute mission d'expertise donne lieu à la rédaction :

- * soit, d'une convention cosignée entre le commanditaire et le commandité, qui en précise l'objet, le calendrier et les conditions,
- * soit, en cas de saisine interne, d'un cahier des charges rédigé par l'opérateur concerné et comportant les mêmes mentions.

Article 2 :

L'opérateur s'assure, avant conclusion d'une convention d'expertise, des conditions dans lesquelles l'ensemble des parties concernées par l'expertise y seront associées. En cas d'expertise suite à une saisine interne, il explicite et rend publique la manière dont il entend lui-même s'acquitter de cette obligation.

Article 3 :

L'opérateur rend accessibles les éléments qui fondent la compétence des experts qu'il a désignés ou retenus.

Article 4 :

L'opérateur publie, selon des modalités qu'il lui appartient de déterminer, tout lien d'intérêt entre les experts mobilisés et les parties concernées par l'expertise.

Article 5 :

Le rapport d'expertise mentionne les sources qui fondent les conclusions retenues dans l'expertise. L'opérateur les rend accessibles.

Article 6 :

Le rapport d'expertise doit faire mention des points que l'état des connaissances disponibles ne permet pas de trancher avec une certitude suffisante. Il fait état également des controverses, liées ou non à ces incertitudes. Il peut également apporter des commentaires utiles sur la formulation de la question posée.

Article 7 :

Les opérateurs s'engagent à prendre en compte les activités d'expertise dans l'évaluation des personnels qui y participent.

Article 8 :

Parallèlement, ils s'engagent à promouvoir dans le cadre national, européen et international, les activités d'expertises menées dans le respect des dispositions de la présente charte.

Article 9 :

En cas d'expression en leur sein d'un risque, notamment à caractère environnemental ou sanitaire, les établissements signataires s'engagent à s'en saisir pour rendre un avis sur les suites à y donner en termes d'expertise.

Article 10 :

Les établissements signataires s'engagent à communiquer au Conseil supérieur de la recherche et de la technologie, chargé du suivi d'application de la charte, toute difficulté qui naîtrait de sa mise en œuvre, ce qui pourrait le cas échéant conduire à la faire évoluer.

Charte française de déontologie des métiers de la recherche

Janvier 2015 (ratifications au 13 juin 2019)



Préambule

Dans une société de la connaissance et de l'innovation marquée par l'accélération de la construction et de la transmission des connaissances, par la compétitivité internationale, les organismes et les établissements publics d'enseignement et de recherche occupent une place privilégiée pour contribuer à relever les défis actuels et futurs. Leur responsabilité est de fournir des avancées décisives des savoirs, de les diffuser, de les transférer et de concourir à la mise en œuvre d'une expertise qualifiée, notamment en appui des politiques publiques. La mise en œuvre de cette responsabilité majeure implique la consolidation du lien de confiance avec la société.

L'objectif d'une charte nationale de déontologie des métiers de la recherche est d'explicitier les critères d'une démarche scientifique rigoureuse et intégrée, applicable notamment dans le cadre de tous les partenariats nationaux et internationaux.

Cette charte constitue une déclinaison nationale des principaux textes internationaux dans ce domaine : la Charte européenne du chercheur (2005) ; the Singapore statement on research integrity (2010) ; the European code of conduct for research integrity (ESF-ALLEA, 2011). La charte s'inscrit dans le cadre de référence proposé dans le programme européen HORIZON 2020 de recherche et d'innovation.

Il est de la responsabilité de chaque organisme et établissement public de recherche et d'enseignement de mettre en œuvre cette charte, à travers la promotion de bonnes pratiques en recherche, la sensibilisation et la formation de leurs personnels et de leurs étudiants, l'énoncé de repères déontologiques, la mise en place de procédures claires et connues de tous pour prévenir et traiter les écarts éventuels aux règles déontologiques.

Il appartiendra à chaque institution d'en décliner l'adaptation selon les disciplines et les métiers concernés.

La Charte

La charte nationale de déontologie des métiers de la recherche concerne l'ensemble des femmes et des hommes (désignés dans le texte par le terme générique « chercheur ») d'un établissement ou d'un organisme, permanents ou non, qui contribuent à l'activité de recherche et s'engagent à respecter, dans le cadre des missions de recherche ou d'appui à la recherche qui leur incombent, les principes d'intégrité qui y sont formulés.

1.1 Respect des dispositifs législatifs et réglementaires

Tout chercheur se tient informé des dispositifs législatifs et réglementaires qui régissent les activités professionnelles et veille au respect des textes correspondants, s'agissant notamment des recherches sur l'être humain, l'animal et l'environnement.

2.1 Fiabilité du travail de recherche

Les chercheurs doivent respecter les engagements pris dans le cadre de leur unité de recherche ou dans le cadre de contrats spécifiques. Les méthodes mises en œuvre pour la réalisation du projet de recherche doivent être les plus appropriées.

La description détaillée du protocole de recherche, dans le cadre de cahiers de laboratoire ou de tout autre support, doit permettre la reproductibilité des travaux expérimentaux.

Charte Française de Déontologie des Métiers de la Recherche – janvier 2015 – p. 1/3

Tous les résultats bruts (qui appartiennent à l'institution) ainsi que l'analyse des résultats doivent être conservés de façon à permettre leur vérification.

Les conclusions doivent être fondées sur une analyse critique des résultats et les applications possibles ne doivent pas être amplifiées de manière injustifiée. Les résultats doivent être communiqués dans leur totalité de manière objective et honnête.

Tout travail de recherche s'appuie naturellement sur des études et résultats antérieurs. L'utilisation de ces sources se doit d'apparaître par un référencement explicite lors de toute production, publication et communication scientifiques. Leur utilisation nécessite dans certain cas d'avoir obtenu en préalable les autorisations nécessaires.

3.1 Communication

Les résultats d'un travail de recherche ont vocation à être portés à la connaissance de la communauté scientifique et du public, en reconnaissant les apports intellectuels et expérimentaux antérieurs et les droits de la propriété intellectuelle.

Le travail est le plus souvent collectif et quand c'est le cas, la décision de publication doit être prise de manière collective et conférer à chaque auteur un droit de propriété intellectuelle. La qualité d'auteur doit être fondée sur un rôle explicite dans la réalisation du travail, toutes les personnes remplissant la qualité d'auteur devant l'être. Les contributeurs qui ne justifient pas de la qualité d'auteur selon les critères internationaux doivent figurer dans les « remerciements » insérés dans la publication.

La liberté d'expression et d'opinion s'applique dans le cadre légal de la fonction publique, avec une obligation de réserve, de confidentialité, de neutralité et de transparence des liens d'intérêt. Le chercheur exprimera à chaque occasion à quel titre, personnel ou institutionnel, il intervient et distinguera ce qui appartient au domaine de son expertise scientifique et ce qui est fondé sur des convictions personnelles.

La communication sur les réseaux sociaux doit obéir aux mêmes règles.

4.1 Responsabilité dans le travail collectif

À travers ses activités professionnelles, le chercheur s'engage dans les missions qui lui sont confiées par son employeur, en respectant les règles de bonne conduite en vigueur dans l'institution.

Les responsables de collectif et, plus généralement les chercheurs ayant une mission d'encadrement et de formation, doivent consacrer une attention suffisante pour faire partager le projet collectif, expliciter la contribution et accroître les compétences de chacun dans une dynamique collective.

Le respect dans les relations de travail constitue un comportement à promouvoir. Les discriminations, le harcèlement, l'abus d'autorité relèvent de fautes professionnelles.

La falsification, la fabrication de données, le plagiat sont les manquements les plus graves à l'intégrité. Ils doivent être signalés à l'institution et combattus.

5.1 Impartialité et indépendance dans l'évaluation et l'expertise

Lors de l'évaluation d'un projet de recherche, d'un laboratoire ou d'un collègue, le chercheur examine tous les dossiers avec impartialité, en déclarant ses liens d'intérêt et en se récusant s'il constate un conflit potentiel d'intérêts, incompatible avec l'exercice impartial de l'évaluation. Il est tenu de respecter la confidentialité des délibérations et de s'interdire l'utilisation des données communiquées pendant la procédure d'évaluation.

Charte Française de Déontologie des Métiers de la Recherche – janvier 2015 – p. 2/3

Pour une expertise exercée au titre de l'institution, le chercheur se doit de respecter les termes de la charte nationale de l'expertise et de sa déclinaison à l'échelle de son institution d'appartenance.

6. Travaux collaboratifs et cumul d'activités

Les travaux collaboratifs, en particulier en dehors de l'institution et à l'international, feront l'objet d'accords préalables avec les partenaires publics ou privés et doivent préserver l'indépendance du chercheur, concernant notamment la fourniture de données, leur exploitation, leur propriété intellectuelle et leur communication. Ils mobilisent les mêmes règles déontologiques, impliquant une responsabilité d'intégrité, de transparence et d'honnêteté.

Dans le cas des activités de conseil ou d'expertise menées en marge du travail de recherche, les chercheurs sont tenus d'informer leur employeur et de se conformer aux règles relatives au cumul d'activités et de rémunérations en vigueur dans leur institution. Les liens d'intérêts qui en découlent doivent faire l'objet de déclaration lors des activités de communication.

7. Formation

Les règles déontologiques doivent être intégrées aux cursus de formation, en particulier au sein des cursus de master et de doctorat, et leur apprentissage doit être considéré comme participant à la maîtrise du domaine spécifique de recherche.

- o O o -

CNRS, Impacts acoustiques des projets éoliens en mer sur la faune marine
Compartiments des mammifères marins, des poissons et des invertébrés

Synthèse de l'expertise scientifique collective – Novembre 2021

Directeur de la publication : Antoine Petit, président-directeur général du CNRS
Directeur de la rédaction : Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS

Plaquette éditée par la Direction de la communication du CNRS

Photo de couverture :
© Stock.adobe.com/Brimeux

Impression : IFSeM
Novembre 2021



CNRS

3, rue Michel-Ange 75016 Paris

www.cnrs.fr

