

ATTÉNUATION DU BRUIT SOUS-MARIN PAR **RIDEAUX DE BULLES**



LE BRUIT SOUS-MARIN

Les activités anthropiques qui génèrent des bruits en mer concernent des domaines aussi variés que le transport maritime, les travaux portuaires (déroctage, battage de pieux), les activités militaires (démilitarisation, exercices), les chantiers de travaux (installation des fondations d'éoliennes ou de plateformes, dragage) ou la recherche pétrolière (navires sismiques, canons à air). Ces activités sont en pleine croissance depuis les dernières années et génèrent des bruits qui peuvent être de très forte intensité.

Domaines d'applications



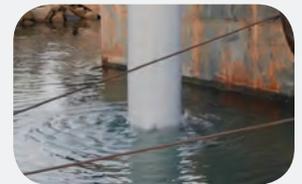
Explosions sous-marines liées à la démilitarisation



Recherche pétrolière



Chantiers offshore



Travaux portuaires

NOTRE EXPERTISE

Nous menons des études permettant d'optimiser votre rideau de bulles pour réduire les effets néfastes du bruit sous-marin généré par votre activité. Notre démarche devance les contraintes législatives et réglementaires à venir. Les compétences pluridisciplinaires de nos équipes peuvent être mobilisées sur vos projets :

- Caractérisation des rideaux de bulles
- Caractérisation de l'environnement
- Impact sur le vivant
- Maîtrise des risques du projet

Réglementation



Dans un contexte de prise de conscience des politiques et du public sur la pollution sonore dans l'environnement sous-marin, les réglementations se durcissent à l'instar de celles adoptées au Canada, aux Etats-Unis, ainsi qu'en Allemagne.

Les mammifères marins sont des espèces protégées par plusieurs conventions internationales (UNCLOS, OSPAR, Convention de Barcelone, HELCOM, CITES, CMS, Convention de Berne).

Le bruit sous-marin généré par les activités anthropiques fait l'objet de nombreuses résolutions de l'Assemblée Générale des Nations Unies depuis 2005.

Dans le paragraphe 162 de la résolution 64/71 sur les Océans et le droit de la mer du 4 décembre 2009, les études et travaux de recherche sur la lutte contre les effets du bruit en mer sont encouragés.

CHIFFRES CLÉS



1500 m/sec
Vitesse du son dans l'eau



170 dB re 1 μ Pa
à 750 m, seuil réglementaire en Allemagne



180 dB re 1 μ Pa
Seuil de blessure du dauphin (norme NMFS)



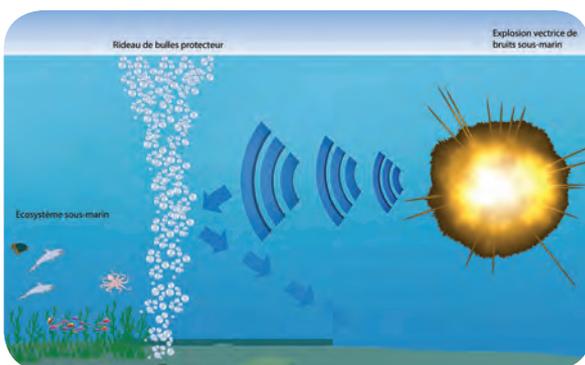
250 dB re 1 μ Pa
Niveau sonore généré par l'explosion de 20 kg de TNT à 1m

CARACTERISATION DES RIDEAUX DE BULLES

Un rideau de bulles consiste en un tuyau percé de trous et alimenté en air comprimé. Le tuyau est placé sur le fond de la mer, et l'air s'en échappant forme un rideau de bulles qui s'élève librement dans la colonne d'eau.

Principe et processus

Le rideau de bulles est un système assez simple composé de tuyaux percés et immergés au fond de l'eau tout autour de la source de bruit. Ces tuyaux sont reliés à des compresseurs et génèrent un panache de bulles s'échappant des orifices. Les bulles d'air ainsi créées absorbent et réfléchissent une partie de l'énergie des ondes de choc, diminuant alors l'amplitude des ondes ainsi que l'énergie de celles-ci.



La grande différence de densité et de vitesse du son entre l'eau et l'air induit un écart d'impédance important.

L'air étant compressible, contrairement à l'eau, les bulles d'air une fois dans l'eau change la compressibilité de l'eau et par ce biais la vitesse de propagation du son dans ce milieu.

La stimulation sonore des bulles de gaz à proximité de leur fréquence de résonance réduit effectivement l'amplitude des ondes sonores rayonnées par effets de dispersion et d'absorption.

Un projet labellisé



L'atténuation des bruits sous-marin a fait l'objet d'un projet de recherche labellisé par le Pôle de compétitivité Mer Bretagne Atlantique: RESIBAD (REduction du Souffle en Immersion par BArrière Diphasique).

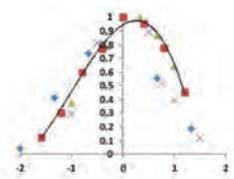
Depuis, cet axe de recherche a été soutenu par la DGA, la région Bretagne, et les industriels.

MESURES EN LABORATOIRE

Nos études ont permis la mise au point d'un banc d'essai expérimental pour la génération d'onde de choc dans l'eau : Un caisson hyperbare se reçoit l'impact d'un projectile propulsé à quelques 100 m/s par un canon pneumatique. Un hydrophone enregistre la pression générée dans l'eau, avec ou sans rideau de bulles.



DE LA CARACTERISATION A LA DECISION

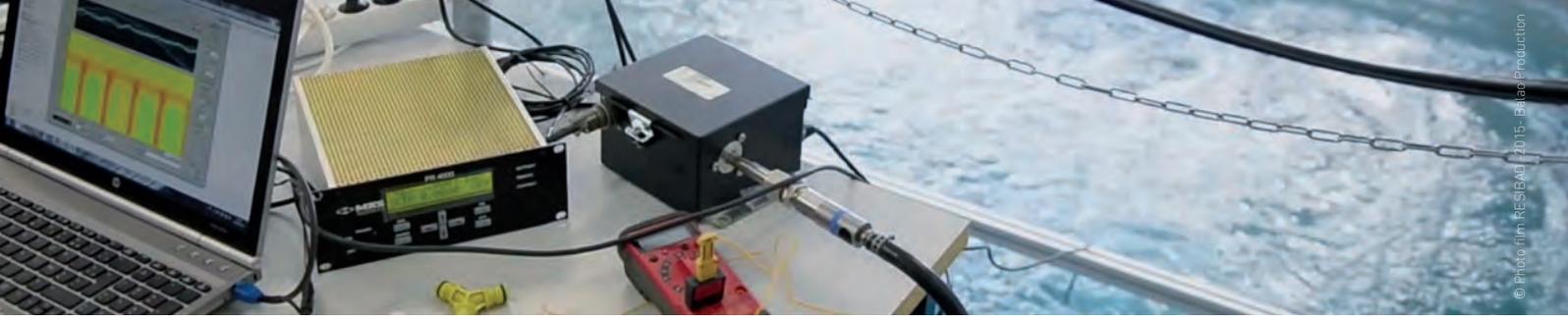


La caractérisation des rideaux de bulles porte sur :

- la mesure de la fraction volumique d'air dans la colonne d'eau pour un dispositif de bullage donné.
- la capacité d'un dispositif de bullage à atténuer les sons.

La première mesure fournit des paramètres d'entrée pour les outils numériques prédictifs développés à l'ENSTA Bretagne. Les mesures de chocs en laboratoire, à l'aide d'un banc d'essai développé pour l'occasion, permettent d'évaluer le pouvoir atténuateur du dispositif de bullage.

Une étude paramétrique a fondé la base d'un outil d'aide à la décision développé par ALTRAN.



© Photo film RESIBAD | 2015 - Eclair Production



CARACTERISATION DE L'ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE

La propagation des ondes acoustiques est conditionnée par les caractéristiques de la masse d'eau (profondeur, salinité, température) et des interfaces (agitation de la surface, composition géologique des fonds marins). Des mesures acoustiques *in situ* permettent de qualifier l'environnement et de déterminer dans quelles conditions les ondes se propagent. A partir de ces mesures, des codes de calcul sont optimisés pour simuler la propagation des ondes dans des conditions spécifiques, et établir des distances d'émergence, distances sur lesquelles le bruit de la source est supérieur au bruit ambiant. L'impact sur le vivant peut également être estimé.

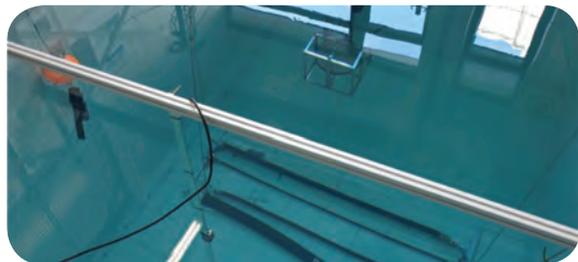
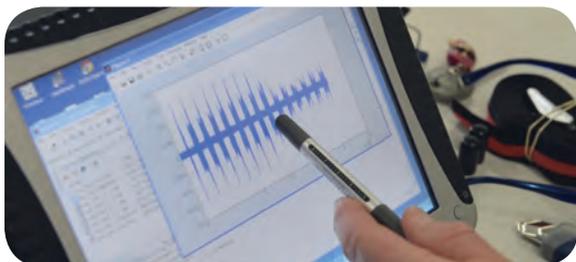
Pour pouvoir simuler la propagation du son émis par une source particulière, il est nécessaire de connaître cette source. Pour cela, des mesures *in situ* ou en bassin peuvent être réalisées. Ces mesures permettent de définir le niveau à la source, c'est-à-dire à un mètre de celle-ci (par convention).

Caractérisation des sources de bruit

Ces mesures acoustiques sont effectuées au moyen d'un hydrophone. Elles sont réalisées *in situ* ou dans un bassin d'essais, tel que celui dont dispose l'ENSTA Bretagne. L'hydrophone est placé à une distance connue de la source qui émet des ondes acoustiques composées de multiples fréquences. L'analyse des données enregistrées par l'hydrophone permet d'établir le spectre de la source acoustique, c'est-à-dire la répartition fréquentielle des niveaux sonores.

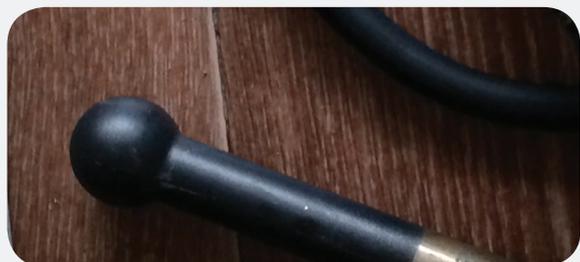
Expérimentation d'un protocole de mesures acoustiques en bassin

Dans le cadre du projet RESIBAD, un protocole de caractérisation de l'atténuation acoustique des rideaux de bulles a été élaboré et testé dans le bassin d'essais de l'ENSTA Bretagne. A l'issue de ces tests, une méthodologie de traitement du signal a été mise en œuvre pour analyser les enregistrements réalisés. Plusieurs tuyaux, qui génèrent des panaches de bulles différents, ont ainsi pu être caractérisés dans des conditions bien contrôlées.



Mesures acoustiques sur des rideaux de bulles

La caractérisation d'un rideau de bulles est réalisé au moyen d'une ou plusieurs sources et d'un ou plusieurs hydrophones. Les mesures sont réalisées avec et sans rideau, de manière à pouvoir établir le taux d'atténuation du rideau. Celles-ci peuvent être réalisées *in situ* ou dans un bassin d'essais.





L'IMPACT SUR LE VIVANT

Les mammifères marins, très sensibles aux bruits générés par les activités anthropiques, sont des espèces protégées. Ce n'est pas le cas des poissons et de certains invertébrés (crustacés et mollusques) qui présentent également une sensibilité variable aux bruits.

Inventaire d'espèces

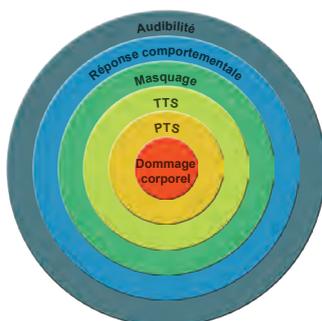
Les mammifères marins, ainsi que les poissons, les crustacés et les mollusques sont capables de percevoir le son et sont donc potentiellement vulnérables aux ondes acoustiques émises par les activités anthropiques.

Sensibilité des espèces au bruit

Les mammifères marins ont une gamme d'audibilité comprise entre 15kHz (ex : baleine boréale) et 200kHz (ex : marsouin commun). De manière générale, les poissons perçoivent les sons compris entre 30Hz et 1000kHz (jusqu'à 5000kHz pour ceux qui ont développé une adaptation particulière). Il existe peu d'information sur la perception des sons par les mollusques et crustacés mais l'on sait aujourd'hui que le son peut influencer la fixation des larves et donc le développement d'une espèce donnée sur un site bruyant.

| Fréquence | Groupes | Gamme d'audibilité | Gamme optimale de réception | Seuil d'audibilité |
|------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| Infrasonique à sonique | Baleines... | 15 Hz à 20 KHz | 20 Hz à 2 kHz | Inconnu. Probablement 60-80 dB re 1µPa |
| Sonique à ultrasonique | Phoques, otaries... | 1 kHz à 20kHz | Très variable | 50 dB re 1µPa |
| Ultrasonique | Dauphins, marsouins... | 200 Hz à 200 kHz | 16 à 120 kHz | 40 dB re 1µPa |

(Ketten, D.K.1998).



(Richardson *et al.*, 1995)

Impact sur les mammifères marins : espèces protégées

Toutes les espèces de mammifères marins sont protégées.

L'impact du bruit sur les mammifères marins dépend de la distance entre la source sonore et l'individu considéré, de la sensibilité de l'espèce (pas de discrimination à l'échelle de l'individu), de la durée de l'exposition au bruit, et de nombreux autres facteurs. Les différents effets que peut engendrer le bruit sur les mammifères marins sont :

- La détection du son (audibilité)
- La réponse comportementale
- Le masquage
- La réaction physiologique
(modification temporaire du seuil d'audibilité - TTS)
- Le dommage corporel
(modification permanente du seuil d'audibilité - PTS)



Expérimentation réalisée sur la coquille St Jacques

L'expérimentation avait pour objectif de comprendre la manière dont un bruit de battage peut impacter les coquilles St Jacques, au niveau cellulaire et d'estimer les niveaux acoustiques pour lesquels des effets peuvent être observables. Des larves de coquilles ont été soumises à des sons représentatifs des bruits de battage (différentes intensités et temps d'exposition). Celles-ci ont été fixées, découpées puis analysées en laboratoire (observation histologique, observation en microscopie à balayage, etc...).

Dans les conditions de l'expérimentation, les résultats obtenus n'ont pas montré d'effet des ondes acoustiques sur les larves exposées.

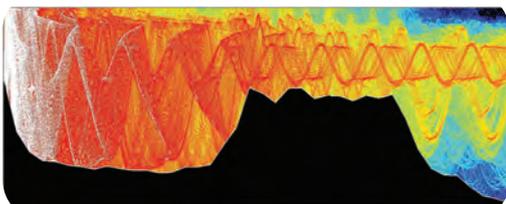


MAÎTRISE DES RISQUES DU PROJET

Les activités inhérentes au développement d'un parc éolien en mer sont génératrices de nuisances sonores qui sont de différentes natures selon les phases du projet (construction, exploitation, démantèlement). L'introduction de bruit dans le milieu marin est considérée comme une forme de pollution, susceptible d'occasionner des dommages, directs ou indirects, sur la faune marine. Le bruit en mer représente donc un risque à maîtriser pour garantir la recevabilité et la pérennité d'un projet.

Evaluation des nuisances sonores

Il convient d'évaluer l'impact acoustique des émissions sonores, et le cas échéant, de définir les moyens de mitigation appropriés. Ce travail consiste : à caractériser les signaux acoustiques qui seront générés par les différentes activités (gamme de fréquences, intensité, répétitivité), à modéliser la façon dont ces signaux vont se propager dans le milieu sous-marin, à estimer l'effet de ces sons sur les espèces animales jugées sensibles (gêne, fuite, blessure).

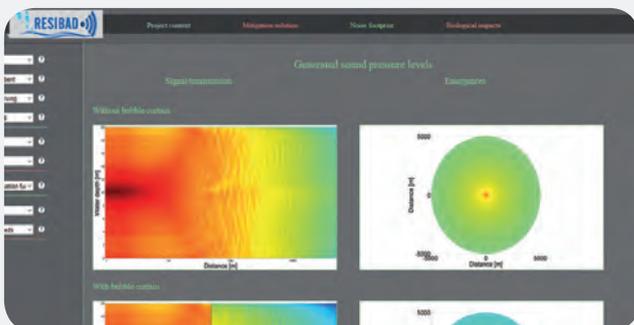
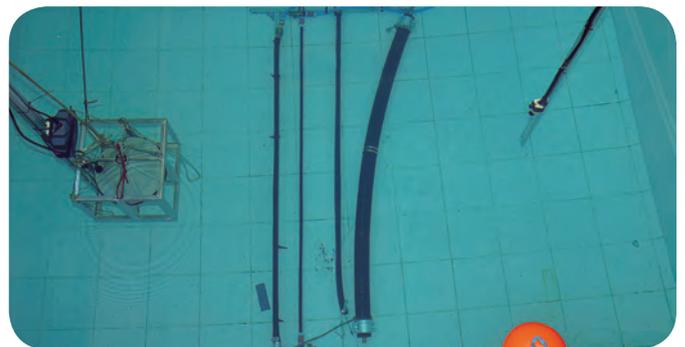


Des mesures doivent ensuite être définies pour éviter, réduire ou compenser les impacts identifiés. Il peut s'agir par exemple de méthodes visant à éloigner les animaux des zones dangereuses (utilisation de dispositifs d'effarouchement, démarrage progressif des émissions sonores...)

Une solution ? les rideaux de bulles

Pour les activités les plus bruyantes, comme le déroctage ou le battage de pieux, il peut s'avérer nécessaire de mettre en place des moyens de réduction tels que les rideaux de bulles pour entraver la propagation des ondes sonores.

Le respect de contraintes réglementaires (seuils sonores à ne pas dépasser) impose de connaître les performances des systèmes d'atténuation envisagés afin de concevoir le dispositif optimal en termes d'efficacité et de coût. La qualification préalable des rideaux de bulles et la modélisation prédictive des niveaux sonores attendus en conditions réelles sont des étapes qui permettent de répondre à ces exigences.



Outils d'analyse prédictive

Les outils développés dans le cadre du projet permettent d'évaluer les performances de différents systèmes de rideaux de bulles en fonction du type de bruit émis et des caractéristiques du milieu environnant. Ces solutions innovantes fournissent une aide précieuse pour le dimensionnement des dispositifs qui seront déployés en mer (type de rideau, nombre d'unités, géométrie du dispositif).

RESIBAD EN QUELQUES MOTS

Le projet RESIBAD a pour objectif de développer une expertise et des outils opérationnels de caractérisation et de validation des rideaux de bulles et autres dispositifs de réduction du bruit sous-marin généré par les explosions et travaux maritimes. Le consortium portant ce projet est composé de SETC IN VIVO, l'ENSTA BRETAGNE, ALTRAN OUEST et AILES MARINES. L'expertise développée s'étendra à la conception, la réalisation et la certification de dispositifs anti-bruit ou réducteurs du bruit.



Témoignage Raphaël Dufeu

« Ailes Marines, qui porte le projet éolien en mer de St-Brieuc, s'est impliquée dans RESIBAD avec un double intérêt pour un porteur de projet : participer à l'amélioration des connaissances dans le domaine de la réduction du bruit, et anticiper les évolutions réglementaires futures, dans le domaine de l'acoustique en mer. »

Un projet concret

Lauréate en avril 2012 pour le projet de parc éolien en mer de la Baie de Saint-Brieuc, AILES MARINES a pris en main son développement, sa construction, son installation et son exploitation.

Ailes Marines souhaite minimiser les impacts de son projet sur l'environnement maritime.

Ainsi, Ailes Marines a réalisé une étude d'impacts complète sur la zone d'implantation du parc, en particulier sur la ressource halieutique et le benthos, permettant ainsi d'améliorer les connaissances sur cette zone.

Pour en savoir plus...

GRANDJEAN, Hervé. Propagation d'une onde de choc dans un liquide aéré: modélisation et application aux rideaux de bulles. 2012. Thèse de doctorat. Université de Bretagne Occidentale-Brest.

<http://www.theses.fr/2012BRES0035>

Le film RESIBAD

https://youtu.be/WA6s7c__BIs

Site web Pôle Mer Bretagne

www.pole-mer-bretagne-atlantique.com

Richardson, W. J., Green Jr, C. R., Malme, C. I., & Thomson, D. H. with contributions by SE Moore and B. Wiirsig. 1995. *Marine mammals and noise*.
Ketten, D.K. (1998). *Marine mammal auditory systems: a summary of audiometric and anatomical data and its implications for underwater impacts*, NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-256, 74 p.

CHIFFRES CLÉS



4

années d'études



13 rapports

3 communications scientifiques



4

expérimentations



830 k€

investissements en R&D

Ils nous soutiennent...



Ils en parlent...

Les Échos

«Des rideaux de bulles comme murs antibruit» 14/12/2010

Sciences ouest

«Des bulles pour couper le son» N°310-06/2013

Sciences et avenir

«Des rideaux de bulles pour atténuer les sons» N°826-02/12/2015

RESIBAD Benthos
Aide à la décision
Analyse prédictive
Mammifères marins
Propagation acoustique
Modélisations acoustique
Rideaux de bulles Faune marine
Acoustique sous-marine
Sensibilités des espèces
Sources acoustiques **Etudes d'impact**
Systèmes de mitigation
Evaluation des impacts
Essais en bassin
Démonstrateur acoustique
Protocoles de mesures
Evaluation des nuisances
Modèle physique
Caractérisation de l'environnement
Seuils réglementaires
Maîtrise des risques du projet
Mesures in situ

CONTACTEZ-NOUS

Guillaume JACQ :
guillaume.jacq@invivo.setec.fr
+33 (0)2 98 51 47 66
www.invivo-environnement.com

Michel ARRIGONI :
michel.arrigoni@ensta-bretagne.fr
+33 (0)2 98 34 89 78
www.ensta-bretagne.fr

Laurent RICHIER :
laurent.richier@altran.com
+33 (0)2 98 05 71 90
www.altran.fr