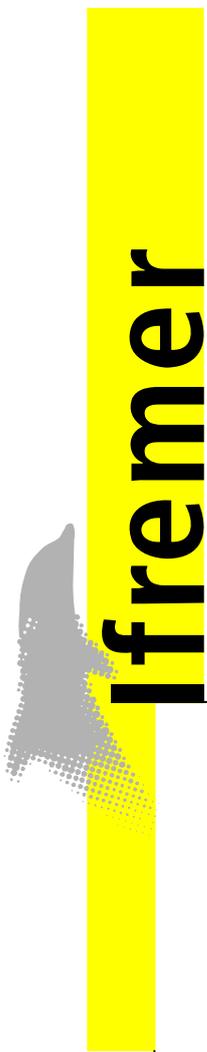


Direction des Opérations - Centre de Brest
Département Navires et Systèmes Embarqués

Xavier LURTON
Loïc ANTOINE

Avril 2007 - DOP/CB/NSE/AS/07-07

Découvrez plus de documents
accessibles gratuitement dans [Archimer](#)



Ifremer

Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie

Rapport Final

Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie

Rapport final

Résumé

L'emploi des systèmes acoustiques dans les diverses activités humaines en milieu océanique (industrielles, de défense, scientifiques) pose le problème de leur impact sur les populations de mammifères marins. L'évidence de plusieurs événements graves liés à l'utilisation de sonars navals a amené les communautés militaires, industrielles et scientifiques à s'interroger sur les dangers potentiels de leurs propres activités.

Le présent rapport tente de cerner les risques, pour les Cétacés, liés à l'emploi des systèmes acoustiques et sismiques couramment mis en œuvre pour la recherche océanographique. L'analyse proposée ici reste à un niveau de synthèse bibliographique et de modélisation élémentaire, et n'offre pas d'éléments scientifiques nouveaux sur la question.

On commence par donner un panorama de la situation des populations de cétacés et des agressions sonores qui les menacent. Les risques acoustiques sont répertoriés et décrits, en insistant sur les cas avérés d'échouages massifs. L'état actuel de connaissances sur les caractéristiques auditives des cétacés est résumé, et la définition d'un seuil objectif de risque acoustique est discutée ; on retient par défaut les valeurs de seuils généralement admises actuellement, en dépit de leurs limitations évidentes.

© Ifremer

Hormis les cas expressément prévus par le Code de la Propriété Intellectuelle au titre de l'article L.122-5 2° d'une part et de l'article L.122-5 3° d'autre part, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite (article L.122-4) » et qu'une telle représentation ou reproduction constitue un délit de contrefaçon sanctionné par deux ans d'emprisonnement et 150 000 euros d'amende. L'Ifremer se réserve le droit à réparation de tout préjudice subi.

© Ifremer

All rights reserved. No part of this work covered by the copyrights herein may be reproduced or copied in any form or by any means – electronic, graphic or mechanical, including photocopying, recording, taping or information and retrieval systems- without written permission.

sommaire

On analyse ensuite les caractéristiques d'émission des divers systèmes acoustiques et sismiques utilisés en océanographie, en mettant l'accent sur ceux mis en œuvre par l'Ifremer ; pour ceux qui seraient potentiellement nocifs au regard des critères retenus, une modélisation du champ acoustique rayonné est proposée, permettant de prévoir l'extension des zones de risque. Cette analyse conclut à l'innocuité de la plupart des systèmes, exception faite de la sismique lourde et dans une moindre mesure des sondeurs multifaisceaux basse fréquence.

Enfin on présente et on discute la panoplie des mesures de protection envisageables ; on passe en revue les mesures de protection réglementaires mises en œuvre dans certains pays. Le rapport se termine par des recommandations soit de mesures à court terme pour limiter les éventuels risques actuels, soit d'actions à plus long terme pour participer à l'effort général de recherche scientifique et technique dans ce domaine.

Sommaire

1. Les mammifères marins et les menaces liées à l'activité humaine

- 1.1 Présentation descriptive des mammifères marins
- 1.2 Evolution des populations, espèces menacées
- 1.3 Les différentes causes de mortalité liées à l'activité humaine
- 1.4 Evénements avérés liés à l'environnement sonore
- 1.5 Résultats des analyses et autopsies, hypothèses sur les causes d'échouages

2. Les sons d'origine humaine dans le milieu marin (généralités)

- 2.1 Le trafic maritime
- 2.2 Les sonars
- 2.3 L'exploration sismique
- 2.4 L'océanographie
- 2.5 L'appareillage répulsif

3. L'audition chez les Cétacés

- 3.1 Le système auditif
- 3.2 Signaux acoustiques chez les mammifères marins
- 3.3 Audiométrie des Cétacés

4. Analyse des risques acoustiques

- 4.1 Position du problème
- 4.2 Les seuils réglementaires actuels
- 4.3 Paramétrage du critère de risque
- 4.4 Quantification du risque : synthèse et perspective
 - 4.4.1 Avancement actuel
 - 4.4.2 Evolutions des critères NMFS
 - 4.4.3 Prise en compte par l'Ifremer des seuils de risque

5. Analyse de la nocivité potentielle des systèmes acoustiques de l'Ifremer

- 5.1. Caractéristiques des outils d'investigation acoustique et sismique

sommaire

- 5.1.1. Sismique
- 5.1.2. Sondeurs de sédiments
- 5.1.3. Sondeurs multifaisceaux
- 5.1.3. Autres systèmes
- 5.2. Analyse du champ acoustique rayonné
 - 5.2.1. Sismique
 - 5.2.2. Sondeurs de sédiments
 - 5.2.3. Sondeurs multifaisceaux
- 5.3. Analyse et conclusions

6. Mesures préventives de protection

- 6.1. Présentation des mesures possibles
 - 6.1.1. Changement de technologie
 - 6.1.2. Modification des émissions
 - 6.1.3. Détection visuelle par des observateurs
 - 6.1.4. Sonars spécialisés pour la détection de cétacés
 - 6.1.5. Régime de démarrage
 - 6.1.6. Répulsifs acoustiques
- 6.2. Dispositifs de prévention en place aujourd'hui
 - 6.2.1. Cadre réglementaire
 - 6.2.2. Initiatives hors réglementation nationale

7. Conclusions générales et recommandations

Bibliographie

- Annexe 1 – Documentation extraite de la littérature
- Annexe 2 – Niveaux acoustiques : définitions
- Annexe 3 – Un exemple d'évaluation du risque lié à l'usage des technologies acoustiques : l'approche du SCAR
- Annexe 4 – Capacité d'évasion en configuration de *ramp-up*
- Annexe 5 – Instructions US pour demande d'autorisation de "prise" de mammifères marins aux fins de préparer une étude d'impact environnemental (EIS)
- Annexe 6 – Procédures opérationnelles définies par le JNCC
- Annexe 7 - Extrait des procédures opérationnelles définies par le NURC

1. Les mammifères marins et les menaces liées à l'activité humaine

1.1. Présentation descriptive des mammifères marins

Les mammifères marins appartiennent à trois ordres de la classification animale : les Carnivores, les Siréniens et les Cétacés. Les Carnivores marins passent une partie de leur temps sur terre ou sur la glace. Les Pinnipèdes (phoques, otaries, éléphants de mer) et les ours polaires en font partie. Les Siréniens (dugongs, lamantins) sont des herbivores vivant en eaux chaudes. L'ordre des Cétacés comprend deux principaux groupes : les mysticètes, ou baleines à fanons (baleines, rorquals : une dizaine d'espèces vivantes) et les odontocètes ou baleines à dents, regroupant environ 70 espèces telles que cachalots, orques, dauphins, marsouins, baleines à bec... La plupart des odontocètes sont marins ; il existe cependant quelques espèces d'eau douce (Gange, Amazone). Le présent document s'intéresse aux Cétacés.

Les Cétacés vivent et se reproduisent en pleine eau. Ils peuvent vivre toute ou partie de leur vie en troupes (hordes). Tous les Cétacés sont des carnivores. Leurs proies peuvent être de petite taille (krill, petits poissons pour les Mysticètes), comme de grande taille (thons, phoques pour les orques). Certaines espèces se sont spécialisées : les cachalots et les baleines à bec se nourrissent quasi exclusivement de calmars.

Bon nombre d'espèces de grands Cétacés partagent leur vie entre plusieurs zones océaniques, parfois distantes de plusieurs milliers de kilomètres, qu'elles rejoignent saisonnièrement par des migrations selon des routes précises et régulières. Chez les Mysticètes, les eaux froides à forte productivité biologique sont des aires d'alimentation ; les eaux chaudes sont les aires de mise bas et de premiers soins aux jeunes. Le besoin de rejoindre les eaux chaudes n'est pas expliqué aussi clairement que le séjour en eaux froides. L'optimisation thermique pour les jeunes, la protection des jeunes contre certains prédateurs (comme les orques) sont parmi les hypothèses avancées (Stern, 2002). Le mégaptère ou baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*, Humpback whale), espèce présente dans tous les océans, peut parcourir plus de 9000 km entre ses aires de résidence : depuis le Groenland, l'estuaire du St Laurent, Terre Neuve, jusqu'aux îles de la Caraïbe en Atlantique Nord, des côtes du Japon ou de la mer de Bering jusqu'au Mexique au sud de la péninsule californienne dans le Pacifique Nord, depuis l'océan Antarctique jusqu'au canal de Mozambique en hémisphère sud et océan Indien. Certaines de ces aires et de ces routes sont connues depuis le XIX^e siècle par les baleiniers, dans les temps modernes par les navigateurs et par l'écotourisme. Le projet d'installation des émetteurs-récepteurs du programme scientifique ATOC (voir § 2.4) à proximité des routes migratoires du mégaptère dans l'archipel d'Hawaii a été le point de départ d'une vigoureuse opposition des environnementalistes Nord-américains, qui a largement contribué à l'abandon du projet.

Les baleines à bec sont probablement les espèces les plus sensibles aux sons d'origine humaine. Il en existe 21 espèces recensées, mais il pourrait en exister d'autres : ce sont les Cétacés les moins connus. Très discrètes, elles sont difficiles à observer, à tel point que certaines espèces ne sont connues que par les échouages. Elles vivent aux marges

du talus, près de fosses ; elles plongent longtemps et profondément. Elles ont une bouche sans dent ou avec une paire de dents vestigiales, particularités qui en font des animaux à régime alimentaire très spécialisé : les baleines à bec se nourrissent principalement de calmars. La baleine à bec de Cuvier est la plus largement distribuée : elle a été recensée dans les trois océans, depuis les mers polaires jusqu'aux tropicales. C'est probablement une des raisons pour lesquelles elle est plus souvent vue que les autres baleines à bec, y compris échouée (Klinowska, 1991).

1.2. Evolution des populations, espèces menacées

La plupart des espèces de Cétacés figurent sur les listes d'espèces menacées, soit parce que l'effectif des populations est jugé trop bas, soit par précaution parce qu'elles sont insuffisamment connues (Klinowska, 1991). Le caractère parfois extrêmement discret de certaines espèces rend leur étude très difficile. La taille des populations varie fortement selon les espèces (voir tableau 1 en annexe). Certains dauphins peuvent se trouver en populations atteignant plusieurs dizaines (voire centaines) de milliers d'individus. Les Cétacés de grande taille (baleines, cachalots) ou à régime alimentaire spécialisé (baleines à bec) sont en effectifs beaucoup plus faibles, qui ont été affectés drastiquement par 150 ans d'exploitation intensive des baleines et cachalots. La durée de vie (plusieurs décennies), la durée de gestation (1 à 2 ans selon les espèces), la faible fécondité, la place élevée dans l'échelle trophique, sont des facteurs qui fragilisent ces espèces en cas de fortes mortalités.

1.3. Les différentes causes de mortalité liées à l'activité humaine

La chasse

Depuis les temps les plus anciens, l'Homme a chassé les baleines et les dauphins, en raison de l'intérêt que présentent ces animaux pour la fourniture de viande et, particulièrement au XIX^e siècle pour la fourniture d'huile de baleine, avant l'usage du pétrole. La chasse aux baleines, élevée à un stade industriel dès le XIX^e siècle, a conduit à la réduction drastique de nombreuses espèces, voire à la disparition de certaines. La Commission Baleinière Internationale (CBI), créée en 1946, étudie les Cétacés et évalue les populations ; les pays qui en sont membres adoptent par vote les mesures de gestion qu'elle propose. La chasse des Cétacés est actuellement suspendue par un moratoire voté par la CBI (ou IWC) en 1982 et entré en vigueur en 1985, et seules les « chasses aborigènes de subsistance » sont autorisées. Au titre de ces chasses de subsistance, quelques pays bénéficient encore d'un droit de chasse : le Danemark (pour le Groenland), le Canada, la Russie, les USA pour les régions circumpolaires, les Iles caraïbes de St-Vincent et Grenadines. L'ensemble représente une capture annuelle de 200 à 400 baleines depuis 1985, et concerne principalement le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*, Minke whale), la baleine grise (*Eschrichtius*

robustus, Grey whale) et la baleine franche du Groenland (*Balaenoptera mysticetus*, Bow head whale). Mais il existe aussi une exception « à titre scientifique » (le permis spécial), qui ne fait pas partie des propositions de la CBI, mais que le Japon s'auto-délivre depuis 1986 (mais aussi dans une moindre mesure la Norvège et l'Islande, dans les années 1980), et qui concerne principalement le petit rorqual. Les captures totales sont en croissance quasi constante depuis 1990 et atteignent 780 individus (dont 626 petits rorquals) en 2004/2005. Enfin, la Norvège s'octroie depuis 1986 un droit de « capture commerciale » du petit rorqual, qui dans les années 2000 varie de 487 à 647 individus/an. (IWC-CBI, 2005).

La pêche

Les pêches commerciales peuvent capturer accidentellement des mammifères marins, en particulier les pêcheries de filets, mais aussi de senne ou de chalut. La pêche du thon tropical à la senne dans l'océan Pacifique Centre Est provoquait une mortalité annuelle de 100 000 à 140 000 dauphins dans les années 1980, mortalité à présent réduite à moins de 2 000. Cette réduction a été rendue possible par la mise en place d'un programme d'évaluation et de suivi et une amélioration de la technique de pêche. En Europe, les filets dérivants utilisés pour la pêche de grands poissons pélagiques (thon blanc en golfe de Gascogne, thon rouge et espadon en Méditerranée) capturaient annuellement plusieurs milliers de dauphins (1 700 par an pour la seule pêcherie française de thon blanc dans le golfe de Gascogne en 1992-93). Ils ont été définitivement interdits en 2002 par la Commission européenne. La pêche au chalut pélagique telle que pratiquée en Manche et dans le golfe de Gascogne est à l'origine d'une part des échouages de dauphins constatés sur les côtes.

Les autres causes

L'accroissement du trafic maritime a augmenté les risques de collision entre navires et grands Cétacés, notamment sur les trajectoires de migration. Dans certains parages à forte fréquentation, les routes maritimes ont été déviées (baie de Fundy au Canada), ou des systèmes d'écoute ont été mis en place (Iles Canaries).

L'écotourisme sous la forme de contact direct (*whale watching*) s'est fortement développé dans les secteurs où se concentrent les Cétacés et particulièrement les baleines. Cette activité, lorsqu'elle est pratiquée sans règle, est soupçonnée de perturber gravement les Cétacés. Plusieurs pays ont strictement réglementé cette activité.

Les mortalités décrites ci-dessus ont une origine humaine avérée puisque attribuables à la chasse, à la pêche ou à d'autres accidents causés par l'activité anthropique. Néanmoins, toutes les causes de mortalité de Cétacés constatées à partir des échouages ne sont pas expliquées par l'action de l'homme. Des pathologies infectieuses (Duguay *et al.*, 1988) ayant entraîné la mort ou un affaiblissement fatal ont été diagnostiqués sur des Cétacés échoués : vers parasites dans les sinus, entraînant une inflammation puis la destruction de l'os (Dhermain, 2000), épizooties de type *Morbilivirus*, germe proche de la maladie de Carré du chien (Tremblay *et al.*, 1998). Des perturbations naturelles du champ magnétique ont été invoquées pour expliquer des échouages par perte de repères ; ceci reste encore à prouver.

Enfin, des perturbations sonores d'origine humaine (sismique pétrolière, sonars basses fréquences de forte puissance) sont probablement à l'origine d'échouages, dont certains ont fait l'objet d'observations et d'enquêtes scientifiques. Nous examinerons donc de manière plus détaillée les perturbations sonores et leurs effets sur les mammifères marins.

1.4. Événements avérés liés à l'environnement sonore

Les échouages de mammifères marins ne sont pas des phénomènes récents. Les échouages connus comportant des baleines à bec, dont on pense à l'heure actuelle qu'elles sont particulièrement sensibles aux émissions sonores, sont récapitulés dans le tableau 2 en annexe. Depuis les années 90, il est vérifié que des échouages, majoritairement de baleines à bec, sont corrélés avec des exercices navals mettant en œuvre des sonars actifs de forte puissance, et parfois également liés à des tirs sismiques. Les événements les plus récents ayant fait l'objet d'observations vérifiées sont les suivants (NOAA 2001, MMC 2003, ICES 2004, Van Dyke *et al.*, 2004) :

Grèce, 12-13 mai 1996 : 12 baleines à bec de Cuvier s'échouent sur les côtes du golfe de Kyparissiakos, une autre est retrouvée décomposée deux semaines plus tard sur l'île de Zakynthos. Ces événements sont rapprochés des essais de l'*Alliance* (navire expérimental de l'OTAN) du 11 au 15 mai, avec utilisation d'un LFAS (*Low Frequency Active Sonar* : 230 dB re 1 μ Pa @ 1m ; 250-3000 Hz).

Bahamas, 2000 : échouage de 17 Cétacés de diverses espèces (baleines à bec de Cuvier, baleines à bec de Blainville, petits rorquals, dauphins tachetés) ; répartis sur 240 km découverts en 36 h. La corrélation est clairement établie avec l'emploi de sonars moyenne fréquence. 5 navires militaires utilisaient des sonars actifs, les plus dangereux émettant des signaux de 235 dB à 2,6 et 3,3 kHz. Les Cétacés échoués n'auraient subi que des niveaux de l'ordre de 165 dB re 1 μ Pa. Par contre les conditions semblent avoir été spécialement néfastes : fort chenal de surface et bathymétrie faible augmentant l'effet de confinement des ondes sonores et limitant les possibilités d'évitement par les baleines ; emploi simultané de plusieurs systèmes sonars. Des analyses sur prélèvements de tissus ont été pratiquées.

Golfe de Californie, septembre 2002 : échouage de deux baleines à bec de Cuvier lors d'une campagne scientifique de géophysique (*R/V Maurice Ewing*) utilisant la sismique avec canons à air et haute intensité (niveau équivalent jusqu'à 263 dB re 1 μ Pa @ 1 m). La concomitance des faits suggère que les émissions des canons à air en sont la cause, mais il n'y a pas eu d'autopsie faute d'accès aux cadavres. La campagne a été suspendue, et la NSF (financier de la campagne) attaquée en justice pour violation du *National Environment Act* et du *Marine Mammal Protection Act*. Cet événement a contraint les promoteurs de campagnes sismiques destinées à la recherche géophysique (dont la *Scripps Institution of Oceanography* et le *Mineral Management Service*) qui doivent désormais obtenir l'autorisation de « prise occasionnelle » (*incidental catch*), appelées aussi autorisation de harcèlement

occasionnel (*Incidental harassment authorization*). Ces autorisations sont délivrées par l'Administration après examen par le NMFS¹.

Canaries, 24 septembre 2002 : échouage de 14 baleines à bec à proximité du site d'un exercice naval (*Neo Tapon*). Les échouages commencent 4 heures après le début de l'exercice. L'autopsie montre la présence de bulles gazeuses (sang, foie) analogues à une embolie gazeuse consécutive à un à accident de décompression (les autres causes sont rejetées à l'analyse). On note qu'il y a eu 4 échouages massifs dans cette zone en 20 ans, chacun coïncidant avec des essais de l'OTAN.

Canaries, juillet 2004 : 4 baleines à bec de Cuvier échouées sont découvertes, en partie décomposées, mais dont l'analyse de certains tissus suggère le même type d'embolie qu'observée en 2004. L'observation coïncide avec l'exercice naval *Majestic Eagle 04*.

Golfe d'Alaska, juin 2004 : 6 baleines à bec s'échouent, l'événement coïncide avec l'exercice naval *Northern Edge 04*.

Caroline du Nord, 15 janvier 2005 : 37 animaux échoués sur le rivage du Cap Hatteras (35 baleines pilotes ; 2 cachalots nains le lendemain, à environ 50 km de l'échouage principal). La corrélation avec l'emploi de sonars navals est possible mais n'est pas établie clairement : d'après l'U.S. Navy des exercices avaient bien lieu en même temps, mais à grande distance des échouages (de l'ordre de 200 milles). Même si sa responsabilité est dégagée, cet échouage intervient de manière embarrassante pour la Marine américaine qui projette d'installer une zone permanente (500 milles carrés) d'exercice sonar dans cette même zone au large des côtes de Caroline du Nord.

1.5. Résultats des analyses et autopsies, hypothèses sur les causes des échouages

Les lésions trouvées dans les tissus chez les trois espèces de baleines à bec autopsiées suite aux échouages des Canaries en 2002 ont été décrites (Jepson *et al.*, 2003). Des hémorragies micro vasculaires et des bulles intravasculaires ont été trouvées dans plusieurs organes.

Selon MMS (2004), deux hypothèses peuvent être faites sur la raison des échouages et les lésions constatées : i) un effet de choc dû à la résonance, ii) un accident de décompression.

i) La résonance comme effet de choc : peut-il y avoir, chez les Cétacés, un phénomène de résonance dans les tissus où se trouve de l'air (poumons, trachée, sinus, oreille moyenne) ? La résonance est utilisée par certaines espèces de poissons à vessie natatoire (ex. : églefin) pour attirer un partenaire au moment du frai ; ou encore par la baleine bleue pour certaines vocalisations, utilisant le volume aérien des poumons et de la trachée comme un résonateur de Helmholtz (hypothèse de Aroyan, 2000, in MMS 2004). Comme chez tout mammifère, l'oreille moyenne des Cétacés contient de l'air. Dans l'eau, les sons se déplacent en ondes de compression ; lorsque celles-ci atteignent une interface eau-air (vessie gazeuse, oreille moyenne), la frontière flexible

¹ National Marine Fisheries Service, de la NOAA.

entre les deux milieux offre peu de résistance à la transmission de l'onde, hormis celle des tissus délimitant la cavité. L'agitation particulière dans la cavité aérienne peut se trouver fortement amplifiée si la fréquence de l'onde incidente permet l'excitation de modes propres de résonance. Un changement brutal de type surpression-décompression peut alors créer un traumatisme. Toutefois n'y a pas de preuve formelle qu'un tel phénomène de résonance soit à l'origine des échouages des Bahamas et des Canaries.

ii) L'accident de décompression. L'hypothèse est fondée par analogie avec la physiologie de la plongée humaine. Les autopsies des Bahamas et des Canaries ont montré la présence de sang dans l'oreille interne des baleines à bec trouvées échouées. L'adaptation des mammifères marins à la plongée leur donnerait une aptitude à contrôler la pénétration tissulaire de micro-bulles, par une sorte de « revêtement », qui pourrait être endommagé par des impulsions sonores « hors limites » (Potter, 2003, in MMS). Une embolie gazeuse s'en suit ; les graisses liquides tissulaires peuvent alors pénétrer dans les vaisseaux, s'agglutiner et provoquer une embolie graisseuse, détectable seulement à l'autopsie. Des signes d'embolie graisseuse ont été trouvés sur les cadavres échoués aux Bahamas et aux Canaries, faisant penser à un accident de décompression.

Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de dire si l'effet des ondes sonores émises est direct, c'est-à-dire que l'énergie du son a provoqué par effet de résonance un brusque dégazage dans les tissus de l'animal comme dans une vessie gazeuse de poisson, ou un effet indirect provoqué par une panique par exemple, amenant à une réaction de remontée brutale de l'animal de grande profondeur et entraînant ainsi un accident de décompression avec formation de bulles d'azote dans les tissus. Le fait que les baleines à bec soient plus souvent touchées vient peut-être du fait que ce sont parmi les espèces qui vont le plus profond, et qui pourraient donc réagir comme supposé ci-dessus. (Thierry Jauniaux, comm. pers.).

Les différents auteurs recommandent de pratiquer systématiquement des autopsies à la recherche de traces d'embolie gazeuse ou graisseuse sur les animaux suspectés de s'être échoués au cours d'exposition aux sonars, et comparer à d'autres sans sonar.

Synthèse

La pression anthropique sur les populations de Cétacés a notablement évolué au fil des siècles. Elle a été longtemps centrée sur la chasse, traditionnelle puis industrielle dont les effets dévastateurs sur les populations de grands Cétacés ont culminé de la fin du XIX^e à la première moitié du XX^e siècle). Elle est aujourd'hui plutôt une retombée des activités maritimes (commerciales, militaires, industrielles, de loisir, voire scientifiques), lesquelles ont accru leur pression de manière quantitative (augmentation du trafic maritime, de l'activité industrielle côtière et offshore) et qualitative (nouveaux risques technologiques). L'effet de mortalité directe liée à l'emploi de systèmes sonars de forte puissance a été avéré au cours des années passées sur un nombre significatif d'événements. Il semblerait toutefois que ce risque ne soit associable qu'à une proportion relativement faible de la mortalité non-naturelle des Cétacés. Il affecte principalement certaines espèces déjà fragilisées, dont les baleines à bec

2. Les sons d'origine humaine dans l'environnement marin

N.B. L'Annexe 2 donne les définitions des grandeurs et unités acoustiques utilisées dans la suite.

Il existe dans l'environnement marin une quantité de sons et de bruits naturels, qui ont pour origine le vent, les vagues, les précipitations, les mouvements de la glace, les tremblements de terre et éruptions volcaniques, ainsi que les sons émis par les organismes vivants (poissons, crustacés, et bien sûr mammifères marins – voir §3.2.). Les sons font partie de l'environnement, et donc de l'habitat des mammifères marins (Richardson *et al.*, Hildebrand).

Cet environnement sonore naturel est complété (et souvent même masqué) par les sons d'origine humaine, issus de multiples origines, que l'on peut classer ainsi :

2.1. Le trafic maritime

A basse fréquence (5-500 Hz), la navigation motorisée est la principale source de sons d'origine humaine dans les océans. D'après les registres de la Lloyds, citée par Hildebrand (2004), 93 000 navires marchands naviguent en permanence, dont 11 000 de gros tonnage (superpétroliers, porte-conteneurs...), considérés comme les plus bruyants. La FAO (2004) dénombre 1,3 million de navires de pêche pontés et motorisés, 2,8 10⁶ navires de pêche non pontés, dont 1 10⁶ motorisés, soit un total de 2,3 millions de navires de pêche motorisés. Les "grands" navires de pêche (plus de 100 TJB) sont environ 24 000 dans le monde.

L'augmentation continue du trafic maritime au fil des années se traduit logiquement par une hausse du niveau sonore permanent dans les océans, même si l'amélioration des technologies de construction va dans le sens d'une diminution des niveaux individuels de bruit rayonné par les navires. L'ordre de grandeur de l'augmentation moyenne depuis un demi-siècle serait de 10 dB dans la gamme des centaines de Hz. Il est vraisemblable que les capacités de communication à grandes distances des mysticètes s'en trouvent affectées. Toutefois les conséquences d'une telle augmentation du niveau de bruit sont très difficiles à évaluer et à séparer des autres causes de pression sur les conditions de vie mammifères marins et sur l'évolution de leurs populations.

2.2. Les sonars

2.2.1. Sonars militaires

Les Sonars Actifs basse fréquence (SABF, ou LFAS, *low frequency active sonars*) sont des appareils utilisés exclusivement à des fins militaires ; ils permettent de

détecter et de localiser des sous-marins sur plusieurs dizaines à centaines de kilomètres. Les sonars tactiques moyenne fréquence anti-sous-marins (117 unités pour l'US Navy, auxquels s'ajoutent les marines du Royaume-Uni, du Canada, de la France) ont des portées de plusieurs dizaines de kilomètres. Typiquement ces systèmes travaillent dans la gamme 1-5 kHz, avec des niveaux de l'ordre de 230 dB re 1 μ Pa @ 1 m, et des durées de signaux de 1-2 s. Les cibles recherchées étant à des immersions relativement faibles, les émissions se font dans un plan horizontal. Leur utilisation s'est accrue avec l'augmentation des essais et des entraînements des diverses marines en eaux côtières dans la dernière décennie.

Le sonar SURTASS LFA (*Survey Towed Array Sensor System*) est un nouveau concept développé par la US Navy. Les faisceaux sont émis horizontalement. Caractéristiques : 240 dB re 1 μ Pa @ 1 m, 100-500 Hz, durée de signaux 6 à 100 s, récurrence de 6-15 mn, déploiement durant plusieurs jours à plusieurs semaines. La mise en service de ce système s'est accompagnée d'un gros effort de l'US Navy pour argumenter de l'innocuité de ce système vis à vis des mammifères marins (rapport US Navy, 2001).

2.2.2. Sonars civils

Les sondeurs "commerciaux" (à faisceau étroit ou faisceaux multiples, 3 kHz à 400 kHz, 150 à 235 dB re 1 μ Pa@1m) sont utilisés pour la pêche, la navigation commerciale et de plaisance, l'industrie offshore, l'océanographie, l'hydrographie, l'intervention sous-marine... Rien qu'aux USA, il y a 17 millions de bateaux équipés de sondeurs monofaisceaux. Le nombre de sondeurs multifaisceaux, à large couverture transversale, en service dans le monde est de l'ordre du millier, toutes catégories confondues. On verra au chapitre 5 une analyse plus détaillée des performances de ces systèmes. Le caractère très directionnel de ces systèmes, le niveau relativement modeste et la brièveté de leurs émissions les rendent sans doute peu dangereux pour les mammifères marins ; des investigations complémentaires restent à mener dans ce domaine.

2.3. L'exploration sismique

L'exploration sismique à des fins industrielles ou scientifiques utilise des canons à air de forte puissance : jusqu'à 250 dB re 1 μ Pa @1 m voire plus, fréquences 5-300 Hz, durées d'émission de quelques ms (voir chapitre 5). L'extension de la prospection sismique récente concerne l'Atlantique Nord, ainsi que le long des marges continentales. Les puissances sonores très importantes mises en jeu dans les campagnes sismiques (liées en particulier à la prospection pétrolière offshore) sont le principal sujet d'inquiétude après les sonars militaires ; bien qu'il ne semble pas que des événements aussi dramatiques que les échouages massifs liés aux exercices navals aient été provoqués par des campagnes sismiques, un gros effort de prévention est

aujourd'hui consenti sur ce sujet (MMS 2004). Une bonne synthèse des connaissances disponibles sur les conséquences de l'emploi de la sismique, non limités aux mammifères marins, peut être trouvée dans (LGL 2001).

2.4. L'océanographie

Le projet ATOC (*Acoustic Thermometry of Ocean Climate Program*), conduit par la *Scripps Institution of Oceanography* projetait d'effectuer, à l'échelle de bassins océaniques, des mesures de l'élévation de température à l'aide de mesures acoustiques très basses fréquences. Les sources utilisées avaient pour caractéristiques : 195 dB re 1 μ Pa@1m ; 75 Hz ; durée d'émission 5 à 20 min, cadence de tir de 4h. L'installation d'un tel réseau ayant fait craindre aux biologistes des effets négatifs à long terme pour les mammifères marins, les mouvements écologistes américains se sont opposés, *a priori* et au nom du principe de précaution, à la mise en œuvre du programme. Le caractère inconciliable des objectifs poursuivis par les protagonistes a conduit à l'ajournement, en 1995, du déploiement de ces systèmes (Sarewitz, 2004). D'autres dispositifs acoustiques basse fréquence destinés à l'océanographie (tomographie, suivi de flotteurs dérivants) existent aussi mais fonctionnent à des niveaux nettement plus faibles (180 dB re 1 μ Pa@1m ou moins) et ne constituent pas a priori une cause de pollution sonore notable.

2.5. L'appareillage répulsif

Les appareils « répulsifs » ou *Acoustic Deterrent Devices* (ADD), dont le principe est l'utilisation des sons comme moyen d'éloigner les mammifères marins des opérations ou engins de pêche.² Ces dispositifs, à portée locale, sont des systèmes de puissance acoustique émise assez modeste (voir Le Gall 2004), dont la contribution énergétique est bien moindre que celles répertoriées ci-dessus, mais qu'il s'imposait évidemment de mentionner ici.

² On notera que le bruit généré par un navire de pêche peut attirer les mammifères marins (ex : palangriers de l'océan Indien (Poisson et Taquet, 2001). On notera aussi que les sonars panoramiques de pêche sont utilisés de manière pragmatique et efficace comme répulsifs à cétacés : les pêcheurs constatent en effet que leur mise en route fait généralement fuir les Cétacés proches du navire.

Documentation

En Annexe 1, on trouvera :

- Quelques éléments chiffrés sur l'importance numérique actuelle de certaines populations de cétacés, pour quelques zones géographiques ;
- Un bilan des échouages massifs de cétacés concernant des baleines à bec de Cuvier (extrait du *Final AGISC Report 2004*);
- Une représentation graphique du spectre fréquentiel de bruit présent dans l'océan, décomposé selon ses différentes origines (extrait de MMS, 2004).
- Le Tableau 3 (extrait de Hildebrand 2004) récapitule les ordres de grandeur de valeurs cumulées annuelles des sources d'énergie sonore les plus importantes : i) la prospection sismique (*airgun arrays*) : 90 navires, $3.9E+13$ Joules ; ii) les sonars militaires type 53C : 100 navires, $8.5E+12$ Joules ; iii) les supertankers : 11000 navires, $3.7E+12$ Joules. Par nature, une telle synthèse permet surtout de fixer les idées sur les puissances acoustiques totales disponibles potentiellement ; elle n'est pas indicative des risques réels présentés pour les mammifères marins en un lieu ou un instant donnés.

3. L'audition chez les Cétacés

3.1. Le système auditif

(Richardson, 1995 ; Nedwell et al., 2004 ; Ices, 2004 ; Ketten, 1998)

Chez les mammifères terrestres, le système auditif comporte i) l'oreille externe (pavillon et conduit auditif aérien) ; ii) l'oreille moyenne, remplie d'air, qui comporte le tympan et la chaîne des osselets ; iii) l'oreille interne qui comprend la cochlée, organe de l'audition empli de liquide et comportant entre autre la membrane basilaire génératrice de l'influx nerveux, et les canaux semi-circulaires, organes de l'équilibre.

L'appareil auditif des Cétacés présente des différences anatomiques par rapport aux mammifères terrestres (fig.1). Le système oreilles moyenne + interne des odontocètes n'est pas contenu dans le crâne mais dans une cavité osseuse hors du crâne et suspendue par des ligaments. L'évolution a fait disparaître le pavillon de l'oreille externe, ainsi que le conduit auditif chez les odontocètes, qui est vestigial et probablement non fonctionnel chez les mysticètes. Chez les odontocètes la transmission des sons vers l'oreille moyenne se fait principalement par les tissus graisseux contenus dans la mâchoire inférieure, et probablement par d'autres voies graisseuses disposées latéralement par rapport aux oreilles moyenne et interne. On suppose que chez les mysticètes la transmission vers l'oreille moyenne se fait de manière analogue. Les mammifères marins à plongées profondes (cachalots, baleines à bec) ont développé une capacité à combler l'espace aérien de l'oreille moyenne par une vascularisation adaptée, qui par vasodilatation viendrait équilibrer la pression de l'oreille moyenne. Le fonctionnement de l'oreille moyenne des Cétacés reste encore en partie méconnu.

L'oreille interne des Cétacés fonctionne comme celle des mammifères terrestres, avec des dimensions évidemment différentes, en relation avec les gammes de fréquences audibles par les diverses espèces. Par exemple, chez les odontocètes, la membrane basilaire est épaisse et raidie, ce qui est considéré comme une adaptation à l'audition des ultrasons ; chez les mysticètes, la membrane basilaire est très large et souple, permettant probablement la réception des infrasons (<20 Hz).

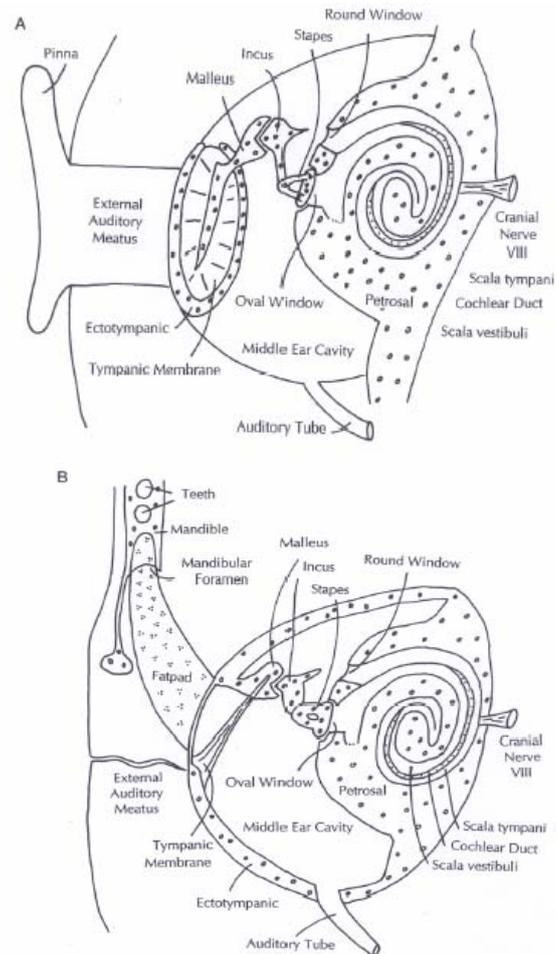


Figure 1 : représentation schématique de l'appareil auditif des Mammifères. A : mammifères terrestres ; B : Cétacés. D'après Thewissen, in *Encyclopedia of Marine Mammals*, 2002

3.2. Signaux acoustiques chez les mammifères marins

Les Cétacés utilisent les sons pour : i) communiquer entre eux au moyen de vocalisations, plutôt à basse fréquence mais de spectre très variable selon les espèces ; ii) reconnaître et exploiter l'environnement naturel ou artificiel, à la manière d'un sonar passif : bruit de déferlement et proximité de la côte, interception de signaux des prédateurs et des proies, bruit de banquise, etc. ; iii) détecter activement proies et obstacles, à la manière d'un sonar actif avec détection, localisation, identification par émission de clicks d'écholocation à très haute fréquence : cette fonction semble n'exister que chez les odontocètes.

Les signaux émis par les mammifères marins ont été beaucoup enregistrés et étudiés. Les caractéristiques objectives en sont répertoriées dans les grandes lignes ; par contre

la connaissance de leur traitement est embryonnaire, et ne peut guère s'effectuer que par analogie soit avec des systèmes sonars artificiels soit avec les fonctions auditives humaines.

Les niveaux d'émission peuvent être très élevés (190 dB re 1 μ Pa@1 m en vocalisation très basse fréquence, 220 dB re 1 μ Pa@1 m pour des clicks d'écholocation). Les contenus spectraux et les formes d'ondes sont riches et variés, et laissent présager des traitements très perfectionnés.

3.2.1. Signaux des odontocètes

Les odontocètes et particulièrement les dauphins communiquent à des fréquences supérieures à 100 Hz ; leur optimum auditif se situe entre 10 à 100 kHz, gamme d'émission de leurs clicks d'écholocation. Ils peuvent aussi émettre des sifflements à fréquence constante ou modulée (4-16 kHz), ainsi que des signaux ultrasonores, enregistrés chez 21 espèces dont seulement 11 sont écholocalisateurs avérés. L'audiométrie chez ces espèces n'aurait pas montré une ouïe efficace (<80 dB re 1 μ Pa) à des fréquences inférieures à 500 Hz. Ils seraient donc moins sensibles que les mysticètes aux impulsions sonores des levés sismiques.

3.2.2. Signaux des mysticètes

Les mysticètes communiquent au moyen de fréquences plus basses que les odontocètes : de 12 Hz à 8 kHz, souvent inférieures à 100 Hz. On ne connaît pas directement leur efficacité auditive, mais il est probable que leur perception des basses fréquences est meilleure que celle des odontocètes, et donc qu'ils sont plus sensibles aux levés sismiques. On constate qu'en général les baleines s'éloignent des navires faisant de la sismique, le comportement induit variant selon les espèces. La baleine franche, la baleine grise et le rorqual à bosse montrent des comportements d'évitement à plusieurs km de distance, pour des niveaux perçus de 160 à 170 dB re 1 μ Pa.

3.2.3. Signaux des pinnipèdes

Les pinnipèdes ont une sensibilité qui se situerait aux basses fréquences (< 1 kHz). Leur particularité est que leur système auditif est adapté à la fois à l'audition dans l'air et dans l'eau – sans être optimal dans aucun des deux milieux.

Leurs signaux de communication sont avérés, dans l'air et dans l'eau (cris, aboiements, sifflements, etc.). La gamme dépend des espèces : 100 Hz- 15 kHz chez les phocidés ; basse fréquence, jusqu'aux infrasons chez l'éléphant de mer ; 1-4 kHz chez les otaries.

Les pinnipèdes semblent particulièrement tolérants et peuvent s'habituer aux impulsions sonores de forte intensité.

3.3. Audiométrie des Cétacés

Les mammifères marins ont une gamme d'audition fonctionnelle qui va de 10 Hz à 200 kHz, avec les seuils les plus sensibles autour de 40 dB re 1 μ Pa. En fonction de la gamme de fréquence utilisée, Ketten (1998), distingue trois groupes, qui recourent le classement taxinomique :

- i) infrasonique - soniques (\approx mysticètes) : gamme de 15 Hz à 20 kHz ; bonne sensibilité entre 20 Hz et 2 kHz ; seuil d'audibilité inconnu, sans doute 60-80 dB re 1 μ Pa.
- ii) sonique - ultrasonique (\approx pinnipèdes) : gamme de 1 kHz à 20 kHz ; gamme optimale de réception très variable ; seuil typiquement de 50 dB re 1 μ Pa ; seul l'éléphant de mer présente une sensibilité notable en dessous de 1 kHz. Les pinnipèdes sont adaptés à entendre à la fois dans l'air et dans l'eau.
- iii) ultrasonique (\approx odontocètes) : gamme de 200 Hz à 200 kHz ; pic entre 16 et 120 kHz ; seuil typiquement 40 dB re 1 μ Pa.

On a vu plus haut que les mysticètes émettent des sons modulés pour la communication, de très basses fréquences (jusqu'à 10-20 Hz). Il est donc logique d'en déduire qu'ils ont une bonne perception auditive dans la gamme des dizaines de Hz à quelques centaines de Hz, ce qui n'implique pas forcément un maximum de sensibilité aux très basses fréquences. Les mysticètes ont probablement une gamme audible comparable à celle de l'oreille humaine (16 Hz à 30 000 Hz), déduite des mesures de leurs vocalisations, sous l'hypothèse raisonnable que leur "récepteur" doit être adapté à leur "émetteur". Il est vraisemblable que leur seuil d'audition ne se situe pas au dessous du niveau moyen naturel de bruit ambiant. Il n'existe aucune mesure audiométrique directe sur des mysticètes.

Les odontocètes émettent des clicks d'écholocalisation, à des fréquences de plusieurs dizaines de kHz, voire au delà de 100 kHz. Ils peuvent aussi émettre des signaux de communication (dauphins) à des fréquences plus basses. Les seuils d'audition sont connus pour un nombre limité (11) d'espèces de pinnipèdes et d'odontocètes ; les méthodologies sont décrites dans la littérature. Les mesures sont basées sur l'apprentissage et le conditionnement de l'animal à l'audition de certains sons. Les résultats obtenus sont très cohérents entre eux (figure 1). En dépit du petit nombre d'espèces étudiées, des ordres de grandeur sont ainsi disponibles, qui peuvent être extrapolés dans l'état actuel des connaissances.

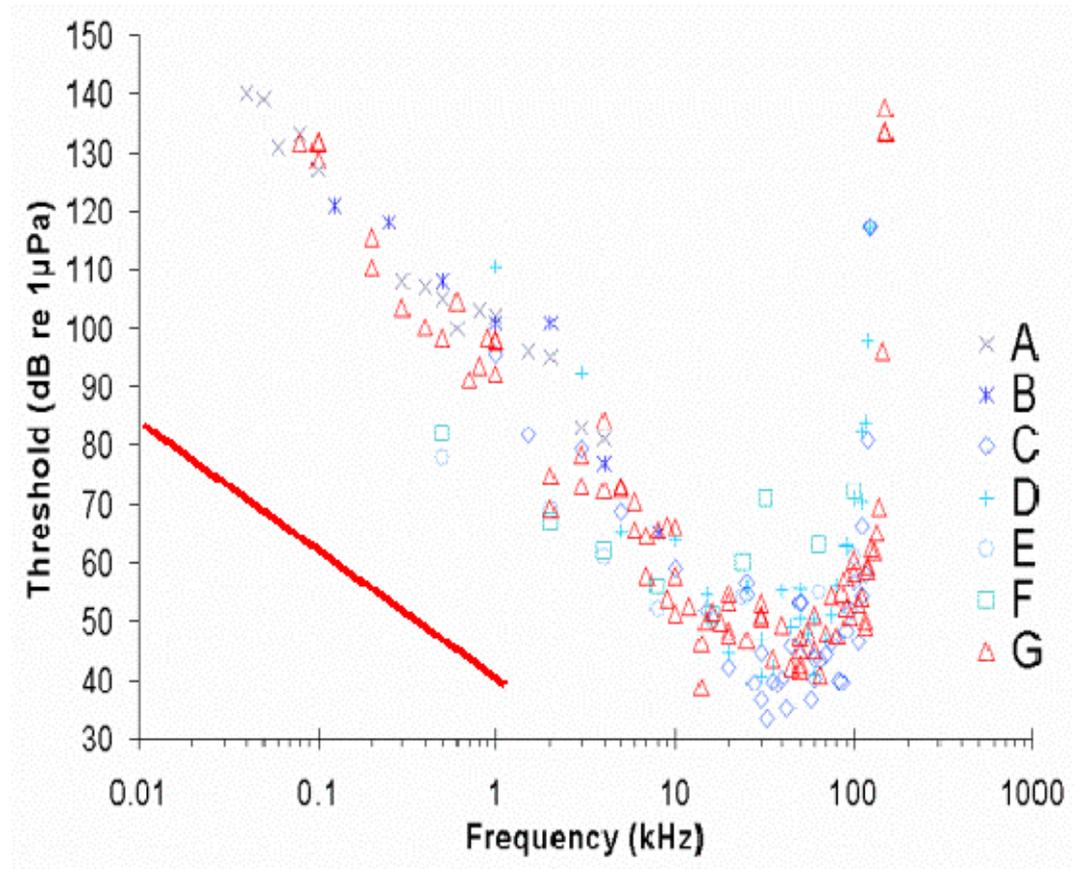


Figure 2 : audiogramme mesuré pour deux espèces de Cétacés. A : bélouga (*Delphinapterus leucas*), Johnson *et al.* (1989) ; B : bélouga, Awbrey *et al.* (1988) ; C et D : bélouga femelle et mâle, White *et al.* (1978) ; E et F : bélouga femelle et mâle, Ridgway *et al.* (2001) ; G : grand dauphin, Johnson (1967)

— Niveau min. de bruit ambiant en basse fréquence

Par contre les seuils de gêne, de douleur etc. conduisant à des modifications de comportement, puis à des pertes d'audition temporaires (*TTS* : *temporary threshold shift*) et permanentes (*PTS* : *permanent threshold shift*) sont très mal connus. La méthodologie de mesure nécessaire pour les seuils d'audition (apprentissage et conditionnement de l'animal) ne peut évidemment pas être mise en œuvre en milieu naturel. Pour aborder ces questions, la démarche expérimentale en bassin serait nécessaire mais complexe, et rencontrerait des obstacles éthiques rédhibitoires à la mesure directe du *TTS* et *a fortiori* du *PTS*. Les éléments disponibles dans la littérature sont plutôt basés sur des analogies avec les mammifères terrestres et des extrapolations.

Toutefois des travaux spécifiques (Finneran *et al.* 2002) ont été menés sur le grand dauphin et le bélouga pour étudier leur tolérance à des signaux de sismique. Les

résultats font apparaître une étonnante tolérance de ces animaux à des émissions par des canons à air à forte puissance. Des niveaux subis de 228 dB re 1 μ Pa n'ont provoqué aucune baisse d'audition chez le dauphin ; un niveau de 226 dB re 1 μ Pa a provoqué une légère baisse temporaire chez le bélouga (environ 6 dB, retour à la normale après 4 min). D'autres expériences (Schlundt *et al.* 2000) sur les mêmes animaux en hautes fréquences ont mis en évidence l'apparition de *TTS* pour des niveaux compris entre 191 et 201 dB re 1 μ Pa pour des durées de signaux monochromatiques de 1 sec à des fréquences de 0,4 ; 3 ; 10 ; 20 et 75 kHz.

4. Analyse quantifiée des seuils de risques acoustiques

4.1. Position du problème

Les émissions acoustiques d'origine humaine présentent plusieurs niveaux de dangerosité par les mammifères marins, que l'on peut classer qualitativement dans l'ordre croissant suivant :

- Premier niveau : gêne négligeable
 - Bruiteur local de faible puissance ; augmentation modérée du bruit de fond général
 - Simple perception d'un faible niveau de bruit artificiel ; les capacités de communication, détection et orientation ne sont pas dégradées localement ; l'intelligibilité et la portée des performances acoustiques peuvent être diminuées à grandes distances ;
 - Pas de conséquences sur le comportement général ;
- Second niveau : gêne avérée
 - Masquage local par des activités à forte intensité acoustique, soit ponctuelles (sonar, sondage, sismique) soit plutôt permanentes (trafic maritime, industrie)
 - Risque de brouiller ou couvrir les signaux des mammifères et les désorienter localement ou passagèrement ;
 - Création d'un niveau de gêne suffisant pour provoquer une perturbation de comportement, passagère (interruption d'activité) ou permanente (abandon de la zone) ;
- Troisième niveau : risques physiologiques
 - Niveaux intenses liés à des émissions acoustiques locales de forte puissance
 - Endommagement temporaire ou permanent des fonctionnalités de l'appareil auditif ;
 - Lésions internes pouvant conduire à l'échouage et à la mort (soit consécutive à l'échouage soit liée au traumatisme acoustique lui-même).

Il est possible de raffiner cette première classification. Par exemple le *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR) propose une analyse systématique des risques (voir Annexe 2), faisant intervenir une échelle plus détaillée des effets observables ainsi que leur probabilité d'occurrence, et qui a son intérêt en dépit du caractère un peu redondant de son formalisme. Toutefois une telle méthode nous

paraît à la fois trop riche et trop subjective au regard des capacités actuelles à mesurer les effets tels qu'ils sont décrits.

Au vu des connaissances actuelles et du niveau d'observation que l'on peut raisonnablement espérer, il nous semble pertinent de retenir deux niveaux de seuils de risque :

- Le premier niveau correspond à l'existence de risques physiologiques avérés pour les mammifères marins, soit directs (générant des lésions de l'appareil auditif) soit indirects (entraînant des réactions paniques de remontée ou d'échouage) ; rester en deçà de ce seuil est une priorité absolue ;
- Le second niveau définirait, avec une urgence moindre, les situations de pollution acoustique générant une modification durable de comportement (abandon de zone), éventuellement réversible, mais sans créer de danger direct et immédiat.

Cette classification sommaire et qualitative étant posée, la définition de seuils de risque quantifiés est évidemment un enjeu majeur. Malheureusement la méthodologie d'une telle détermination est très délicate. En l'absence d'expérimentations directes, rendues impossibles pour des raisons tant pratiques qu'éthiques, on doit se contenter d'extrapolations et d'analogies obtenues à partir de données expérimentales forcément très incomplètes.

4.2. Les seuils réglementaires actuels

Les seuils de risque potentiel généralement admis aujourd'hui sont ceux utilisés depuis 1997 par les organismes régulateurs américains (NMFS) pour l'évaluation *a priori* des risques acoustiques, et qui sont définis par deux niveaux de harcèlement (*harrassment*) correspondant à des niveaux perçus :

- 180 dB re 1 μ Pa : limite de danger, au dessus de laquelle des effets physiques sont susceptibles de se produire (niveau A)
- 160 dB re 1 μ Pa : seuil au dessus duquel peuvent se produire des effets notables de comportement (niveau B).

Scientifiquement parlant, ces chiffres sont évidemment trop simplificateurs, et doivent seulement être considérés comme indicatifs. Ils sont corroborés de manière acceptable par des campagnes d'observation de comportement de Cétacés en présence de signaux acoustiques ou sismiques. Réglementairement, ils ne constituent pas une norme, bien qu'étant largement employés et consacrés par l'usage dans des cadres éventuellement différents de ceux gérés par les organismes évoqués ci-dessus. Ils sont d'ailleurs susceptibles de modifications par la NOAA dans les années à venir, en fonction de l'évolution des connaissances (voir §4.2.2).

On peut les relier de manière plausible aux audiogrammes disponibles. Pour les odontocètes, un seuil de douleur de 180 dB re 1 μ Pa correspondrait à 140 dB au

dessus d'un seuil moyen d'audibilité (40 dB re 1 μ Pa pour les espèces les plus sensibles). L'analogie est claire avec la dynamique de l'audiogramme humain (dans l'air), et peut s'argumenter sur le fait que les systèmes auditifs étant physiologiquement proches, leurs dynamiques de fonctionnement sont probablement similaires.

Nous n'avons pas trouvé d'éléments objectifs ou d'arguments prospectifs permettant de mettre en cause globalement l'ordre de grandeur de ces chiffres, qui ont l'avantage de la simplicité et reposent sur la compilation de nombreux documents et résultats. Leur gros défaut est qu'ils constituent une simplification évidemment excessive de phénomènes très complexes : ils ne tiennent compte ni de la fréquence, de la durée et de l'occurrence des signaux (bien que l'on connaisse l'importance extrême de ces paramètres en audiométrie des mammifères terrestres), ni de l'espèce de Cétacé considérée (alors que l'on sait que de grandes variations physiologiques existent).

La seule notion de niveau (sans critère de durée) est très insuffisante. Par exemple avec les seuils ci-dessus, un niveau occasionnel de 181 dB re 1 μ Pa pendant quelques millisecondes sera considéré comme de niveau A, et donc inacceptable ; alors qu'un niveau permanent de 179 dB re 1 μ Pa pendant plusieurs heures, beaucoup plus dangereux, sera toléré comme seulement un harcèlement de niveau B.

Par ailleurs, les deux remarques suivantes feront apparaître la fragilité de définitions trop simplistes :

- D'un côté, des expériences sur l'effet des émissions sismiques sur les dauphins ont fait apparaître une tolérance bien au delà du seuil de 180 dB re 1 μ Pa. Mais les dauphins ont une audition peu performante en basse fréquence, et les signaux sismiques sont très brefs.
- D'un autre côté, certains échouages de baleines à bec se sont produits sous des conditions acoustiques estimées *a posteriori* correspondre à des perceptions de niveaux de l'ordre de 165 dB re 1 μ Pa. Des circonstances particulières peuvent donc rendre fatale (peut-être de manière indirecte) l'exposition à des niveaux considérés comme acceptables.

4.3. Paramétrage du critère de risque

Richardson et al. (1995) considèrent que les mammifères marins sont répartis en deux groupes selon leurs niveaux moyens de sensibilité auditive : 40 dB re 1 μ Pa et 70 dB re 1 μ Pa. Ils extrapolent les critères de risques définis par Ward (1968) pour les humains à partir de ces seuils de référence ; les seuils de Ward dépendent de la durée T des impulsions considérées (dépendance³ en $20\log T^{1/3}$: ils retiennent comme valeurs caractéristiques une durée "longue" de 200 ms, et une durée "courte" de 25 μ s) et le nombre N d'impulsions (dépendance en $5\log N$).

³ Soit en $6,67\log T$. On peut aussi considérer une dépendance énergétique classique en $10\log T$; voir plus loin.

On retiendra la valeur-pivot de **143 dB re 1 μ Pa (à ajouter au seuil d'audibilité) pour un ping unique de 1 sec** ; cette valeur permet de calculer toutes les autres en faisant varier le nombre et la durée des impulsions.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs du seuil de risque auditif, extrapolées pour plusieurs nombre et durées de signaux. Il a été calculé pour le seuil d'audition le plus bas (40 dB re 1 μ Pa) et pour des durées de signaux caractéristiques des systèmes acoustiques et sismiques couramment utilisés en océanographie.

On constate sur ce tableau que le seuil de risque auditif potentiel évalué par cette méthode est compris en moyenne dans la gamme 190-200 dB re 1 μ Pa ; ces valeurs sont conservatives car calculées pour une sensibilité auditive maximale.

La valeur de référence de 180 dB re 1 μ Pa, souvent retenue comme chiffre-clé, correspond donc à une marge de sécurité supplémentaire de 10-20 dB par rapport à ces valeurs ; on la considèrera donc comme acceptable compte-tenu du niveau actuel des connaissances.

Seuil (dB/ μ Pa)		N (pings) =		
		1	10	100
T (msec) =	0.1	210	205	200
	0.2	208	203	198
	0.5	205	200	195
	1	203	198	193
	2	201	196	191
	5	198	193	188
	10	196	191	186
	20	194	189	184

Seuil de risque auditif (en dB/ μ Pa) obtenu par la méthode de Richardson et al. (1995) elle-même issue de Ward (1968). Les seuils sont calculés pour un seuil d'audibilité de 40 dB re 1 μ Pa. Les durées de signaux considérés sont caractéristiques de sonars latéraux (0,1 ms), de sismique HR (10 ms), et de sondeurs multifaisceaux haute fréquence (0,2 à 2 ms) ou basse fréquence (2 à 20 ms).

Si on exprime le niveau perçu de pression acoustique sous forme classique du SEL (*Sound Exposure Level*), qui traduit l'énergie totale intégrée pendant une seconde (voir §4.4.2), la dépendance avec la durée du signal est en $10\log T$ (donc légèrement différent de celle en $20\log T^{1/3}$ présentée ci-dessus). Le niveau instantané pour un seul signal correspondant à un SEL de 183 dB re 1 μ Pa².s est donné par le tableau suivant. On constate que les seuils obtenus sous cette hypothèse de dépendance en $10\log T$ sont sensiblement plus hauts que ceux obtenus avec le modèle de Richardson et al. Nous n'avons pas d'éléments permettant de retenir préférentiellement l'une ou l'autre des dépendances.

$T(\text{msec}) =$	0.1	223
	0.2	220
	0.5	216
	1	213
	2	210
	5	206
	10	203
	20	200

Seuil de risque auditif dérivé du tableau précédent en considérant une dépendance en $10\log T$, et un seul ping.

Enfin l'influence du cadencement des émissions n'est pas claire : le même signal émis toutes les secondes ou toutes les minutes n'a certainement pas le même impact. Le modèle de Richardson, qui considère un effet cumulatif sur le nombre total de signaux indépendamment de la cadence d'émission, n'est intuitivement pas très satisfaisant de ce point de vue.

La compréhension des effets temporels des émissions sonar (durée, cadence, nombre) demande donc à l'évidence des investigations supplémentaires. On notera que l'approche bibliographique présentée ici, forcément limitée, a pu omettre certains résultats importants sur ces points. Il serait certainement intéressant d'étendre notre approche au domaine de l'audiométrie humaine.

Tout récemment (USTWR 2005) dans l'Environmental Impact Statement lié à la mise en place d'une zone d'entraînement sonar au large de la Caroline du Nord, les experts de la U.S. Navy ont retenu des critères basés sur les mesures de TTS et PTS disponibles dans la littérature (Schlundt 2000 ; Finneran 2000, 2001, 2002 & 2003 ; Nachtingall 2003) et extrapolées à partir de considérations sur les mammifères terrestres ; les valeurs de seuil sont données sous forme de SEL, donc prenant en compte la durée et le nombre de signaux utilisés. Les valeurs limites ainsi définies sont beaucoup plus élevées que le "180-160 dB":

Niveau A correspondant à PTS : 215 dB re. $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$

Niveau B correspondant à TTS : 195 dB re. $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$

Niveau de harcèlement impliquant des modifications de comportement : 190 dB re. $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$

Ces seuils sont appliqués à tous les Cétacés, sauf les baleines à bec, pour lesquelles, par précaution, le Niveau A est pris à 195 dB re. $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$.

Avec cette approche (moins prudente, et donc sujette à discussions), la plupart des systèmes acoustiques seraient à des niveaux de nuisance négligeables.

4.4. Quantification du risque : synthèse et perspectives

4.4.1. Avancement actuel

Les éléments ci-dessus font apparaître les limites des connaissances actuelles sur la quantification des seuils de risques auditifs pour les mammifères marins.

Les caractéristiques audiométriques ne sont connues que pour un nombre limité d'espèces, uniquement de petits odontocètes, et pour chaque espèce sur un faible nombre d'individus ; aucune donnée audiométrique n'est disponible pour les mysticètes, pour lesquels on ne sait que procéder par analogie à partir de la connaissance de leurs propres émissions sonores.

Les caractéristiques audiométriques disponibles (telles que les seuils d'audibilité) ne donnent accès aux seuils de risques (*TTS*, *PTS*) que par analogies et extrapolations, en se recalant sur de rares données expérimentales.

La dépendance des seuils de risque avec la fréquence, la durée et la cadence d'émission (effet cumulatif) n'est pas claire.

Malheureusement il y a peu de chance que cette situation puisse s'améliorer de manière décisive dans un avenir proche. D'une part les mesures audiométriques semblent impossibles sur les mysticètes et les grands odontocètes, pour des raisons pratiques évidentes et dans l'état actuel des technologies disponibles. D'autre part toute expérimentation *in vivo* de détermination de seuils de surdité permanente provoquée est à exclure pour des raisons éthiques. Tout au plus peut-on imaginer, sur de petits odontocètes, des expérimentations de détermination de *TTS*, que l'on extrapole ensuite aux *PTS* (le *TTS* est par nature réversible et assimilable à de la « fatigue » auditive plutôt qu'à une lésion ; une telle mesure contrôlée est couramment autorisée sur les humains).

4.4.2. Evolutions des critères NMFS

Pour répondre à ces nécessaires améliorations, le NMFS a récemment proposé (NOAA 2005) de remplacer le critère "180-160 dB" par une matrice de risque permettant :

- La prise en compte des espèces, sous forme de plusieurs catégories (cétacés basse fréquence, moyenne fréquence, haute fréquence ; pinnipèdes dans l'eau, dans l'air)
- La différenciation des types de sources: *single pulse*, *single non-pulse*, *multiple pulse*, *multiple non-pulse*. Les signaux de type *pulse* sont de nature impulsionnelle (front de montée rapide, durée brève ; exemples : signaux sismique ou sondeurs) ; les *non-pulse* sont de forme quelconque (bruit rayonné de navire, activité industrielle sous-marine...). Le terme *multiple* traduit le caractère répétitif du signal, il s'applique donc par exemple aux émissions acoustiques et sismiques des navires océanographiques.
- Deux niveaux de risque par cas : *injury* (atteinte physiologique), et *behavior* (modification de comportement), correspondant aux deux critères "180-160 dB" précédents ; chaque critère est raffiné et comportera à la fois la valeur du niveau de pression sonore maximale admissible *SPL* (dB re 1 μ Pa) et le niveau d'exposition sonore traduisant l'intensité sonore cumulée lors de l'exposition *SEL* (dB re 1 μ Pa².s).

- Pour chaque cas, une loi de dépendance fréquentielle "*G-weighting*", représentant la tendance la plus pénalisante pour les espèces représentées dans le groupe.

Si l'on considère l'évolution du signal perçu $p(t)$ pendant une durée significative T (incluant par exemple tout un cycle d'émission et la réception d'éventuels échos multiples), le niveau de pression perçu *SPL* (*Sound Pressure Level*) est donné par :

$$SPL \text{ (dB re } 1 \mu\text{Pa)} = \max_T \{p(t)\}$$

Le niveau d'exposition sonore *SEL* (*Sound Exposure Level*) est défini par l'intégration temporelle de la puissance sonore perçue (en pratique le carré de la pression acoustique) pendant la durée T , et ramenée à la durée de référence T_{1s} d'une seconde. Sa valeur en dB est obtenue en la rapportant à la valeur de référence de $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$.

$$SEL \text{ (dB re } 1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s)} = 10 \log \left[\frac{T_{1s}}{T} \int_T p^2(t) dt / 1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s} \right]$$

La matrice des seuils de risque ainsi définie peut donc se représenter comme suit :

	G-weighting	Pulse unique	Non-pulse unique	Pulse multiple	Non-pulse multiple
Cétacés BF		xxx			
Cétacés MF					
Cétacés HF					
Pinnipèdes / air					
Pinnipèdes / eau					

Soit un ensemble de $4 \times 5 = 20$ cas ; chaque cas est lui même affecté de 4 valeurs. Par exemple pour la configuration "Cétacés MF / Pulse multiple":

		Non-Pulse unique	
Cétacés MF		<i>SPL injury</i>	<i>SEL injury</i>
		<i>SPL behavior</i>	<i>SEL behavior</i>

La subdivision ainsi obtenue est très riche, et le renseignement des 80 valeurs et 5 courbes *G-weighting* ne sera certes pas immédiat. Toutefois il convient de remarquer que des priorités peuvent être retenues : les configurations les plus demandées aujourd'hui sont certainement celles des cétacés BF et MF sur pulse multiple.

La classification ainsi définie ne couvre qu'un aspect du problème ; le mode de définition des divers seuils est une question clé. Le NMFS a identifié 6 possibilités de définition de ces seuils :

1. *Statu quo* à la définition 180-160 dB re 1 μ Pa ;
2. Option maximaliste, selon laquelle le niveau acoustique créé artificiellement ne doit pas dépasser celui de l'environnement naturel : niveau A défini par le niveau maximum de bruit ambiant naturel, et niveau B par sa valeur moyenne ;
3. Niveau A défini par le seuil de TTS, niveau B par 50% de réactions d'évitement ;
4. Niveau A défini par seuil de PTS -6 dB, niveau B seuil de TTS -6 dB
5. Niveau A = PTS, niveau B = TTS
6. Niveau A = PTS+6 dB, niveau B = TTS+6dB

4.4.3. Prise en compte par l'Ifremer des seuils de risque

L'appréhension objective des risques, pour les mammifères marins, liés à l'emploi des systèmes acoustiques et sismiques pour l'océanographie passe par l'adoption de critères pertinents de risques quantifiés, détaillés et bénéficiant d'une reconnaissance externe suffisante. Considérant :

- l'absence quasi-totale d'activité sur ce sujet au sein de l'Ifremer jusqu'aujourd'hui,
- la difficulté du sujet et l'ampleur des moyens nécessaires aux études nécessaires sur le terrain,
- les efforts consentis par diverses communautés dans ce domaine, en particulier aux Etats-Unis,
- le rôle de coordinateur et de référence *de facto* du NMFS dans la gestion de ces problèmes,

la solution la plus réaliste est de retenir, au moins dans un premier temps, les critères NMFS.

1. Le premier stade d'analyse des risques présentés par les systèmes Ifremer et proposé dans le présent rapport est donc mené en retenant l'approche élémentaire en usage actuellement au NMFS, basée sur les seuils de pression acoustique à 180 et 160 dB re 1 μ Pa ; cette position est prise par défaut, en l'absence d'autres critères plus précis disponibles à court terme. On a vu (§4.3) qu'une approche plus fine tenant compte des durées et du nombre d'impulsions conduit à des seuils plus élevés ; la valeur de 180 dB re 1 μ Pa comporte donc une marge de sécurité.

2. L'évolution proposée par le NMFS vers une plus grande finesse des critères d'analyse est évidemment à suivre. Nous pourrions à terme reprendre les améliorations attendues de la méthodologie de classification (par espèces, par types de signaux, avec prise en compte des durées d'exposition, pour plusieurs niveaux d'agression, avec pondération fréquentielle), quitte à faire évoluer les valeurs finalement retenues des seuils en fonction de nos propres observations et critères d'acceptabilité.

En conclusion, la meilleure solution pour l'Ifremer est donc actuellement de s'en tenir aux seuils généralement admis, de suivre leur évolution, de mettre en place des mesures visant à les faire respecter, et d'évaluer autant que possible les effets observables directement en situation réelle.

Si la détermination des seuils de danger n'est pas susceptible d'évolutions majeures à court terme, il est par contre certainement possible d'améliorer la classification des risques présentés par les divers systèmes en fonction de leurs caractéristiques techniques. Au delà de l'approche élémentaire du niveau maximal d'insonification tel que présenté et exploité ici au chapitre 5, il serait très utile de quantifier, par modélisation, le degré de pollution acoustique d'une zone par un système donné en prenant en compte sa directivité, sa cadence d'émission, la vitesse de son porteur et la stratégie de couverture.

5. Analyse de la nocivité potentielle des systèmes acoustiques de l'Ifremer

N.B. Dans tous les tableaux ci-dessous résumant les principales caractéristiques d'émission des systèmes mis en œuvre par l'Ifremer, on a retenu les valeurs les plus pénalisantes des divers paramètres, même s'ils ne sont pas forcément compatibles entre eux dans la pratique.

5.1. Caractéristiques d'émission des outils d'investigation acoustique et sismique

5.1.1. Sismique

Les systèmes de sismique constituent, avec (dans une moindre mesure) les sondeurs multifaisceaux basse fréquence, le principal risque potentiel de pollution acoustique. Pour les systèmes mis en œuvre par l'Ifremer, les gammes de fréquences sont situées dans les dizaines et les centaines de Hz, même si des fréquences supérieures peuvent aussi être concernées. La dangerosité supposée de ces systèmes est due à leur puissance d'émission (des niveaux équivalents supérieurs à 250 dB re 1 μ Pa@1m sont possibles) et à leur quasi-absence de directivité dans le plan horizontal. Par contre les durées d'émission sont très courtes (quelques millisecondes) et les cadences d'émission sont assez lentes (quelques secondes).

Les émetteurs sismiques mis en œuvre par l'Ifremer sont constitués d'un ensemble (modulable) de sources élémentaires montées en antenne de manière à obtenir un niveau et une directivité donnés ; ils sont configurés, pour une campagne donnée, en fonction de la zone étudiée. Beaucoup de configurations sont donc envisageables et il n'est pas possible, ni pertinent ici, de les recenser toutes en quelques lignes ; on retiendra ici uniquement celles qui sont potentiellement les plus dangereuses (donc correspondant aux niveaux les plus intenses) pour chaque catégorie de système. Les niveaux indiqués sont mesurés en champ lointain et ramenés à 1 m ; la durée du signal est celle du pic principal.

Source	Fréquence Hz	Niveau dB re 1 μ Pa@1m	Durée ms	Cadence sec
SMT conventionnelle (GI+cluster)	5-100	252	10	20
HR conventionnelle (5 canons GI)	20-300	234	4	5
SISRAP (2 GI)	5-100	236	10	10
HR plateau (1 mini-GI)	20-300	218	4	3

(SMT : Sismique Multi-Trace ; HR : Sismique Haute Résolution ; SISRAP : Sismique Rapide)

5.1.2. Sondeurs de sédiments

Variante sonar des systèmes de sismique et destinés à l'exploration des strates sédimentaires superficielles, les sondeurs de sédiments émettent dans une gamme de fréquences moyennes (typiquement 1 à 8 kHz) susceptible *a priori* de concerner l'ensemble des mammifères marins. Ils émettent des niveaux acoustiques assez importants (typiquement 200 à 215 dB re 1 μ Pa@1m) bien que modestes en comparaison de ceux de la sismique, le plus souvent sous forme de signaux modulés en fréquence durant plusieurs dizaines de millisecondes, et avec des cadences de tir assez rapides de l'ordre de la seconde. Toutefois les risques qu'ils présentent sont limités par le fait qu'ils sont directifs (faisceau unique de quelques dizaines de degrés) et émettent verticalement vers le bas. Le sondeur du *Sar*, utilisé à très faible distance du fond, n'est pas considéré ici.

Il est intéressant (même si anecdotique) de savoir que les sondeurs de sédiments sont considérés comme les systèmes les plus gênants acoustiquement par le personnel embarqué : ils fonctionnent à des fréquences situées dans la zone fréquentielle de sensibilité maximale de l'oreille humaine (quelques kHz), et leurs longueurs d'ondes (métriques) se propagent aisément dans les structures des navires porteurs, les rendant très difficiles à atténuer. Des précautions particulières d'installation doivent être prises et des réglementations d'emploi sont parfois éditées pour certains systèmes considérés particulièrement gênants (comme sur le *Suroît*). Toutefois le niveau de gêne aérienne de ces systèmes ne se retrouve pas dans l'évaluation de leur rayonnement dans l'eau.

Navire	Fréquence kHz	Niveau dB re 1 μ Pa@1m	Durée ms	Cadence s	Directivité Emission
<i>L'Atalante</i>	3 - 6	203	50	1	30°
<i>Le Suroît Pourquoi pas?</i>	1,8 – 5,3	214	50	1	45°-20°

5.1.3. Sondeurs multifaisceaux

Les sondeurs multifaisceaux sont des systèmes sonars à large couverture transversale, destinés à effectuer la cartographie des fonds marins. Ils peuvent être divisés en trois catégories selon leur fréquence de travail : les sondeurs grands fonds, (12 à 30 kHz), les sondeurs plateau (70 à 100 kHz) et les systèmes haute fréquence (au delà de 200 kHz). Seules les deux premières catégories utilisent des gammes de fréquences potentiellement nocives pour les mammifères marins. Pratiquement, du fait de ses portées et de ses fortes puissances d'émission, c'est essentiellement la première catégorie (basse fréquence) qui est susceptible de générer des nuisances acoustiques.

Les niveaux d'émission maximaux des sondeurs multifaisceaux sont assez élevés (225 à 240 dB re 1 μ Pa@1m). Les signaux utilisés sont très majoritairement non modulés, et durent de 0,1 à 20 ms selon les systèmes, les fréquences utilisées et les conditions d'utilisation. Les cadences de tirs sont comprises entre 0,5 s et 20 s, en fonction de la hauteur d'eau ; noter que les cadences de tir les plus rapides correspondent aux hauteurs d'eau les plus faibles, et donc aux impulsions les plus courtes.

Les risques potentiels des sondeurs multifaisceaux sont contrebalancés par leur directivité très sélective. Typiquement la zone éclairée est un éventail d'ouverture 120° à 150° dans le sens transversal et 0,5° à 3° dans le sens longitudinal.

Pour la modélisation détaillée des niveaux rayonnés par les systèmes grands fonds, on considérera ici d'une part l'EM 12 de *L'Atalante*, qui présente *a priori* un important potentiel de pollution sonore du fait de ses caractéristiques en niveau et ouverture d'émission ; et d'autre part le Seabat 7150 HF (24 kHz) qui peut émettre des niveaux comparables.

Pour les systèmes plus haute fréquence, on considérera l'EM1000 (95 kHz) et le sondeur multifaisceau halieutique ME 70 (70 à 120 kHz) sur *Thalassa*, actuellement en essais.

Les sondeurs multifaisceaux pour engins profonds (Seabat 7125 et EM 2000) fonctionnent à des fréquences (respectivement 400 et 200 kHz) trop élevées pour être considérées ici.

Systeme	Navire	Fréquence kHz	Niveau dB re 1 μ Pa@1m	Durée ms	Cadence sec	Directivité Emission
Kongsberg EM 12	<i>L'Atalante</i>	13	237	2 à 20	1 à 20	2° x 150°
Kongsberg EM 1000	<i>L'Atalante</i> <i>Thalia</i> , <i>L'Europe</i>	95	226	0.2 à 2	0.1 à 1	3° x 150°
Kongsberg EM 300	<i>Le Suroît</i>	30	234	1 à 5	1 à 10	1° x 150°
Simrad ME 70	<i>Thalassa</i>	70-120	225 (sous réserve)	0,1 à 5	0,5 à 1	10° x 90°
Reson Seabat 7150	<i>Pourquoi pas?</i>	12 24	233 239	20 15	1 à 20 1 à 10	1° x 140° 4 x 0,5° x 140°
Seabat 7111	<i>Pourquoi pas?</i>	100	220	0,6	0.03	1,5° x 150°
Seabat 7125	<i>ROV Victor 6000</i>	400	220	0.2	0.05	1° x 120°
Kongsberg EM2000	<i>AUV AsterX</i>	200	222	0,2	0,1	1,5° x 120°

5.1.4. Autres systèmes acoustiques

Les sondeurs monofaisceaux couvrent les mêmes fréquences que les sondeurs multifaisceaux en fonction des applications visées : de 12 kHz (grands fonds) à plusieurs centaines de kHz. Les cadences d'émission peuvent être nettement plus rapides que celles des sondeurs multifaisceaux, à hauteur d'eau égale, mais sont de fait souvent comparables. Les sondeurs monofaisceaux ont une faible capacité de nuisance sur l'environnement, car ils émettent de manière très directive vers le fond ; le lobe de directivité est étroit (inférieur à 16°). Pour la configuration la plus pénalisante (38 kHz, 231 dB re 1 μ Pa@1m) du tableau ci-dessous, la distance à 180 dB re 1 μ Pa est de 260 m ; à cette distance la largeur de la zone éclairée par le faisceau (angulairement 7°) n'est que de 32 m. Le tableau ci-dessous n'est pas exhaustif, mais reprend les principaux modèles en service à l'Ifremer.

Système	Navire	Fréquence kHz	Niveau dB re 1 μ Pa@1m	Durée ms	Cadence sec	Directivité Emission
EA-400	<i>Le Suroît</i>	12	223	1-16		16°
EK-500 EK-60	<i>Thalassa L'Europe</i>	12 18 38 70 120	223 227 231 228 228	1-10 0,5 - 8 0,25 - 4 0,12 - 2 0,06 - 1	> 0,05	16° 11° 7° 7° 7°
EA-600	<i>Pourquoi pas?</i>	12 38 200	223 231 228	1 - 16 0,25 - 4 0,06 - 1	> 0,05	16° 7° 7°

Les sonars panoramiques de pêche émettent de manière omnidirectionnelle (au moins potentiellement) autour du navire porteur, en favorisant des directions proches de l'horizontale. Leurs niveaux émis sont comparables ou inférieurs (du fait de leur caractère panoramique) à ceux des sondeurs monofaisceaux, mais les signaux émis peuvent être plus longs : en effet, de grandes portées sont obtenues grâce à l'emploi de signaux modulés en fréquence. Ces sonars sont par nature peu sélectifs spatialement ; même employés en mode étroit, ils sont susceptibles d'être pointés dans toutes les directions.

Système	Navire	Fréquence kHz	Niveau dB re 1 μ Pa@1m	Durée ms	Cadence sec	Directivité Emission
Simrad SR-240	<i>Thalassa, L'Europe</i>	24	223	100	> 0,5	12° x 360°
Furuno CH-32	<i>Gwen-Drez</i>	60	222	32	0,25 - 2	9° x 8° orientable

Les sonars latéraux travaillent à des fréquences élevées (typiquement 100 à 400 kHz) et émettent des signaux très courts (de l'ordre de quelques dixièmes de millisecondes) ; par ailleurs ils émettent, comme les sondeurs multifaisceaux, des faisceaux très étroits dans la direction longitudinale (moins de 1°) ; enfin ils sont remorqués près du fond (quelques mètres à quelques dizaines de mètres) et n'éclairent donc qu'une portion très faible du volume sous-marin. Toutes ces caractéristiques conduisent à considérer leur impact potentiel de nuisance acoustique comme très ponctuel. Le *Sar*, employé rarement et par très grands fonds, n'est donc pas considéré ici.

Système	Navire	Fréquence kHz	Niveau dB re 1 μ Pa@1m	Durée ms	Cadence sec	Directivité Emission
EdgeTech DF-1000	<i>Thalia, L'Europe</i>	100 400	220	0,1 à 1	0,1 - 1	2° x 170° 1° x 170°

Les profileurs Doppler (ADCP) émettent quatre faisceaux très étroits vers le bas inclinés autour de la verticale ; ils sont utilisés soit comme loch, soit en profileurs de courant. Divers modèles existent à des fréquences variées. En l'absence de caractéristiques précises, tout ce que l'on peut dire est que leur nocivité est vraisemblablement limitée du fait que les puissances émises restent moindres que celles des sondeurs, et que les signaux modulés employés, assez longs à l'émission, couvrent un spectre fréquentiel large.

Système	Navire	Fréquence kHz	Niveau dB re 1 μ Pa@1m	Durée ms	Cadence sec	Directivité Emission
RDI - NB	<i>L'Atalante</i>	75 300				.
RDI - BB	<i>Pourquoi pas?</i>	38 150			> 2,5 > 0,7	.
RDI - BB	<i>Le Suroît</i>	150				
RDI - NB RDI - BB	<i>Thalassa</i>	75 150				

N.B. Certaines caractéristiques d'émission des ADCP ne sont pas disponibles à ce stade.

Les balises de positionnement, télécommande et transmission de données fonctionnent majoritairement dans une gamme de fréquence bien spécialisée (classiquement 8 à 16 kHz) ; ils présentent une directivité faible ou inexistante, des cadences d'émission plutôt lentes et des signaux de quelques ms (soit des impulsions monofréquence soit des modulations) ; mais les niveaux émis, destinés à une propagation "aller simple", sont faibles par comparaison à ceux des sondeurs et sonars (qui doivent permettre la propagation "aller-retour" du signal). Le seuil de 180 dB re 1 μ Pa est atteint dès une distance de 4 m de la source. Le niveau de nocivité acoustique de ces balises peut donc être considéré comme négligeable.

Système	Fréquence kHz	Niveau dB re 1 μPa@1m	Durée ms	Cadence sec	Directivité Emission
IxSea <i>Posidonia</i>	8-17.5	192	25	2	Omnidir.
Base longue	8-17.5	192	10	15	Omnidir.

5.2. Analyse du champ acoustique rayonné

5.2.1. Sismique

On considère le champ rayonné par une source ponctuelle équivalente à l'ensemble des émetteurs rassemblés dans une même antenne. L'amplitude de ce champ est celle de la fréquence la plus intense du spectre émis, et c'est cette fréquence qui est considérée dans les calculs faisant intervenir la phase (directivité et interférence de surface). Ce champ primaire peut être affecté d'une directivité propre, liée à la taille de l'antenne ainsi réalisée ; toutefois cet effet de directivité est ici négligeable, considérant la faible extension spatiale des antennes. La réflexion-surface du signal émis est prise en compte sous forme d'une fonction de l'angle (formule classique du dipôle rayonnant) modulant l'amplitude émise en fonction de la direction d'observation. On obtient ainsi le champ rayonné par l'ensemble source + surface, très caractéristique, qui fait apparaître un minimum d'énergie dans la direction horizontale.

Pour tenir compte de l'effet de confinement éventuel lié aux réflexions sur les interfaces, on considère les contributions des sources images correspondant aux premières réflexions sur le fond et la surface. En configuration petits fonds (pratiquement concernée uniquement par la HR plateau), les trois composantes arrivant avec des retards relatifs très faibles, on en calcule la somme énergétique pour représenter l'effet de cumul des énergies perçues ; en grands fonds (autres configurations de source), les retards peuvent atteindre plusieurs secondes, et on retiendra alors la valeur maximale des trois composantes ainsi définies. Enfin, on fait l'approximation que le champ est de symétrie de révolution dans le plan horizontal ; donc une seule coupe verticale est proposée.

Le premier exemple est celui d'un système de sismique multitrace (SMT), émettant en configuration conventionnelle "pétrolière" (canons GI et cluster) un niveau équivalent de 252 dB re 1 μ Pa ramené à 1m, sans directivité à l'émission. On constate que les niveaux inférieurs à 180 dB re 1 μ Pa ne sont atteints qu'à des distances de 4000 m environ. La zone à 160 dB re 1 μ Pa n'est pas atteinte dans la géométrie retenue ici.

Si l'on tient compte de la durée d'émission dans la définition du seuil (voir §4.3), on trouve que pour des émissions de 10 ms chaque seconde, les seuils doivent être augmentés de $10 \log(100) = 20$ dB ; les niveaux A et B se trouvent alors à 200 et 180 dB re 1 μ Pa, et les distances de risque sont alors environ 10 fois moindres. La prise en compte de la faible cadence de tir en grands fonds augmenterait encore ces seuils.

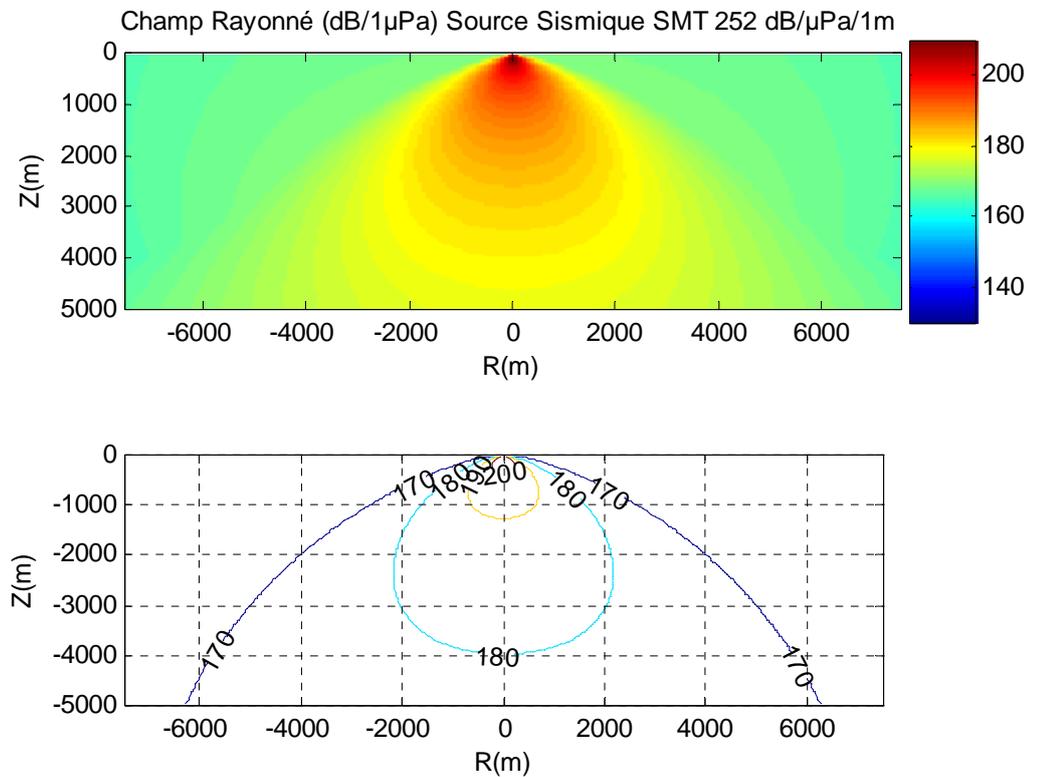
Le deuxième cas est celui de la sismique rapide (SISRAP, 2 canons GI), dont le niveau (236 dB re 1 μ Pa@1m) est sensiblement inférieur à celui de la SMT. La zone à 180 dB re 1 μ Pa, calculée ici pour 2000 m de fond, s'étend sur environ 700 m de largeur et de profondeur. La zone à 160 dB re 1 μ Pa couvre jusqu'à 5000-6000 m de large. On fera la même remarque que pour la SMT quant à la durée des émissions, et leur cadence.

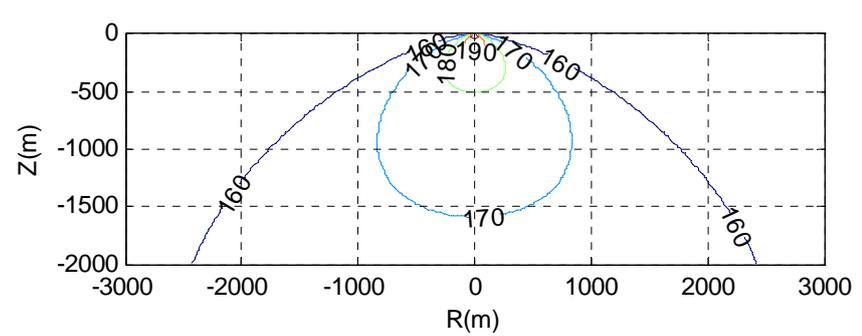
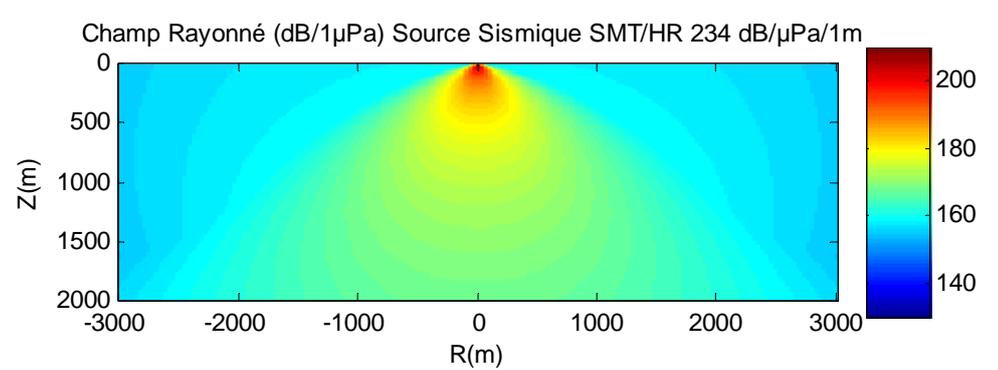
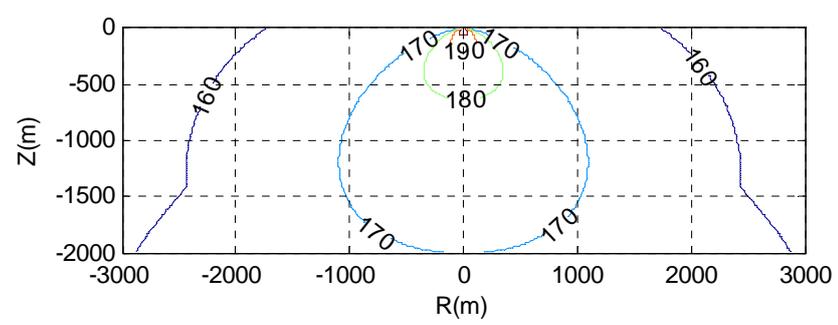
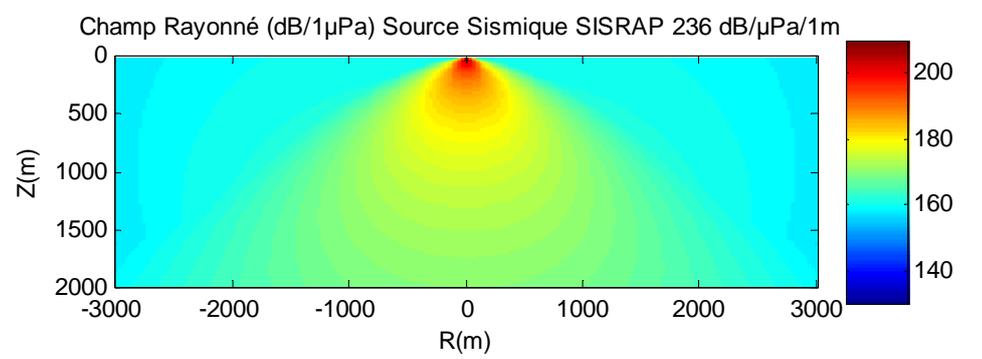
Le troisième exemple est celui d'un système de sismique HR conventionnelle (5 canons GI) mise en œuvre par 2000 m de fond, émettant un niveau de 234 dB re 1 μ Pa@1m. On constate que les niveaux supérieurs à 180 dB re 1 μ Pa sont limités à des

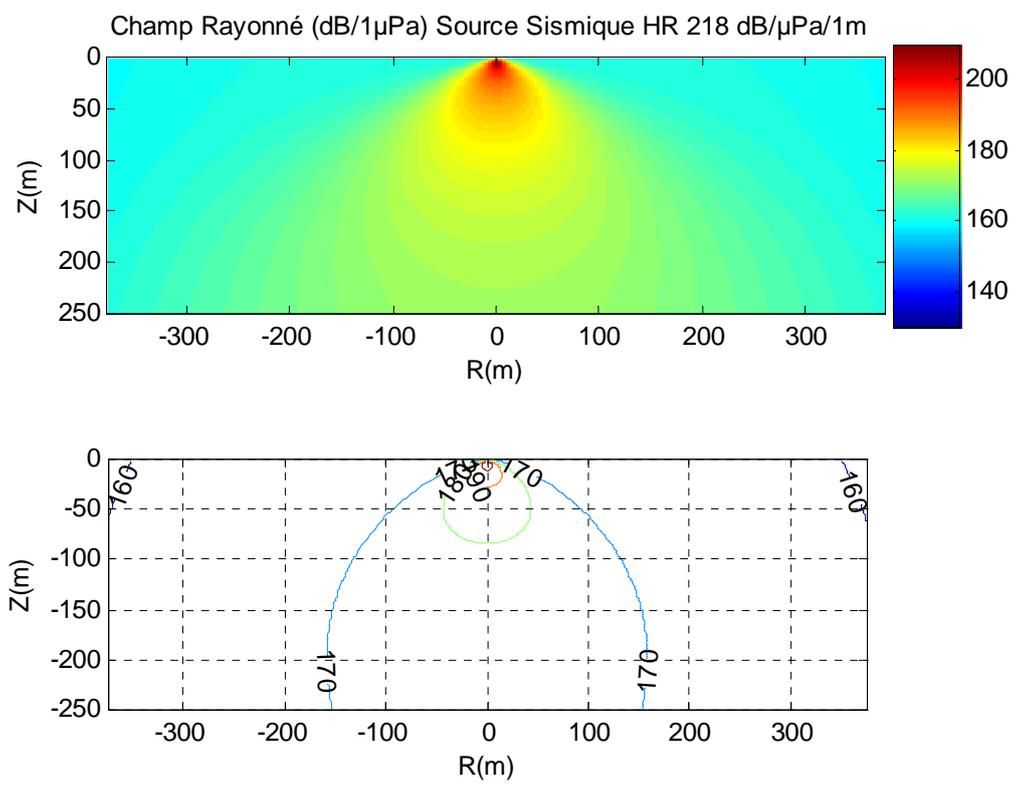
profondeurs de 500 m sous la source et un rayon d'environ 300 m. La zone à 160 dB re 1 μ Pa s'étend jusqu'à 1000-2000 m de la source. on fait la même remarque que précédemment quant à la durée et la cadence des émissions.

Enfin dans le cas de la sismique HR plateau (un canon mini-GI) présentée ici pour une hauteur d'eau de 250 m, la zone à 180 dB re 1 μ Pa est limitée à 100 m environ de la source ; la limite des 160 dB re 1 μ Pa est atteinte dès environ 350 m de la source.

On constate donc que les niveaux de risques sont très variables selon les types de systèmes sismiques considérés. D'un côté, la sismique HR plateau ne présente probablement pas de danger pour les mammifères marins. A l'autre bout de la chaîne, la sismique lourde justifie des précautions d'emploi maximales.





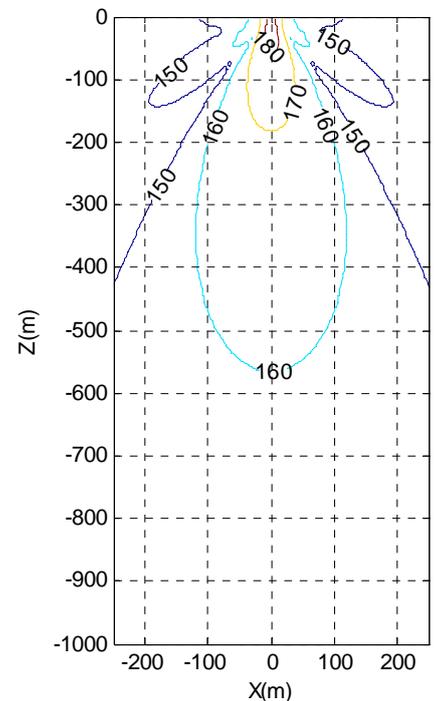
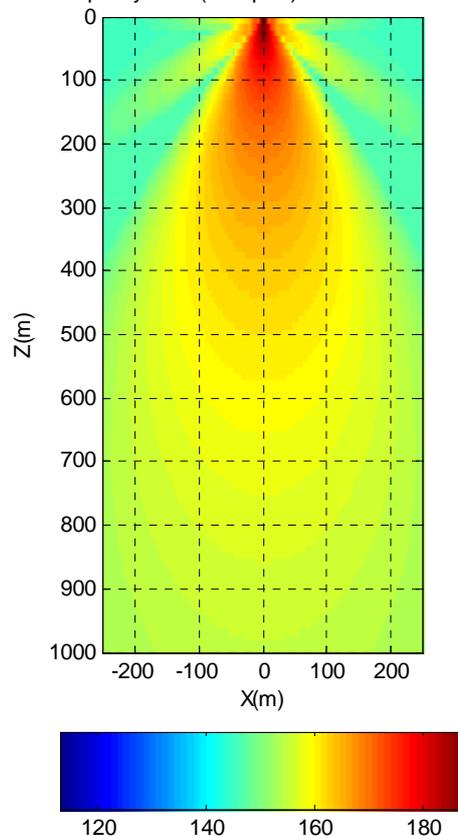


5.2.2. Sondeurs de sédiments

Le modèle est à peu près le même que pour la sismique : toutefois l'effet de dipôle dû à la réflexion surface n'a pas à être pris en compte du fait de la directivité intrinsèque du transducteur installé sous la coque du navire porteur ; cette directivité remplace le phénomène d'interférence dû à la réflexion de surface. Dans les directions obliques où l'insonification directe est négligeable on prend en compte le trajet réfléchi sur le fond ; toutefois celui-ci est d'amplitude assez faible, du fait de la distance de propagation à considérer, et de la perte à la réflexion sur le fond.

On prend ici le cas du sondeur de sédiments du *Suroît*, dont le niveau émis est notablement élevé pour un sonar de ce type. Le diagramme de directivité est celui d'une antenne plane circulaire émettant vers le bas. Du fait du niveau d'émission relativement modeste (215 dB re 1 μPa @1m) la zone des 180 dB re 1 μPa est très restreinte (moins de 100 m en vertical). La zone des 160 dB re 1 μPa s'étend à 600 m en vertical, mais ne couvre que 200 m environ en horizontal. Les risques présentés par ce sondeur vis-à-vis des mammifères marins sont donc négligeables ; ceci en dépit du fait que les durées d'émission des signaux utilisés sont relativement longues comparées à celles des autres systèmes sonar (couramment 50 ms, et jusqu'à 80 ms).

Champ Rayonné (dB/1 μPa) - Sond. Sed. Suroit



5.2.3. Sondeurs multifaisceaux

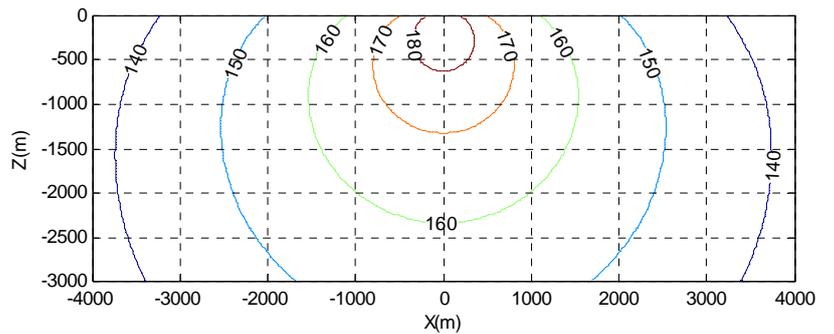
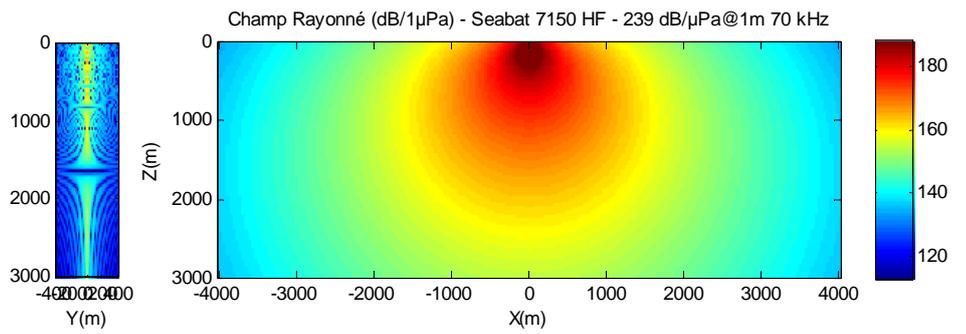
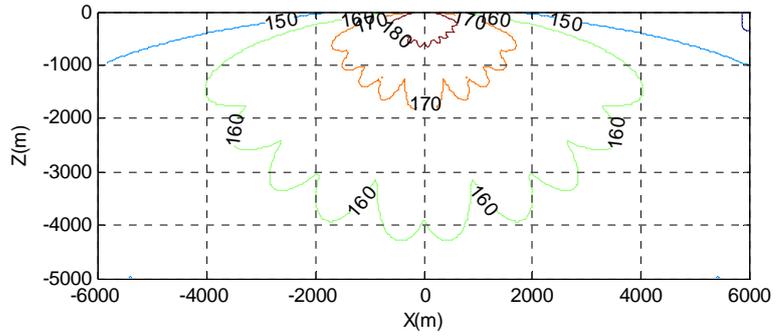
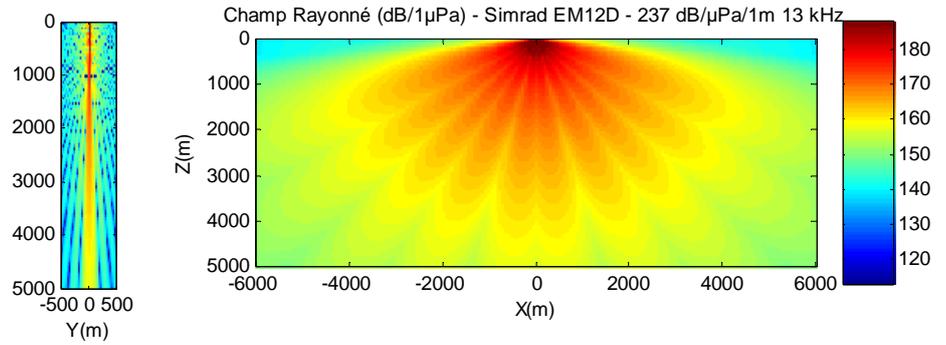
Pour les sondeurs multifaisceaux, on considère le champ lointain rayonné par l'antenne d'émission à la fréquence nominale, en considérant le niveau maximal disponible. Le champ direct est obtenu simplement par la perte de transmission classique modulée par le diagramme de directivité à l'émission ; dans le cas d'une émission sectorielle (sondeurs Kongsberg), on considère la sommation des différents secteurs. Dans les zones où l'insonification directe est négligeable (près de l'horizontale) on prend en compte le trajet réfléchi sur le fond ; toutefois celui-ci est d'amplitude assez faible, du fait de la distance de propagation à considérer, et de la perte à la réflexion sur le fond. Le champ étant très inhomogène dans le plan horizontal du fait de la configuration particulière de l'antenne d'émission (très longue dans l'axe du navire), il est représenté dans le plan vertical selon les directions transversale (large ouverture) et longitudinale (directivité étroite).

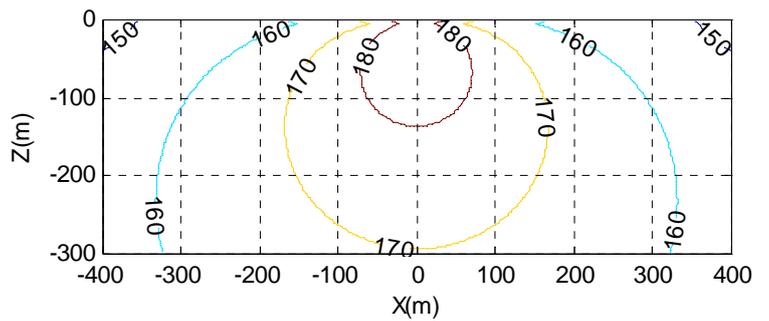
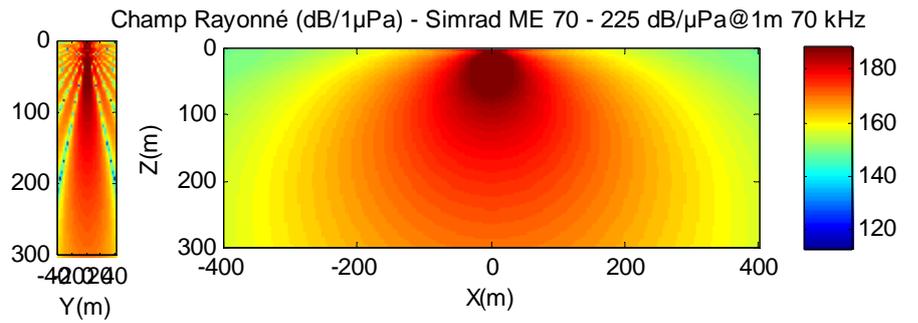
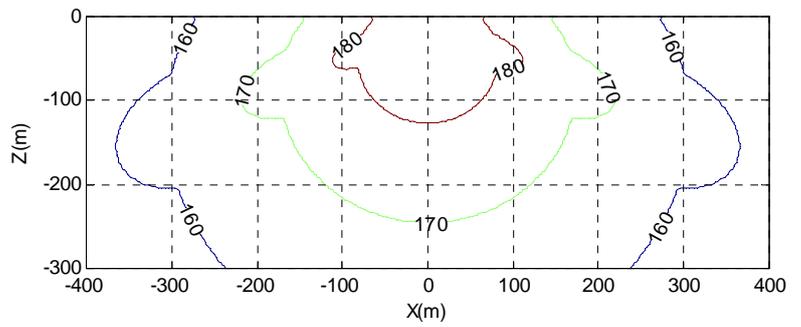
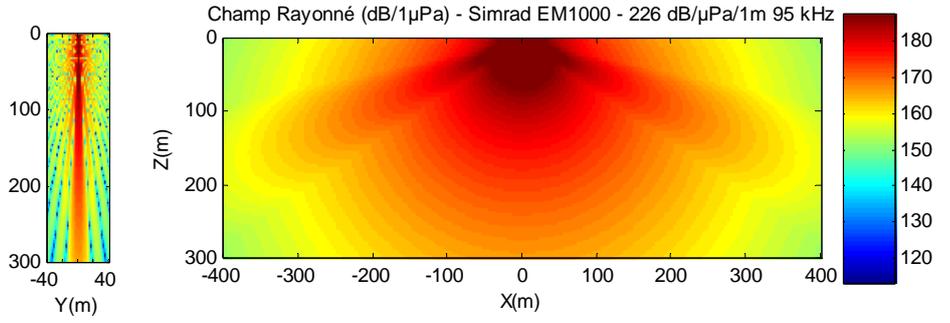
On examine d'abord le Kongsberg EM 12 de *L'Atalante* (13 kHz). En longitudinal (à gauche sur le schéma) le secteur insonifié est très étroit (2°) et la zone éclairée est donc très restreinte. En transversal, le diagramme de directivité à l'émission couvre environ 150° ; sa modulation en fonction des différents secteurs est clairement observable. La zone des 180 dB re 1 μ Pa est limitée à environ 500 m de la source dans toutes les directions ; la limite des 160 dB re 1 μ Pa s'étend à environ 4000 m de la source.

Ces chiffres doivent être tempérés en remarquant que d'une part la couverture spatiale du sondeur (dans l'espace) reste très limitée du fait de l'ouverture étroite en longitudinal ; d'autre part les signaux sont très courts (de quelques ms, maximum 20 ms par fonds de 5000 m) et surtout émis à des cadences très lentes (par exemple de l'ordre de 20 sec, par 5000 m de fond). Si l'on tient compte de la durée d'émission dans la définition du seuil (voir §4.3), on trouve que pour des émissions de 20 ms chaque seconde, les seuils doivent être augmentés de $10 \log(50) = 17$ dB ; les niveaux A et B se trouvent alors à 197 et 177 dB re 1 μ Pa, et les distances de risque sont alors environ 7 fois moindres. La prise en compte de la faible cadence de tir en grands fonds augmenterait encore ces seuils.

Avec le Reson Seabat 7150 du *Pourquoi pas?*, le niveau émis maximal est légèrement supérieur à celui de *L'Atalante*. Les distances de niveau A et B sont respectivement de 600 m et 2400 m (environ) vers la verticale. En tenant compte d'une durée d'impulsion de 15 ms, les seuils sont à augmenter de 18 dB, et les distances de risque sont alors environ 8 fois moindre.

Pour le Kongsberg EM1000 et le Simrad ME 70, les résultats sont beaucoup moins pénalisants. La distance du seuil 180 dB re 1 μ Pa est obtenue à environ 100 m de la source ; et les 160 dB re 1 μ Pa sont atteints à environ 300 m. Les rayons de nuisance sont donc relativement faibles. Si l'on tient compte de la durée d'émission dans la définition du seuil (voir §4.3), on trouve que pour des émissions de 5 ms à une cadence de deux fois par seconde, les seuils doivent être augmentés de $10 \log(100) = 20$ dB; les niveaux A et B se trouvent alors à 200 et 180 dB re 1 μ Pa, et les distances de risque sont alors environ 10 fois moindres.





5.2.4. Analyse et conclusions

L'étude des risques présentés pour les mammifères marins par les systèmes acoustiques et sismiques mis en œuvre par l'Ifremer fait apparaître que :

- Le risque de niveau le plus élevé est présenté par la source de sismique multitrace (équivalents à 252 dB re 1 μ Pa@1m) et dans une mesure nettement moindre les sources SISRAP et HR conventionnelle, du fait des très fortes énergies émises dans une gamme de fréquence très basse et sans directivité ; des précautions d'emploi particulières seront à mettre en place dans le cadre de la mise en œuvre de ces systèmes (voir le chapitre 6 consacré aux mesures de protection) ;
- La sismique HR plateau présente un risque bien moindre, du fait de sa puissance émise limitée ;
- Les sondeurs de sédiments sont avantagés par des niveaux d'émission relativement modestes et par leur directivité sélective, et présentent peu de risques ;
- Les sondeurs multifaisceaux basse fréquence émettent des niveaux localement très intenses, de l'ordre de 240 dB re 1 μ Pa@1 m ; ceci est vraisemblablement compensé par leur directivité très sélective, ainsi que par la rareté et la brièveté des émissions, qui réduisent d'autant la probabilité d'insonification ; toutefois du fait des niveaux instantanés mis en jeu, la mise en place de mesures de précaution est à envisager.
- Les sondeurs multifaisceaux haute fréquence et les sonars latéraux, mis en œuvre très près du fond, émettent des spectres de fréquence trop élevés et trop localisés pour être considérés comme dangereux ;
- Aucun sondeur ou sonar de pêche ne présente de réel danger, du fait de leur niveau d'émission, ou de leur sélectivité spatiale et/ou de la brièveté de leurs émissions.
- De même les profileurs Doppler sont très directifs et émettent des puissances relativement modestes réparties sur des spectres fréquentiels très larges. Leur nocivité envers les mammifères marins est donc négligeable.
- Enfin les systèmes de positionnement et de télécommande émettent des puissances acoustiques trop faibles pour être considérés ici.

6. Mesures de protection

Que les effets des différents instruments acoustiques sur les mammifères marins soient avérés ou non, une approche de précaution est préconisée par les différents groupes de réflexion qui se sont penchés sur la question. Les différentes approches possibles sont listées et commentées ci-dessous.

6.1. Présentation des mesures possibles

6.1.1. Changement de technologie

Dans l'état actuel de la technologie, il n'y a pas d'indication de technique émergente constituant une alternative générale aux ondes acoustiques et permettant l'exploration du milieu marin pour cartographier, détecter la biomasse, explorer le sous-sol, etc. avec une efficacité compatible avec les besoins actuels. Dans le domaine de la sismique, on voit cependant certains spécialistes préconiser l'accélération des recherches et de la mise au point de techniques « vibratoires » (*Vibroiseis acoustic signal and propagation*). Les avis semblent mitigés sur la meilleure acceptation de ces techniques par la vie marine et en particulier par les mammifères marins : la nécessité prévisible d'allonger la durée des opérations de prospection compenserait pour partie le gain d'acceptabilité instantanée.

6.1.2. Modification des émissions

Le principe (radical) est de changer les caractéristiques acoustiques des sonars afin d'émettre des signaux sans danger, ou moins dangereux, et/ou adopter une stratégie d'émission adaptée (à certaines heures, à certaines saisons).

Cette option, apparemment de bon sens, se heurte à certaines objections :

- De telles mesures demanderaient une très bonne connaissance et la maîtrise de ce qui est nocif et de ce qui ne l'est pas ; on a vu qu'on en est loin.
- Cela suppose que l'on puisse changer les niveaux et/ou spectres sans que les signaux utilisés perdent de leur efficacité dans leur utilisation nominale. Or les signaux artificiels sont soigneusement optimisés en fonction de leur utilisation.

Il existe des variantes moins radicales et plus réalistes : le *ramp-up* ou *soft-start* (voir § 6.1.5) permettant d'alerter les mammifères marins présents sur zone du début des émissions ; ou encore le remplacement des impulsions brèves et intenses par des signaux modulés, étalés dans le temps, émis à plus faible niveau ; pour cette dernière solution il n'est pas évident que l'on y gagnerait au plan des perturbations auditives, l'énergie sonore émise étant la même. Une mesure élémentaire qui peut être prise aisément est de limiter, en opération, les durées et niveaux d'émission au strict

nécessaire en fonction des hauteurs d'eau explorées et des couvertures visées. Toutefois, ce type de limitations est en général déjà appliqué – pour d'autres raisons liées à la qualité des données acquises.

6.1.3. Détection visuelle par des observateurs

Des observateurs spécialisés équipés de jumelles surveillent la présence de mammifères marins en surface. C'est un procédé classique et de bon sens, mais malheureusement d'efficacité limitée, car :

- sa portée est faible (500 m?) ;
- il ne fonctionne pas la nuit, ni par mauvais temps ;
- il impose de mobiliser plusieurs personnes par navire pour cette tâche (en permanence au moins deux observateurs) ;
- il ne concerne pas les Cétacés qui passent une grande partie du temps en plongée, comme les baleines à bec.

En revanche, cette méthode permet d'être très réactif et d'agir avec le maximum de pertinence et en temps réel en fonction des observations. De plus on accroît ainsi les connaissances disponibles sur le comportement des mammifères marins en présence des perturbations sonores et sur l'efficacité des mesures de protection mises en œuvre.

6.1.4. Sonars spécialisés pour la détection de Cétacés

Le principe est d'utiliser un sonar soit actif (de type sonar panoramique de pêche) soit passif (déteçant et analysant les vocalisations des Cétacés) pour détecter la présence de mammifères sur une zone potentiellement peuplée⁴.

- L'US Navy a fait développer un sonar actif de surveillance panoramique (30-40 kHz, 4 faisceaux, rotation mécanique), monté sur l'émetteur SURTASS pour détecter les mammifères marins dans la zone de nuisance potentielle. Des essais ont été menés sur des dauphins dressés, annoncés comme satisfaisants, mais il n'est pas fait mention de détections de Cétacés en mer.
- Sonar passif : ce procédé est très intéressant sur le principe. Toutefois il est évidemment limité aux espèces produisant des vocalises à des fréquences assez basses, et nécessite une interprétation par un spécialiste embarqué. La distance potentielle de détection serait à évaluer ainsi que la capacité de localisation angulaire ; ces performances sont pénalisées par la nécessité d'écoute en bande large sans connaissance a priori des signaux à détecter. C'est en revanche un système peu coûteux, et non intrusif, et qui reste donc à tester (en portée et capacité de détection-localisation). L'installation d'un

⁴ Décrit en anglais respectivement comme *Active Acoustic Monitoring* (AAM) et *Passive Acoustic Monitoring* (PAM).

sonar passif dédié pourrait être envisagée à la refonte de *l'Atalante*, qui est porteur aujourd'hui des systèmes sismiques et sonars les plus potentiellement nocifs ; mais des travaux exploratoires préliminaires pourraient commencer en utilisant l'actuelle installation *SABRINA*⁵ de la *Thalassa*.

6.1.5. Régime de démarrage ramp-up (rampe) ou soft start

Cette technique "de la rampe", très simple à mettre en œuvre, consiste en une augmentation progressive du niveau d'émission. Le Cétacé alerté par les premières émissions est supposé s'éloigner de la source, et se trouver hors de danger lorsque les émissions atteignent leur niveau maximal. Cette procédure est couramment mise en œuvre aux USA.

Les conditions pour que la mesure soit efficace :

- que les Cétacés comprennent la manœuvre et s'éloignent de la source, et qu'ils soient capables de déterminer dans quelle direction s'éloigner, donc que le niveau initial ne soit pas à un niveau tel qu'il les désoriente déjà ;
- que la durée de la rampe leur laisse le temps de s'éloigner pour qu'à la fin de la rampe ils aient compensé l'augmentation du niveau ; ce point est analysé en annexe 4 ;
- qu'ils ne soient pas en plongée profonde au début de la rampe ; leur réaction pourrait être de remonter vers la surface et d'aggraver ainsi leur exposition (comportement probablement fatal pour les baleines à bec).

Ce procédé est très intéressant dans la mesure où il n'implique pas de modification ou d'ajout de matériel, et où il pénalise au minimum les opérations à la mer. Nous recommandons son emploi dans le cas de la sismique lourde et éventuellement des sondeurs multifaisceaux basse fréquence.

6.1.6. Répulsifs acoustiques

Cette variante du *ramp-up* consiste à utiliser l'émission de signaux acoustiques artificiels pour éloigner les mammifères avant la mise en œuvre d'activités supposées dangereuses (ces dernières ne sont pas nécessairement acoustiques : le principe est déjà utilisé pour équiper certains engins de pêche afin d'éviter les captures de dauphins).

- Il faut définir des signaux suffisamment efficaces et donc dissuasifs sans être eux-mêmes potentiellement dangereux ; vu l'imperfection des connaissances actuelles sur l'audition des Cétacés, on conçoit que cette définition est difficile à mener. Des travaux dans ce domaine sont en cours à l'Ifremer (programme européen NECESSITY) depuis plusieurs années ; on en trouvera une présentation partielle dans (Le Gall 2004).

⁵ Ce système est destiné à une auto-surveillance du bruit et des signaux sonar rayonnés dans l'eau par le navire ; de fait les hydrophones installés sur la coque et leur chaîne de réception permettent d'acquérir les signaux acoustiques générés par des sources extérieures.

- Plus les signaux à émettre sont sophistiqués (pour répondre au critère ci-dessus) plus ils sont spécialisés pour des espèces données, du fait des variabilités audiométriques, et donc d'une efficacité d'autant plus limitée. Il serait peut-être plus efficace d'utiliser des signaux assez basiques et polyvalents, dans une gamme de fréquence commune à tous les mammifères marins (autour de 10 kHz).
- Les portées maximales des répulsifs actuels sont assez limitées ; ils ne peuvent donc assurer individuellement un rôle d'avertisseur efficace pour des systèmes sismiques ou sonar portant beaucoup plus loin. Il serait sans doute plus pertinent de les déployer préventivement sur une zone donnée de manière semi-permanente (mouillages, bouées,...) pour constituer temporairement une "clôture acoustique" (par analogie avec l'effet sur terre d'une clôture électrique) autour d'un chantier sur lequel des émissions potentiellement dangereuses peuvent avoir lieu.

6.2. Dispositifs de prévention en place aujourd'hui

6.2.1. Cadre réglementaire

Etats Unis d'Amérique

Aux Etats Unis, le dispositif réglementaire de protection des Mammifères marins est cadré par deux lois, le MMPA (*Marine Mammal Protection Act*) de 1972, plusieurs fois modifié depuis, et le *Endangered Species Act* (ESA, 1973). Au regard du MMPA, il est interdit de « prendre » (take) des mammifères marins dans les eaux américaines, et interdit aux citoyens américains de le faire dans les eaux internationales.

D'autre part, la loi sur la politique nationale d'environnement (*National Environment Policy Act*, NPA) demande que tout programme ou projet contrôlé au plan fédéral doit produire une étude prévisionnelle d'impact (*Environmental Impact Statement*, EIS) pour être éventuellement autorisé.

Une autorisation peut être délivrée par l'administration fédérale, sur demande argumentée (objectifs, étude d'impact, mise en œuvre de mesures d'atténuation, etc., cf annexe 5) en particulier dans le cas de la recherche scientifique, de la sismique marine (prospection et activité pétrolière) et de la marine de guerre (US Navy). La NOAA⁶, par son service des pêches, le NMFS (*National Marine Fisheries Service*) est l'administration compétente tant pour la définition des critères pour une EIS (NOAA 2005), que pour l'évaluation des dossiers des demandeurs. La demande peut se faire à deux niveaux : la demande de prise occasionnelle ou fortuite (*Incidental Take Authorization*), pour obtenir une lettre d'autorisation (LOA, *Letter Of Authorization*) instituée depuis 1981. Mais en 1994, suite à un amendement du MMPA qui redéfinit la prise occasionnelle en

⁶ Voir entre autre : <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/laws/esa.htm>

précisant la notion de « harcèlement » (*Incidental harassment*), est introduite la IHA (*Incidental Harassment Authorization*). La IHA est seulement nécessaire si la garantie est donnée d'absence de blessure sérieuse ou de mort, ou que le risque peut être prévenu par des mesures d'atténuation (*mitigation*). Si tel n'est pas le cas, ou si on ne peut démontrer ou apporter les garanties nécessaires, il faut demander une LOA. C'est toujours le cas pour l'US Navy et l'utilisation de ses sonars basse fréquence ; l'US Navy a par ailleurs demandé en 2002 au Congrès de revoir la définition du niveau B du harcèlement. L'interprétation des termes de la loi a donné lieu à de nombreuses contestations portées au plan juridique aux USA, la réglementation a plusieurs fois changé. L'introduction de la notion de harcèlement acoustique (*acoustic harassment*) est en attente de la définition de critères par le NMFS. Au début 2006, le comité d'avis, mis en place à la fin 2003 par la *Marine Mammal Commission* (MMC)⁷ pour statuer sur l'impact acoustique sur les mammifères marins, n'a pas réussi à rendre un rapport de synthèse, remplacé par une compilation des positions individuelles de ses membres.

Autres pays

Le Canada est également utilisateur et développeur de sonars de type LFAS (voir une présentation de cette activité par le Département de recherche et développement pour la défense http://www.drea.dnd.ca/factsheets/lfa_f.shtml) ; il est également fait usage de sismique réflexion dans le cadre de la recherche d'hydrocarbures. Des demandes d'autorisation sont faites dans un cadre classique d'étude d'impact préalable (voir par exemple <http://www.esrfunds.org>). La marine canadienne assure mettre en place les précautions nécessaires pour minimiser les risques encourus par les mammifères marins lors de ses essais en mer. Il n'y a pas à notre connaissance de règlement ni de procédure équivalents à ceux en usage aux USA.

Au Royaume Uni, le JNCC (*Joint Nature Conservation Committee*) qui est le comité d'avis au le gouvernement pour la faune sauvage, a publié un guide de précautions et d'actions pour minimiser les perturbations acoustiques envers les mammifères marins lors de campagnes sismiques. (http://www.jncc.gov.uk/pdf%5Cseismic_survey_guidelines_200404.pdf). Le guide donne une série de précautions d'ordre général, une méthode précise et détaillée pour la mise en œuvre de la procédure de rampe (*soft start*), les recommandations pour l'embarquements d'observateurs de mammifères marins, pour l'utilisation de la surveillance passive (PAM).

En mer Méditerranée, le Comité scientifique de l'Accord sur la conservation des cétacés (ACCOBAMS) a publié à l'issue de sa réunion de mai 2005 un document très complet contenant les recommandations et les guides pour prendre en compte l'impact de la pollution sonore sur les mammifères marins en Méditerranée.

Au niveau européen, la question a été posée de l'impact des sons sur l'environnement marin, mais il n'y a pas à notre connaissance d'initiative

⁷ Commission permanente mis en place dans le cadre du MMPA (<http://www.mmc.gov/>)

européenne formalisée pour une prévention des risques acoustiques envers les mammifères marins.

6.2.2. Initiatives hors champ réglementaire national

Le centre de recherche sous-marine de l'OTAN (NURC, ex-SACLANTCEN) a établi des règles pour diminuer les risques encourus par l'homme et les mammifères marins lors d'essais en mer impliquant des émissions sonores de haute intensité (*NATO Staff Instruction 77*, 10 mai 2004, in ACCOBAMS 2005). Le document (voir un extrait en Annexe 7) donne des instructions précises quant à la zone à choisir, les niveaux sonores émis, les procédures de rampe, les informations à collecter pour l'observation des mammifères marins, sans préciser toutefois si cette dernière tâche revient à des spécialistes civil.

La Compagnie Générale de Géophysique (CGG) a mis en place des mesures de prévention sur ses navires de prospection : embarquement d'observateurs (indépendants, mais frais pris en charge par la CGG) ; mise en route progressive des *airguns* (ramp-up de 20 à 40 mn) suivant une phase de non-détection visuelle de 30 mn ; arrêt immédiat en cas de détection dans le rayon d'exclusion. Ces mesures sont précisément définies, et font l'objet pour chaque campagne d'un rapport relatant tous les événements observés.

La CGG conduit des études d'évaluation de risque, mais pas des études d'impact, sauf demande expresse du client. Elle participe à des actions conjointes de R&D dans ce domaine, sur financement des majors de l'industrie offshore, au sein de l'IAGC (*International Association of Geophysical Contractors*) ; ces actions sont destinées à anticiper d'une part les évolutions de réglementation dans le domaine, et d'autre part d'éventuelles attaques environnementalistes contre les professionnels de l'industrie offshore⁸.

En France, la Marine Nationale a mis en place⁹ des mesures de prévention comparables à celles de la CGG et du NURC pour ses activités de mise en œuvre de sonars actifs TBF.

⁸ Informations recueillies au cours d'une rencontre avec les responsables Environnement de la CGG le 21 novembre 2005 au siège de l'Ifremer.

⁹ Informations recueillies au cours d'une rencontre avec la Marine Nationale le 28 novembre 2005 au siège de l'Etat-Major.

7. Conclusions générales et recommandations

Les mammifères marins utilisent de manière très complexe les ondes acoustiques, qui leur sont d'une importance vitale, pour communiquer entre eux mais aussi pour évaluer l'environnement dans lequel ils se déplacent se nourrissent et se reproduisent. Il a été prouvé dans de nombreux cas que les émissions acoustiques d'origine artificielle ont un effet sur le comportement, voire l'état physique des mammifères marins. Une relation directe a été plusieurs fois montrée entre l'usage de sonars militaires à basse fréquence et forte puissance et des échouages massifs de cétacés ; d'autres activités très bruyantes, comme la sismique à forte puissance, sont également mises en question, sans que leur nocivité réelle ait pu être établie de manière définitive. L'ensemble des communautés industrielle, militaire et scientifique est donc interpellé aujourd'hui par les risques réels et potentiels que leurs activités acoustiques font courir aux mammifères marins, même s'il semble clair que ces risques ne représentent qu'une part minoritaire des pressions auxquelles sont soumises ces populations animales.

L'intérêt pour ces problèmes étant relativement nouveau à l'Ifremer, et notre implication actuelle sans commune mesure avec les efforts consentis depuis plusieurs années par d'autres communautés, nous avons surtout cherché à effectuer une synthèse d'éléments tangibles disponibles aujourd'hui, généralement admis par la communauté spécialisée. L'objectif est de pouvoir effectuer rapidement une évaluation des risques générés par les activités acoustiques de l'Institut, et de constituer un premier noyau d'expertise interne. Notre rapport comporte donc des éléments sur le bilan des risques acoustiques présentés par l'activité humaine, et sur les caractéristiques auditives des mammifères marins. Nous discutons la définition de seuils objectifs de dangerosité ; ce dernier sujet constitue un point clé dans la définition des mesures de protection ; du fait de son extrême complexité, nous nous en sommes tenus à retenir des valeurs de seuils classiquement admises comme conservatives.

Les différents équipements acoustiques et sismiques utilisés sur les navires de l'Ifremer ont ensuite été passés en revue en fonction de leurs caractéristiques d'émission, et d'une échelle de dangerosité potentielle établie selon des critères réalistes au regard des connaissances actuelles. Le champ acoustique rayonné a été modélisé pour les systèmes potentiellement les plus agressifs (basses fréquences, forts niveaux, faible directivité). Nous en concluons que la plupart de ces systèmes ne sont probablement pas dangereux pour les mammifères marins ; exception faite des sources sismiques (sauf la HR plateau, de puissance relativement faible), et dans une moindre mesure des sondeurs multifaisceaux basse fréquence.

Nous proposons finalement une série de mesures pour 1) prévenir les risques éventuels liés à certaines de nos activités, 2) faire progresser les connaissances sur le sujet :

1. à court terme, dans le cadre de la mise en œuvre de sismique lourde et des sondeurs multifaisceaux basse fréquence :

- Définir et pratiquer une procédure de démarrage progressif (*ramp up*) ;

- Embarquer dans la mesure du possible des observateurs spécialisés sur les campagnes de sismique lourde, avec mise en place de procédures rigoureuses d'observation et de rapport ;
- Mener des opérations (documents, exposés-discussions) de sensibilisation des utilisateurs (opérateurs, scientifiques).
- Nous rapprocher des partenaires concernés par des problématiques identiques (offshore pétrolier) ou voisines (Marine) pour information mutuelle sur l'évolution des connaissances et des procédures de prévention mises en place.

2. à moyen terme :

- Développer des outils prévisionnels des niveaux de pollution acoustique, facilement utilisables par les utilisateurs ; améliorer notre compréhension (bibliographie, modélisation) des seuils de risques en fonction des paramètres des signaux émis ;
- Tester les capacités de surveillance passive (à partir des installations acoustiques de la *Thalassa*), et le cas échéant définir, développer et mettre en œuvre des matériels et des procédures spécialisées ;
- Poursuivre les travaux actuels sur les répulsifs acoustiques ; actuellement étudiés pour l'équipement des filets de pêche, ces systèmes pourraient être étendus à d'autres configurations ;
- Evaluer les effets des mesures de protection qui auront été mises en place et perfectionner les procédures.

3. à plus long terme :

- Participer (dans la limite de nos spécialités scientifiques et technologiques) à des programmes de recherche en collaboration avec les autres communautés concernées, ainsi qu'aux éventuelles instances chargées dans l'avenir de définir des réglementations. L'Ifremer travaille déjà en partenariat avec le CRMM-Université de La Rochelle dans les projets NECESSITY et PETRACET. D'autres instances pourraient être mobilisées, en particulier pour fournir des observateurs embarqués et améliorer les protocoles de collecte d'information (GECM, CIRCÉ, RIMMO en Méditerranée, OCEANOPOLIS pour l'Atlantique, NAUSICAA) ; nous préconisons également des rapprochements avec des centres européens spécialisés comme le SMRU (*Sea Mammals Research Unit*) de l'université de St Andrew au Royaume Uni, ou l'Université Polytechnique de Catalogne. On notera que les campagnes PELGAS, IBTS, EVHOE menées à bord de la *Thalassa* embarquent déjà des observateurs spécialisés en mammifères marins, dans le cadre de l'approche écosystémique.
- Continuer de manière permanente une veille active sur ces thèmes à l'Ifremer, sous forme d'un groupe de travail formellement constitué, incluant des spécialistes de l'halieutique et de l'ingénierie acoustique. Ce groupe constituera le noyau d'expertise de l'Institut sur ces questions, et agira en responsable de projet vis-à-vis des diverses actions listées ci-dessus.

Bibliographie

ACCOBAMS, 2005. Recommendations and guidelines to address the issue of the impact of anthropogenic noise on marine mammals in the Mediterranean Sea: toward a permit system for the ACCOBAMS area. Third meeting of the Scientific committee, Cairo may 2005, SC3/Doc20, 22pp. plus annexes.

Anon., 2004. Les enjeux liés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE-Q), rapport 193, Québec, août 2004

Anon., 2004. SCAR report on marine acoustic technology and the Antarctic environment. IHO Hydrographic Committee on Antarctica (HCA) 4th meeting, Kythmos, Greece, sept 2004, Information paper 078

Committee on Potential impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals *Ocean Noise and Marine Mammals*, The National Academic Press, Washington D.C. www.nap.edu, 2003

Crum, L.A., and Y. Mao. 1996. Acoustically enhanced bubble growth at low frequencies and its implications for human diver and marine mammal safety. *J. Acoust. Soc. Am.* 99 :2898-2907.

Cudalhy E. & Ellison W.T. A review of the potential for in vivo tissue damage by exposure to underwater sound", Rapport Naval Submarine Medical Research Laboratory, 2002

Dhermain F. 2000. Les échouages de Cétacés en Méditerranée de 1972 à 1999. Rapport RIMMO 2000

www.cetaces.com

Duguy R. A. Aguilar, A. Casinos, E. Grau, J. A. Raga, 1988. Etude comparative des échouages de Cétacés sur les côtes méditerranéennes de France et d'Espagne. GdT CIESM sur les mammifères marins, 13pp.

FAO, 2004. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture

Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Carder, D. A., Clark, J. A., Young, J. A., Gaspin, J. R., and Ridgway, S. H. (2000). Auditory and behavioral responses of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and a beluga whale (*Delphinapterus leucas*) to impulsive sounds resembling distant signatures of underwater explosions". *Journal of the Acoustical Society of America* 108(1), Jul 417–431.

Finneran, J.J., 2001 Finneran, J.J., D.A. Carder, and S.H. Ridgway. 2001. "Temporary threshold shift (TTS) in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* exposed to tonal signals." *Journal of the Acoustical Society of America* 1105:2749(A), 142nd Meeting of the Acoustical Society of America, Fort Lauderdale, Florida. December.

Finneran, J.J., R. Dear, D.A. Carder, and S.H. Ridgway. 2002. "Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun." *Journal of the Acoustical Society of America* 111(6):2929-2940.

Finneran, J.J., D.A. Carder, and S.H. Ridgway. 2003a. "Temporary threshold shift measurements in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*, belugas *Delphinapterus leucas*, and California sea lions *Zalophus californianus*." Environmental Consequences of Underwater Sound (ECOUS) Symposium, San Antonio, TX, 12-16 May 2003.

Finneran, J.J., Dear R., Carder D.A., and Ridgway S.H.. 2003b. "Auditory and behavioral responses of California sea lions *Zalophus californianus* to underwater impulses from an arc-gap transducer." *Journal of the Acoustical Society of America* 114:1667-1677.

Frantz A., 1998. Does acoustic testing strand whales ?, *Nature*, vol.392, pp29

Hildebrand J. 2004. Source of Anthropogenic Sound in the Marine Environment. *Marine Mammal Commission*;
www.mmc.gov/sound/internationalwrkshp/backgroundpapers.html

ICES 2004 Advisory Committee on Ecosystems *Report of the Ad-hoc Group on the Impact of Sonar on Cetaceans and Fish (AGISC)*, rapport ICES CM 2005/ACE :01, 2004

IWC, 2005 (International Whaling Commission, CBI). Report of the scientific committee, 74 pp, Meeting Report:
<http://www.iwcoffice.org/meetings/meeting2005.htm>

Jepson P.D *et al.*, 2003. Gas-bubble lesions in stranded cetaceans, *Nature*, vol. 425, pp 575

Jonathan C.D. Gordon, Douglas Gillespie, John R. Potter, Alexandros Frantzis, Mark P. Simmonds & René Swift " The effects of seismic surveys on marine mammals", Proceedings of the UK Seismic and marine mammals workshop, London, 23-25 June 1998

Kastak D. & Schusterman R.J., "Low-frequency amphibious hearing in pinnipeds : Methods, measurements, noise and ecology", *J.Acoust.Soc.Am.* 103 (4) pp 2216-2228, 1998

Ketten, D.K. *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, 1998

Le Gall Y., Origné L., Scalabrin C. & Morizur Y. "Le répulsif à cétacés : performances acoustiques requises". Actes de la XIIIème Conférence Internationale sur les Cétacés, Nice, 13 novembre 2004

LGL 2001. Review of the potential effect of seismic exploration on marine animals in the Beaufort Sea, rapport d'étude LGL project TA 2582-2, 11 juin 2001

MMS 2004. Geological and Geophysical Exploration for Mineral Resources on the Gulf of Mexico Outer Continental Shelf - Final Programmatic Environmental Assessment, Rapport OCS EIS/EA MMS 2004-054, Published by U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, July 2004

MMC 2003 : Marine Mammal Commission, Annual Report to Congress 2003

MMC, 4340 East West Highway Room 905 Bethesda, Maryland 20814

Klinowska M. 1991. Dolphins, porpoises and whales of the world. *The IUCN Red Data Book*, IUCN & Cambridge Eds., 429pp.

Nachtigall, P.E., J.L. Pawloski, and W.W.L. Au. 2003a. "Temporary threshold shift and recovery following noise exposure in the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*).” *Journal of the Acoustical Society of America* 113:3425-3429.

Nachtigall, P.E., A. Supin, J.L. Pawloski, and W.W.L. Au. 2003b. "Temporary threshold shift after noise exposure in bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*).” *Marine Mammal Science* (in review).

Nedwell J.R. *et al.* 2004. Fish and Marine Mammal Audiograms : A summary of available information, *Subacoustech Report ref : 534R0214*, www.subacoustech.com NOAA, 2001 Joint Interim Report Bahamas Marine Mammal Stranding - Event of 15-16 March 2000

NOAA, 2005, *Endangered Fish and Wildlife : Notice of Intent to Prepare an Environmental Impact Statement*, Federal Register / Vol. 70, No. 7 / Tuesday, January 11, 2005 / Notices/ I.D. 060804F

Peter G.H. Evans "Biology of Cetaceans of the North-East Atlantic (in relation to Seismic Energy)", Proceedings of the UK Seismic and marine mammals workshop, London, 23-25 June 1998

NRDC, 2005. (*Natural Resources defense Council*) Sounding the depth II: the rising toll of sonar, shipping and industrial ocean noise on marine life. 73pp, nov 2005 www.nrdc.org

Pierson M. O. *et al.* 1998 Protection from, and mitigation of, the potential effects of seismic exploration on marine mammals", Proceedings of the UK Seismic and marine mammals workshop, London, 23-25 June 1998

Rapport Dept of the Navy, USA, 688 p, 2001 *Final Overseas Environmental Impact Statement and Environmental Impact Statement for Surveillance Towed Array Sensor System Low Frequency Active (SURTASS LFA) Sonar*,

Richardson W.J. *et al.*, 1995 *Marine Mammals and Noise*, Academic Press, San Diego, 576 pp

Ridgway, S. H. and Carder, D. A. (1997). "Hearing deficits measured in some *Tursiops truncatus*, and discovery of a deaf/mute dolphin". *Journal of the Acoustical Society of America* 101, 590–594.

Sarewitz D., 2004. How science makes environmental controversies worse. *Environmental Policy* 2004 385-403.

SCAR, 2004. Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) report on marine acoustic technology and the Antarctic environment. *Hydrographic Committee on Antarctica (HCA) HCA4-INF5 IP 078*, 4th meeting Kythmos, Greece 6-8 sept 2004, 17pp.

Schlundt, C. E., Finneran, J. J., Carder, D. A., and Ridgway, S. H. (2000). Temporary shift in masked hearing thresholds (MTTS) of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones. *Journal of the Acoustical Society of America* 107(6), 3496–3508.

Poisson F., C. Marjolet, K. Mété, M. Vampouille, 2001. Evaluation du phénomène de déprédation dû aux mammifères marins. *L'espadon : de la recherche à l'exploitation durable, Programme Palangre réunionnais, rapport final, Ifremer 2001*, p. 231-247

Stern J. S., 2002. Migration and Movement Patterns. *Encyclopedia of Marine Mammals*, Academic Press, p. 742-748

"Testing the Hearing of Whales and Dolphins", www.onlinezoologists.com/topics/mmsound/heartest

Thewissen J. G. M., 2002: Hearing. *Encyclopedia of Marine Mammals*, Academic Press, p. 570-574.

Tremblay, M. P., I. Mikaelian, C. Montpetit, S. Tessaro, C. House, D. Martineau, 1998. Séroprévalence de certaines maladies virales chez les bélugas de l'estuaire du St-Laurent, *Delphinus leucas*. 66^e congrès de l'Acfas, session S-107 Microbiologie, virologie. Résumé.

Turnpenny A.W.H. & Nedwell J.R. The Effects on Marine Fish, Diving Mammals and Birds of Underwater Sound Generated by Seismic Surveys, Rapport Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd, 50 p, 1994

USWTR, Draft Overseas Environmental Impact Statement, Undersea Warfare Training Range, Department of the Navy, Oct. 2005, disponible sur <http://projects.earthtech.com/USWTR/EIS/DEIS.htm>

Van Dyke J. M., Emily A. Gardner, Joseph R. Morgan, 2004. Whales, Submarines and Active Sonars © University of Chicago, 2004 *Ocean Yearbook* 18 : 330-363

W.T. Ellison & P.J.Stein, *SURTASS LFA High Frequency Marine Mammal Monitoring (HF/N3) Sonar : System Description and Test & Evaluation*, Rapport Marine Acoustics Inc., 1999

Annexe 1

Documentation extraite de la littérature

Espèce	Zone	Estimation minimale de la population (nombre d'individus)
Grand dauphin (a) <i>Tursiops truncatus</i>	Nord G. du Mexique	47 763 (estimation minimale)
B. à bec de Cuvier(a) <i>Ziphius cavirostris</i>	Nord G. du Mexique	30 (estimation minimale)
B. à bec indistinguées (a) <i>Ziphius et Mesoplodon</i>	Atlantique NO	2419 (estimation minimale)
B. à bec de Blainville (a) <i>Mesoplodon densirostris</i>	Nord G. du Mexique	Inconnue
Petit rorqual Minke whale(a) <i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Canada côte Est	3515 (estimation minimale)
Marsouin (b) <i>Phocoena phocoena</i>	Mer du Nord	198 000 (estimation minimale)
Lagenorhynchus sp (b)	Mer du Nord	2 700 (estimation minimale)
Dauphin bleu et blanc (c) <i>Stenella coeruleoalba</i>	Mer Ligure (sanctuaire)	25 000-35 000 109 ind/100 km
Rorqual commun (Fin whale) (c) <i>Balaenoptera physalus</i>	Mer Ligure (sanctuaire)	2 000 - 3 000 4,4 ind/100 km
Rorqual commun (d)	Atlantique Nord entier, pop moyenne entre 1969 et 1989	47 300 (compris entre 27700 et 82000)
B. à bec de Cuvier(a) <i>Ziphius cavirostris</i>	Mer Ligure (sanctuaire)	? 0,1 ind/100 km
Petit rorqual (Minke whale).(a), (b) <i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Mer du Nord	8100
Petit rorqual (d)	Hémisphère Sud, popul. Moyenne entre 1983 et 1989	761 000 (compris entre 510 000 et 1 140 000)
Baleine bleue (Blue whale) (d) <i>Balaenoptera musculus</i>	Hémisphère Sud, popul. Moyenne entre 1980 et 2000	400-1400
Mégaptère (Humpback whale) (d) <i>Megaptera novaeangliae</i>	Atlantique Nord-Ouest 1992	11 570
Mégaptère (d)	Hémisphère Sud 1988	10 000 (compris entre 5900 et 16800)

Tableau 1 : Effectifs de quelques populations de Cétacés

Provenance (a) U.S. Atlantic and Gulf of Mexico : Marine Mammal Stock Assessments – 2001, NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-168 ; (b) SCANS Report, 1994 ; (c) RIMMO, 2000 <http://www.rimmo.org/> ; (d) IWC, 2005 <http://www.iwcoffice.org/> .

Année	Lieu	Espèces (nombre)	Activités concomitantes (si observées)
1914	New York, USA	Zc (2)	
1963	Gulf of Genoa, Italy	Zc (15+)	Exercices militaires
1963	Gulf of Genoa, Italy	Zc (15+)	Exercices militaires
1963	Sagami Bay, Japan	Zc (8-10)	?Flotte US
1965	Puerto Rico	Zc (5)	
1966	Ligurian Sea, Italy	Zc (3)	Exercices militaires
1968	Bahamas	Zc (4)	
1974	Corsica	Zc (3), Striped dolphin (1)	Opération militaire
1974	Lesser Antilles	Zc (4)	Explosion militaire
1975	Lesser Antilles	Zc (3)	
1978	Sagami Bay, Japan	Zc (9)	?Flotte US
1978	Sagami Bay, Japan	Zc (4)	?Flotte US
1979	Sagami Bay, Japan	Zc (13)	?Flotte US
1980	Bahamas	Zc (3)	
1981	Bermuda	Zc (4)	
1981	Alaska, United States	Zc (2)	
1983	Galapagos	Zc (6)	
1985	Canary Islands	Zc (12+), Me (1)	Exercices militaires
1986	Canary Islands	Zc (5), Me (1), <i>Ziphiid</i> sp. (1)	
1987	Canary Islands	Me (3)	
1987	Italy	Zc (2)	
1987	Canary Islands	Zc (2)	
1988	Canary Islands	Zc (3), bottlenose whale (1), pygmy sperm whale (2)	Exercices militaires
1989	Sagami Bay, Japan	Zc (3)	?Flotte US
1989	Canary Islands	Zc (15+), Me (3), Md (2)	Exercices militaires
1990	Sagami Bay, Japan	Zc (6)	?Flotte US
1991	Canary Islands	Zc (2)	Exercices militaires
1991	Lesser Antilles	Zc (4)	
1993	Taiwan	Zc (2)	
1994	Taiwan	Zc (2)	
1996	Greece	Zc (12)	Essais de sonars basse fréquence
1997	Greece	Zc (3)	
1997	Greece	Zc (9+)	Exercices militaires
1998	Puerto Rico	Zc (5)	
2000	Bahamas	Zc (8), Md (3), <i>Ziphiid</i> sp. (2), minke whale (1), <i>Balaenoptera</i> sp. (2), Atlantic spotted dolphin (1)	Sonar militaire moyenne fréquence
2000	Galapagos	Zc (3)	
2000	Madeira	Zc (3)	Sonar militaire moyenne fréquence
2001	Solomon Islands	Zc (2)	
2002	Canary Islands	Zc, Me, Md (15-17 whales)	Sonar militaire moyenne fréquence

2002	Mexico	Zc (2)	Nav. de recherche <i>Ewing</i>
2002	Gulf of California	Zc (2)	Recherche sismique (voir texte)
2003	Washington (USA)	Harbour porpoises (11)	Navire militaire en transit (sonar moy. Fréq. AN/SQS-53C)
2004	Canary Island	Zc (4)	Exercice naval <i>Majestic Eagle 04</i>
2004	Hawaii Islands	Melon-head whales (env 200)	Exercice naval <i>Rimpac 04</i>
2004	Gulf of Alaska	Beaked whales (6)	Exercice naval <i>Northern Edge 04</i>
2005	North Carolina	Pilot whales (31), Pigmy sperm whales (2), minke whale (1)	Exercices <i>Esgex</i> et autres utilisations de sonar

Tableau 2 : (Extrait du *Final AGISC Report*, 2004), complété pour 2004-2005 à partir de NDRC 2005). Bilan des échouages impliquant au moins deux baleines à bec de Cuvier *Ziphius cavirostris* (Zc). “Flotte US” et “Exercices militaires” sont des indications de témoignages locaux sans valeur de preuve.

Sound Source	Inten (dB re:W/m ²)	Direct- ional	Power (dBre Watts)	Sources	Ops (Days/yr)	Reps (Pings/ Day)	Total Energy (Joules)
Underwater Nuclear Explosions	146	4 π	157	1	0.05	1	2.6E+15
Airgun Arrays	61	π	66	90	80	4320	3.9E+13
Military Sonar (53C)	53	$\pi/2$	55	100	30	4320	8.5E+12
Super Tankers	3.2	2 π	11	11000	300	86400	3.7E+12
Ship Shock Trials	117	4 π	128	1	0.5	1	3.3E+12
Military Sonar (SURTASS/LFA)	53	π	58	1	30	175	1.7E+11
Merchant Vessels	-17	2 π	-8.8	40000	300	86400	1.4E+11
Navigation Sonar	-1.8	π	3.2	100000	100	86400	3.6E+010
Research Sonar	13	4 π	24	10	4	86400	9.1E+08
Fishing Vessel 12 m long (7 knots)	-42	2 π	-34	25000	150	86400	1.3E+08

Tableau 3 : comparaison des sources de son sous-marins d'origine humaine, classée par énergie annuelle décroissante. « sources » = nombre d'émetteurs. D'après Hildebrand, 2004.

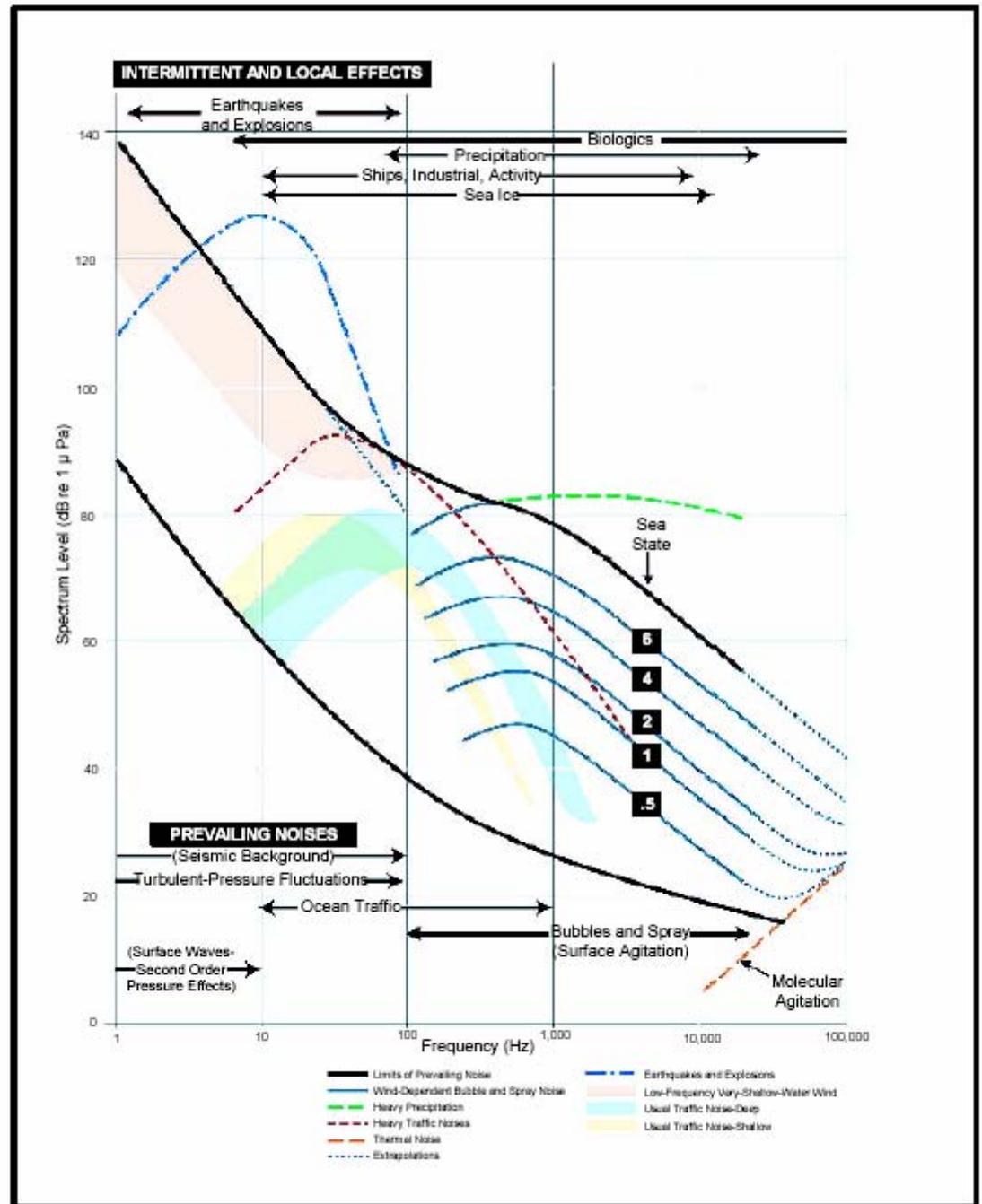


Figure F-4. Wenz curves describing pressure spectral density levels of marine ambient noise from weather, wind, geologic activity, and commercial shipping (Adapted from: Wenz, 1962 and National Research Council, 2003).

Niveau de bruit (exprimé en densité spectrale par Hz) dans l'océan, extrait de (MMS, 2004) lui-même à partir de (Wenz, 1962)

Annexe 2

Niveaux acoustiques : définitions

Ondes acoustiques – Expression du niveau

Les ondes acoustiques sont provoquées par la propagation d'une vibration mécanique du milieu. Elles correspondent à un "mouvement sur place" de la matière constituant le milieu de propagation, et nécessitent donc l'existence d'un support matériel élastique pour pouvoir se propager : il n'y a pas de son dans le vide, par contre les ondes sonores se propagent bien dans les fluides comme l'air (atmosphère) ou l'eau (océans).

La vibration acoustique est caractérisée par un déplacement particulaire local $a(t)$ du milieu de propagation, par la vitesse particulaire $v(t)$ correspondante, et par la pression acoustique $p(t)$ qui en résulte. La pression acoustique est une variation de pression autour de la pression statique moyenne ; c'est une grandeur physique directement mesurable par les hydrophones, qui sont des capteurs de pression.

La pression acoustique est mesurée en Pascals ; le Pascal (Pa) vaut 1 Newton par mètre carré.

En acoustique aérienne, deux constatations classiques :

- la sensibilité logarithmique de l'oreille humaine
- l'énorme dynamique des niveaux de pression acoustique

ont amené à généraliser l'emploi d'une échelle logarithmique des niveaux quantifiée en décibels. Cet usage a été repris en acoustique sous-marine.

8. *Le décibel*

Le décibel (dB) est défini comme le décuple du logarithme du rapport de deux puissances $10\log(P_1/P_2)$, mais on peut étendre son utilisation à d'autres grandeurs physiques correspondantes: en pression acoustique le même rapport est $20\log(p_1/p_2)$, puisque P_i est proportionnel à p_i^2 . On retiendra donc de prendre :

- $10\log$ pour les grandeurs homogènes à une énergie (puissance, intensité)
- $20\log$ pour celles homogènes à une pression acoustique.

Avec cette notation, un écart de 3 dB entre deux signaux correspond donc à un rapport 2 de leurs énergies, et $\sqrt{2}$ en amplitude; un écart de 10 dB correspond à un rapport 10 en énergie et $\sqrt{10} \approx 3.1$ en amplitude. Un écart de 1 dB, (ordre de grandeur de la limite pratique de précision de mesures en acoustique sous-marine) correspond à environ 10% de variation sur la pression acoustique.

On doit utiliser des grandeurs de référence pour donner en dB un niveau absolu de pression ou d'intensité, directement interprétable. La référence de pression acoustique

sous-marine est le microPascal ($1 \mu\text{Pa} = 10^{-6} \text{ N/m}^2$); la pression acoustique absolue est donc exprimée en dB re. $1 \mu\text{Pa}$:

$$p_{dB/\mu\text{Pa}} = 20 \log\left(\frac{p}{p_{ref}}\right) \quad \text{avec} \quad p_{ref} = 1 \mu\text{Pa}$$

Noter que cette référence de pression est différente de celle utilisée dans l'air, qui est de $20 \mu\text{Pa}$. Il y a une différence de 26 dB (soit $20 \log(20)$) entre les valeurs en dB d'une pression acoustique selon qu'elle est rapportée à $1 \mu\text{Pa}$ ou à $20 \mu\text{Pa}$.

$$p_{dB \text{ re } 1\mu\text{Pa}} = p_{dB \text{ re } 20\mu\text{Pa}} + 26$$

Les grandeurs acoustiques sous-marines sont spécialement susceptibles d'énormes variations. On peut observer des niveaux de pression acoustique compris entre $1 \mu\text{Pa}$ (niveau de bruit de fond en conditions très calmes) et 10^7 Pa (explosion sous-marine), soit une dynamique de $20 \log(10^7/10^{-6}) = 20 \log(10^{13}) = 260 \text{ dB}$.

Attention : la valeur en dB de la somme de grandeurs physiques n'est pas égale à la somme des valeurs individuelles en dB ($[A+B]_{dB} \neq A_{dB} + B_{dB}$) ; par exemple ajouter deux sons de niveaux individuel 100 dB re $1 \mu\text{Pa}$ ne donne pas une résultante de 200 dB re $1 \mu\text{Pa}$, mais de 103 dB re $1 \mu\text{Pa}$ (en moyenne). En effet le produit de plusieurs variables (données en valeurs naturelles) se traduit par la somme de leurs valeurs en dB ($[AB]_{dB} = A_{dB} + B_{dB}$), du fait de la propriété du logarithme: $\log(A.B) = \log A + \log B$.

Intensité et puissance acoustique

A la propagation de l'onde sonore correspond une énergie acoustique, exprimable de différentes manières. L'intensité acoustique (I) est la valeur moyenne du flux d'énergie par unité de surface et de temps. On montre qu'elle est égale à la moyenne du produit de la pression acoustique par la vitesse particulaire; soit pour une onde plane:

$$I = \overline{pv} = \frac{\overline{p^2}}{\rho c} = \frac{p_0^2}{2\rho c} \quad (\text{en W/m}^2)$$

La puissance acoustique (P) reçue par une surface (S) est l'intensité intégrée sur la surface considérée, soit:

$$P = I \times S = \frac{\overline{p^2} S}{\rho c} = \frac{\overline{p^2}}{Z} \quad (\text{en W})$$

La puissance rayonnée par une source peut ainsi être exprimée en fonction du niveau de pression: à la distance R de la source la surface insonifiée est $4\pi R^2$, et la puissance

vaut donc $P = \frac{\overline{p^2}(R)}{\rho c} 4\pi R^2$, soit en se ramenant à la distance de référence (1m):

$$P = 4\pi \frac{\overline{p_{1m}^2}}{\rho c}$$

Les ordres de grandeur des puissances acoustiques rayonnées sont très variables. Un sonar actif peut émettre plusieurs dizaines de kW, alors qu'une balise acoustique ne produit que quelques W.

Perte de propagation

Le niveau perçu par un récepteur (système d'écoute artificiel, ou appareil auditif d'un organisme vivant) change selon la distance parcourue depuis la source sonore. En dB, on peut écrire :

$$p_{\text{reçu}} = p_{\text{émis}} - PT$$

Cette modification du niveau est appelée perte de propagation. Elle est égale en première approximation à :

$$PT = 20 \log R + \alpha \cdot R$$

où R est la distance source récepteur (en m), et α le coefficient d'absorption des ondes sonores dans l'eau, dépendant fortement de la fréquence du signal considéré et dans une moindre mesure des caractéristiques physiques de l'eau (température, salinité, immersion).

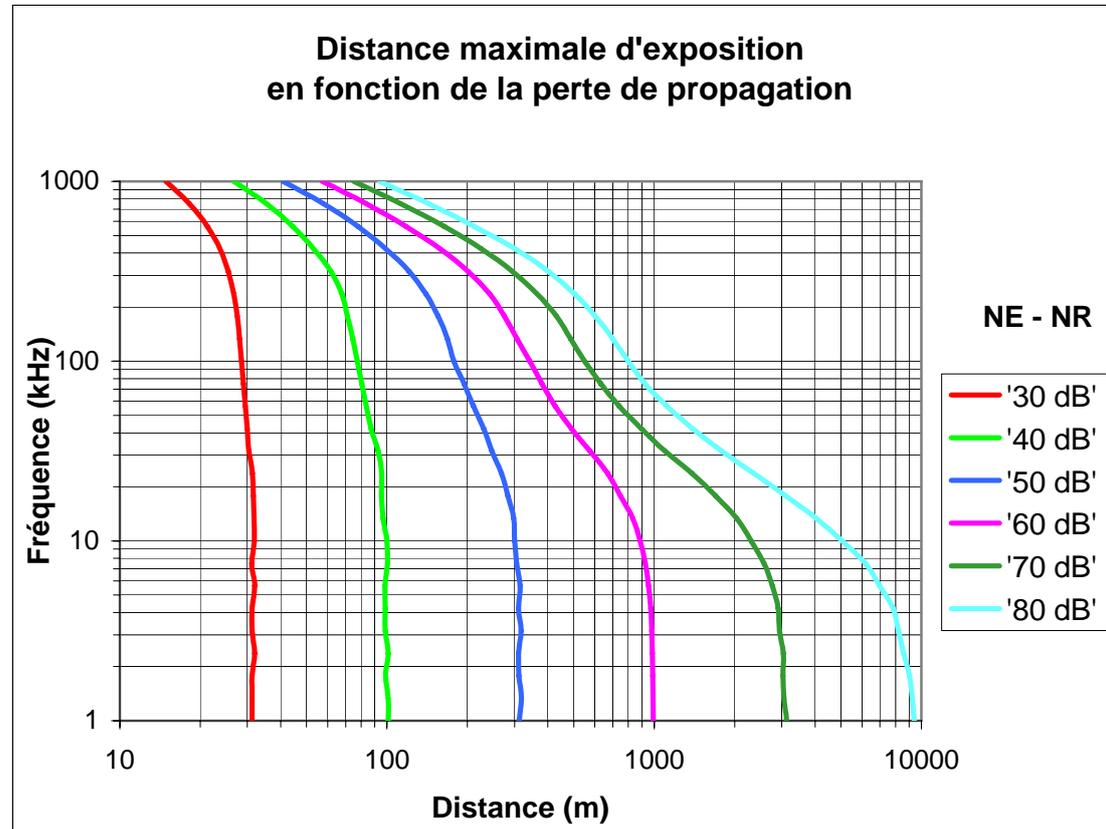
Lorsque l'on évalue l'effet d'une émission sonore, il convient donc de toujours préciser la distance source-récepteur considérée. Par convention, les niveaux d'émission des sources sonores sont exprimés à la distance de référence de 1 m (en dB re.1μPa@1m).

Distance de perception d'un niveau donné

Le niveau NR perçu par un système récepteur est égal au niveau émis corrigé de la perte de propagation :

$$NR = NE - 20 \log R - \alpha \cdot R$$

où NE (niveau émis) est en dB re 1 μPa@1m, R est la distance en m et α le coefficient d'absorption en dB/m. Pour un niveau d'émission donné, la distance limite correspondant à un niveau d'exposition spécifié peut donc être obtenue en résolvant l'équation ci-dessus.



Par exemple pour déterminer la distance à laquelle on perçoit à un niveau de 180 dB re 1 μ Pa les signaux émis par une source sonore de 10 kHz et 230 dB re 1 μ Pa@1m, on considère la courbe correspondant à $NE - NR = 230 - 180 = 50$ dB, donc bleu foncé ; la fréquence 10 kHz donne la distance $R = 300$ m.

On notera qu'en dessous de 1 kHz, la dépendance fréquentielle est négligeable pour les ordres de grandeur à considérer ici.

Annexe 3

Un exemple d'évaluation du risque lié à l'usage des technologies acoustiques : l'approche du SCAR

Une approche a été proposée par le SCAR (*Scientific Committee on Antarctic Research*, 2004) dans le cadre d'une étude sur l'analyse préventive des risques liés à l'emploi des systèmes acoustiques et sismiques en Antarctique. Basée sur des méthodes standard d'évaluation du risque, elle consiste à construire une matrice de risque en croisant les descriptions quantitatives d'impact ou la conséquence avec la description qualitative de vraisemblance.

Les descriptions retenues par le SCAR sont les suivantes :

i) conséquences

Niveau	Description
1	Pas de réponse individuelle, ou seulement un changement de réponse temporaire (minutes)
2	Des individus montrent un changement de comportement à court terme (heures). Déplacement temporaire d'une petite fraction de la population ; une petite partie de l'habitat est affectée ; pas d'impact sur le fonctionnement de l'écosystème.
3	Déplacement simultané à plus long terme (jours) d'une plus grande fraction de la population ; changement de comportement ; interférence avec l'alimentation.
4	Déplacement de groupe et changement dans le comportement et l'alimentation à l'échelle de semaines, quelques blessures, quelques interférence sur le succès de la reproduction
5	Déplacement sur le long terme (mois) d'une grande part de la population, fréquentes blessures, interférence significative dans la saison de reproduction ; rares morts.
6	Très fréquentes blessures, morts, population menacée, déplacement massif sur le long terme et grande aire

ii) Vraisemblance

Niveau	Description
9. A	Attendu dans la quasi totalité des circonstances
B	Arrive probablement dans la plupart des cas
C	Pourrait arriver dans certains cas
D	Pourrait arriver dans de rares cas
E	Peut arriver dans des circonstances exceptionnelles
F	On ne voit pas comment cela pourrait arriver

Une dizaine d'équipements acoustiques sont passés en revue par le SCAR.

Exemple : SEABEAM 2000, 12 kHz, ≈236 dB re μPa @ 1 m, $120^\circ \times 1^\circ$, 2-20ms toutes les 4-8 sec.

Conséquences Vraisemblance	1	2	3	4	5	6
A	X					
B						
C		X				
D						
E			X	I?		
F				P	P/I?	X

I= risque individuel, P= risque populationnel

Sonar militaire de type AN SQS 53C

>235 dB, 2-5 kHz, 1-2 sec, ≈30°, faisceau orienté horizontalement

Conséquences Vraisemblance	1	2	3	4	5	6
A						
B						
C				I	I	
D				P	P	I
E						P
F						

Le SCAR conclut que la plupart des techniques scientifiques acoustiques susceptibles d'être utilisées en Antarctique présentent un risque inférieur à celui de la navigation elle-même (brise glace, collisions). Même les levés sismiques au canon à air ne constitueraient pas une menace au niveau populationnel. Des campagnes de suivi et des mesures d'atténuation pourraient néanmoins être prises pour réduire le risque au niveau individuel.

Annexe 4

Capacité d'évasion en configuration de *ramp-up*

Hypothèse : au début de la rampe, le cétacé est aussi proche que possible de la source, et suffisamment gêné pour amorcer immédiatement son évasion ; on retiendra une distance de 1 m. L'objectif est qu'en fin de rampe, il soit en limite de seuil de risque ou de gêne, soit 180 ou 160 dB re 1 μ Pa. Il faut donc que pendant la durée de la rampe il ait le temps de couvrir la distance jusqu'à ce seuil.

On retiendra une décroissance du niveau en $20\log R$. La distance à parcourir est donc donnée par le tableau ci dessous en fonction du niveau max de la source (220 à 250 dB re 1 μ Pa@1m), et pour les deux seuils de 180 et 160 dB re 1 μ Pa.

	220 dB re 1 μ Pa@1m	230 dB re 1 μ Pa@1m	240 dB re 1 μ Pa@1m	250 dB re 1 μ Pa@1m
Seuil = 180 dB re 1 μ Pa	0,1 km	0,3 km	1 km	3,2 km
Seuil = 160 dB re 1 μ Pa	1 km	3,2 km	10 km	32 km

Discussion :

1. La durée de la rampe doit permettre au cétacé de parcourir les distances ci-dessus ; elle est donc à ajuster en fonction du niveau final de la source. Dans le pire des cas (source à 250 dB re 1 μ Pa@1m) la distance à parcourir pendant la rampe est de 3,2 km, ou 32 km, selon le seuil de sécurité retenu.
2. La directivité des sources usuelles (sondeurs, sismique) est dirigée vers le bas. Si l'évasion se fait en éloignement "horizontal", la décroissance du niveau sera d'autant plus favorable et le niveau sera atteint à des distances bien moindres que celles ci-dessus ; on peut compter sur un gain de 10 à 20 dB de ce fait (autrement dit une source de 250 dB re 1 μ Pa@1m entendue en éloignement ne "vaut" plus que 230-240 dB).
3. A l'inverse, la décroissance de niveau peut être plus lente que $20\log R$ lorsque l'on est en configuration de propagation guidée (plateau continental). Dans ce cas les valeurs ci-dessus sont alors trop optimistes, et les niveaux-seuils seront obtenus à des distances plus grandes. Se reporter au calcul précis des champs sonores rayonnés présentés par ailleurs.
4. La durée de rampe doit rester assez limitée du fait des contraintes opérationnelles : une durée d'une heure est sans doute (?) le maximum acceptable de ce point de vue ; elle permet à des mammifères marins même

lents de couvrir la distance nécessaire dans le pire des cas (3,2 km pour être hors de danger). Pratiquement une durée de 30 mn devrait suffire dans la plupart des cas.

5. Le déplacement du navire porteur ne doit pas contrarier l'éloignement du cétacé : le plus sûr serait donc de stopper le navire pendant la rampe.

Annexe 5

Instructions US pour demande d'autorisation de "prise" de mammifères marins aux fins de préparer une étude d'impact environnemental (EIS)

<http://www.nmfs.noaa.gov/pr/permits/incidental.htm>

10. Application Instructions for MMPA Small Take Authorization or Letter of Authorization (LOA)

For further information, please visit: <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/>

OMB Clearance No: 0648-0151

Expiration Date: 3/2004

Table of Contents:

MMPA Small Take Authorization or Letter of Authorization (LOA)

MMPA Incidental Harassment Authorization (IHA)

Types of Activities

Applying for an LOA or IHA

Application Requirements

11. MMPA Small Take Authorization or Letter of Authorization (LOA)

In 1981, Congress amended the MMPA to provide for 'small take' authorizations for maritime activities, provided NMFS found the takings would be of small numbers² and have no more than a negligible impact³ on those marine mammal species not listed as depleted under the MMPA (i.e., listed under the Endangered Species Act (ESA)), and not having an unmitigable adverse impact⁴ on subsistence harvests of these species. These 'small take' authorizations, also known as Letters of Authorization or LOAs, require that regulations be promulgated and published in the Federal Register outlining:

Permissible methods and the specified geographical region of taking;

The means of effecting the least practicable adverse impact on the species or stock and its habitat and on the availability of the species or stock for subsistence⁵ uses; and,

Requirements for monitoring and reporting, including requirements for the independent peer-review of proposed monitoring plans where the proposed activity may affect the availability of a species or stock for taking for subsistence uses.

In 1986, Congress amended both the MMPA, under the small take program, and the ESA to authorize takings of depleted (and endangered or threatened) marine mammals, again provided the taking (lethal, injurious, or harassment) was small in number and had a negligible impact on marine mammals.

12. MMPA Incidental Harassment Authorization (IHA)

In 1994, MMPA section 101(a)(5) was amended to establish an expedited process by which citizens of the U.S. can apply for an authorization to incidentally take small numbers of marine mammals by harassment⁶, referred to as Incidental Harassment Authorizations or IHAs. It established specific time limits for public notice and comment on any requests for authorization which would be granted under this new provision. According to the legislative history, Congress expected NMFS to act expeditiously in complying with the notice and comment requirements and expected NMFS to use the general rule making authority available under section 112 of the MMPA to establish a process for granting authorization in the case of small takes by harassment in Arctic waters⁷. In 1996 NMFS published an interim final rule (50 CFR Part 216.101-108) implementing this aspect of the program. The interim rule will be amended and written upon completion of NMFS' criteria for acoustic harassment.

Because the incidental harassment authorization process has eliminated the need for promulgating specific regulations on the incidental taking, IHAs have been of increasing interest since 1994 for those individuals with relatively short-term activities that might inadvertently harass marine mammals. This program allows authorizations to be issued in 120 days, instead of the 6-8 months required for LOAs issued under regulations.

13. Types of Activities

Most LOAs and IHAs to date have involved the incidental harassment of marine mammals by noise. Activities with the greatest potential to harass by noise include: seismic airguns, ship and aircraft noise, high energy sonars, and explosives detonations.

14.

15. Applying for an LOA or IHA

First the applicant must ask: Do I need an LOA or an IHA?

If it can be shown that:

- 1) there is no potential for serious injury or mortality; or,
 - 2) the potential for serious injury or mortality can be negated through mitigation requirements that could be required under the authorization,
- the applicant should apply for an IHA and does not need an LOA for the activity.

If these two requirements cannot be met, or in other words, if the potential for serious injury⁸ and/or mortalities exists and there are no mitigating measurements that could be taken to prevent this form of 'take' from occurring, then the applicant must obtain an LOA.

After the type of authorization is determined, the applicant must submit a written request to the NMFS Office of Protected Resources AND the appropriate NMFS Regional Office where the specified activity is planned. These requests must include items 1-14 below before being considered by NMFS.

Office of Protected Resources
National Marine Fisheries Service
1315 East-West Highway, 13th Floor

Silver Spring, MD 20910
 Phone: (301) 713-2332
 Fax: (301) 713-0376

{Note that incomplete applications and applications that do not contain or refer to the necessary NEPA documentation, if applicable, will be returned to the applicant with explanation.}

How long does it take to get an authorization once the application is complete?

Please note that decisions on LOA applications (includes two comment periods, possible public hearings and consultations) may take from 6-12 months. IHA decisions normally involve one comment period and, depending on the issues and species involved, can take anywhere from 2-6 months.

16. Application Requirements

All applications for marine mammal small take authorizations, whether an LOA or an IHA, must include the following information in sufficient detail for NOAA Fisheries to meet the requirements mandated by section 7 of the Endangered Species Act and the National Environmental Policy Act:

- (1) A detailed description of the specific activity or class of activities that can be expected to result in incidental taking of marine mammals;
- (2) The date(s) and duration of such activity and the specific geographical region where it will occur;
- (3) The species and numbers of marine mammals likely to be found within the activity area;
- (4) A description of the status, distribution, and seasonal distribution (when applicable) of the affected species or stocks of marine mammals likely to be affected by such activities;
- (5) The type of incidental taking authorization that is being requested (i.e., takes by harassment only; takes by harassment, injury and/or death) and the method of incidental taking;
- (6) By age, sex, and reproductive condition (if possible), the number of marine mammals (by species) that may be taken by each type of taking identified in paragraph (a)(5) of this section, and the number of times such takings by each type of taking are likely to occur;
- (7) The anticipated impact of the activity upon the species or stock;
- (8) The anticipated impact of the activity on the availability of the species or stocks of marine mammals for subsistence uses;

(9) The anticipated impact of the activity upon the habitat of the marine mammal populations, and the likelihood of restoration of the affected habitat;

(10) The anticipated impact of the loss or modification of the habitat on the marine mammal populations involved;

(11) The availability and feasibility (economic and technological) of equipment, methods, and manner of conducting such activity or other means of effecting the least practicable adverse impact upon the affected species or stocks, their habitat, and on their availability for subsistence uses, paying particular attention to rookeries, mating grounds, and areas of similar significance;

(12) Where the proposed activity would take place in or near a traditional Arctic subsistence hunting area and/or may affect the availability of a species or stock of marine mammal for Arctic subsistence uses, the applicant must submit either a plan of cooperation⁹ or information that identifies what measures have been taken and/or will be taken to minimize any adverse effects on the availability of marine mammals for subsistence uses.

(13) The suggested means of accomplishing the necessary monitoring and reporting that will result in increased knowledge of the species, the level of taking or impacts on populations of marine mammals that are expected to be present while conducting activities and suggested means of minimizing burdens by coordinating such reporting requirements with other schemes already applicable to persons conducting such activity. Monitoring plans should include a description of the survey techniques that would be used to determine the movement and activity of marine mammals near the activity site(s) including migration and other habitat uses, such as feeding. Guidelines for developing a site-specific monitoring plan may be obtained by writing to the Director, Office of Protected Resources; and

(14) Suggested means of learning of, encouraging, and coordinating research opportunities, plans, and activities relating to reducing such incidental taking and evaluating its effects.

Glossary of Terms

1. Incidental Taking : An unintentional, but not unexpected, taking.

2. Small Numbers : A portion of a marine mammal species or stock whose taking would have a negligible impact on that species or stock.

3. Negligible Impact : An impact resulting from the specified activity that cannot be reasonably expected to, and is not reasonably likely to, adversely affect the species or stock through effects on annual rates of recruitment or survival.

4. Unmitigable Adverse Impact : An impact resulting from the specified activity that: 1) is likely to reduce the availability of the species to a level insufficient for a harvest to meet subsistence needs by (a) causing marine mammals to abandon or avoid hunting areas; (b) directly displacing subsistence users; or, (c) placing physical barriers between the marine mammals and the subsistence users; AND 2) cannot be sufficiently mitigated by other measures to increase the availability of marine mammals to allow subsistence needs to be met.

5. Subsistence : The use of marine mammals taken by Alaskan Natives for food, clothing, shelter, heating, transportation, and other uses necessary to maintain the life of the taker or those who depend upon the taker to provide them with such subsistence.

6. Harassment : Any act of pursuit, torment or annoyance that can be described in one of the following ways: 1) Level A Harassment-has the potential to injure a marine mammal or marine mammal stock in the wild; or, 2) Level B Harassment-has the potential to disturb a marine mammal or marine mammal stock in the wild by causing disruption of behavioral patterns, including, but not limited to, migration, breathing, nursing, breeding, feeding, or sheltering but which does not have the potential to injure a marine mammal or marine mammal stock in the wild.

7. Arctic waters : Marine and estuarine waters north of 60E N. latitude.

8. Serious Injury : Any injury that will likely result in mortality.

9. Plan of Cooperation : This type of plan is required where the proposed activity would take place in or near a traditional Arctic subsistence hunting area and/or may affect the availability of a species or stock of marine mammal for Arctic subsistence uses. The plan must include--(i) A statement that the applicant has notified and provided the affected subsistence community with a draft plan of cooperation; (ii) A schedule for meeting with the affected subsistence communities to discuss proposed activities and to resolve potential conflicts regarding any aspects of either the operation or the plan of cooperation; (iii) A description of what measures the applicant has taken and/or will take to ensure that proposed activities will not interfere with subsistence whaling or sealing; and, (iv) What plans the applicant has to continue to meet with the affected communities, both prior to and while conducting the activity, to resolve conflicts and to notify the communities of any changes in the operation

Annexe 6

Procédures opérationnelles définies par le JNCC

JOINT NATURE CONSERVATION COMMITTEE

Marine Advice
Dunnet House
7 Thistle Place
ABERDEEN
AB10 1UZ



Tel: 01224 655716
E-mail: seismic@jncc.gov.uk
Website: www.jncc.gov.uk/marine

GUIDELINES FOR MINIMISING ACOUSTIC DISTURBANCE TO MARINE MAMMALS FROM SEISMIC SURVEYS

April 2004

These guidelines are aimed at minimising the risk of acoustic disturbance to marine mammals including seals, whales, dolphins and porpoises from seismic surveys. In addition to keeping noise levels at lowest practicable levels the recommendations contained in the guidelines should assist in ensuring that marine mammals in areas of proposed airgun activity are protected against possible injury. These guidelines reflect a precautionary approach that should be used by anyone planning marine operations that could cause acoustic or physical disturbance to marine mammals.

The guidelines have been written for use in the United Kingdom Continental Shelf (UKCS). Whilst we do not object to these guidelines being used elsewhere we would encourage all operators to determine if any special or local circumstances pertain as we would not wish these guidelines to be used where a local management tool has already been adopted (for instance in the Gulf of Mexico OCS Region). We also note that other fauna, for example turtles, occur in waters where these guidelines may be used. We suggest that, whilst the appropriate mitigation may require further investigation, the soft start procedures similar to those followed for marine mammals should also be employed for other fauna.

In relation to oil and gas seismic surveys on the UKCS, it is a legal binding condition of the consent issued for seismic surveys under regulation 4 of the Petroleum Activities (Conservation of Habitats) Regulations 2001 by the Department of Trade and Industry (DTI) that the JNCC Guidelines must be followed at all times for all seismic surveys. It should be noted that it is the responsibility of the company issued consent by the DTI, referred to as 'applicant', to ensure that these guidelines are followed and the relevant marine mammal observer reports submitted to the JNCC. We recommend that a copy of the JNCC guidelines are available onboard all vessels undertaking seismic surveys on UKCS.

Index

The guidelines are broken down in the following sections:

- Section 1 - Precautions to reduce the disturbance caused by seismic surveys
 - 1.1 The Planning Stage
 - 1.2 During the Seismic Survey
 - 1.3 Report after the survey
- Section 2 - Guidance when carrying out the soft start
 - 2.1 Look and Listen
 - 2.2 Delay
 - 2.3 The Soft Start
 - 2.4 Site survey/Vertical Seismic Profiling and soft starts
 - 2.5 Line Changes
 - 2.6 Undershoot Operations
- Section 3 - Marine Mammal Observers (MMOs)
 - 3.1 Likely Requirements for MMOs
- Section 4 - Acoustic Monitoring
 - 4.1 Use of PAM as a mitigation measure
- Section 5 - Background Information
 - 5.1 Existing legislation
- Section 6 - Further information, comments on these guidelines and contacts

Terminology

High Resolution Seismic Site Survey is defined as those using an airgun array of 180 cubic inches or less.

Seismic Survey includes 2D/3D/4D and OBC (Ocean Bottom Cabling) surveys and any similar techniques

Vertical Seismic Profiling or **Borehole Seismic** is defined as seismic used in connection with well operations typically with a source size of 500 cubic inches.

Consent is the consent issued by the DTI under regulation 4 of the Offshore Petroleum (Conservation of Habitats) Regulation 2001.

Applicant is defined as the company who has applied to the DTI for PON 14A consent. This could either be an oil and gas operator or a seismic survey company.

Section 1 – General precautions to reduce the disturbance caused by seismic surveys

1.1 The Planning Stage - When a seismic survey is being planned, operators should:

- Consult relevant literature and if necessary, contact the Joint Nature Conservation Committee (JNCC) to determine the likelihood that marine mammals will be encountered. For instance:
(<http://www.jncc.gov.uk/Publications/cetaceanatlas/>)
- Plan surveys so that their timing will reduce the likelihood of encounters with marine mammals especially during the breeding and calving seasons. If an area is particularly sensitive due to the species present an assessment of this should be included within the PON 14 application
- Seek to provide the most appropriately qualified and experienced personnel to act as marine mammal observers (MMOs) on board the seismic survey vessel (see Section 4 for further information on MMOs).
- Plan to use the lowest practicable power levels throughout the survey.
- Seek methods to reduce and/or baffle unnecessary high frequency noise produced by airguns or other acoustic energy sources.

1.2 During the Seismic Survey - When conducting a seismic survey, operators should:

- Ensure that the correct 'soft start' procedure is followed. Soft starts are intended as a time period to allow marine mammals to move away from an area should they wish to do so. (See Section 2)
- There should be no shooting apart from that necessary for the normal operations of a seismic survey or for a 'soft start'. Protracted shooting which is not part of a survey line is discouraged.

1.3 Report after the survey

A report detailing marine mammals sighted (standard forms are available from JNCC), the methods used to detect them, problems encountered, and any other comments helps to increase our knowledge and allow us to improve these guidelines. Reports should be sent to the JNCC ideally by e-mail to seismic@jncc.gov.uk or faxed/posted to the address at the face of these guidelines. Reports should include the following information:

- The Seismic Survey reference number provided to operators by the DTI
- Date and location of survey
- Number and volume of each airguns used also calculated as total volume.
- Nature of airgun array discharge frequency (in Hz), intensity (in dB re. 1µPa or bar metres) and firing interval (seconds), or details of other acoustic energy used
- Number and types of vessels involved in the survey
- A record of all occasions when the airguns were used, including the watch beforehand and the duration of the soft-start (using standard forms)
- Details of any problems encountered during marine mammal detection procedures, or during the survey
- Marine mammal sightings (using standard forms)

- Details of watches made for marine mammals and the seismic activity during watches (using standard forms)
- Reports from any observers on board

Section 2 – Guidance when carrying out a soft start

If dedicated MMOs are requested to be on board a seismic vessel they should make certain that their efforts are concentrated on keeping a watch prior to the soft start. At no time are these guidelines meant to imply that MMOs should keep a watch during all daylight hours. JNCC strongly encourage all MMOs to manage their time to ensure that they are available and at the best of their ability when carrying out a watch during the crucial time – the 30 minutes before commencement of the use of a seismic source. However, JNCC does appreciate the efforts of MMOs to collect data at other times than prior to the soft start but this should be managed to ensure these observations are not detrimental to the ability of the MMO to watch prior to a soft start. The JNCC will request that two marine mammal observers be used when daylight hours exceed approximately 12 hours per day. Where two MMO's are onboard a seismic vessel we would encourage them to collaborate to ensure cetacean monitoring is undertaken during all daylight hours and to ensure that an observer is always available to undertake a pre-start up search for the required 30 minute.

2.1 Look and Listen

Beginning at least 30 minutes before commencement of any use of the seismic sources, the dedicated MMO or if a dedicated MMO has not been requested by the DTI, a nominated member of the ships company should carefully make a visual check from a suitable high observation platform to see if there are any marine mammals within 500 metres (measured from the centre of the array).

2.2 Delay

If marine mammals are seen within 500 metres of the centre of the array the start of the seismic sources should be delayed until they have moved away, allowing adequate time after the last sighting for the animals to move away (at least 20 minutes). In situations where seal(s) are congregating immediately around a drilling or production platform, it is recommended that commencement of the seismic sources begin at least 500 m from the platform.

2.3 The Soft Start

Power should be built up slowly from a low energy start-up (e.g. starting with the smallest airgun in the array and gradually adding in others) over at least 20 minutes to give adequate time for marine mammals to leave the vicinity. This build up of power should occur in uniform stages to provide a constant increase in output. There should be a 'soft start' every time the airguns are used, even if no marine mammals have been seen.

- We encourage all seismic survey operators to ensure that, as far as possible, soft starts occur during daylight hours when MMO's or the nominated crew member can

carry out the required 30 minute watch. If visual observations can not be made we continue to encourage the use of PAM for acoustic monitoring during this time.

- To minimise additional noise in the marine environment, a 'soft start' (from commencement of soft start to commencement of the line) should take no longer than 40 minutes.
- The 'soft start' procedure should be followed at all times including before test firing of the airguns.
- If, for any reason, firing of the airguns has stopped and not restarted for at least 5 minutes a full 20 minute 'soft start' should be carried out. After any break in firing of any duration a visual check should be made for marine mammals within 500 metres of the centre of the array. If a marine mammal is present then re-commencement of shooting should be delayed as per the Look & Listen, Delay and Soft Start instructions above.
- When time-sharing, where two or more vessels operate in adjacent areas and take turns to shoot to avoid causing seismic interference to each other, all vessels shooting should follow the full 'soft start' procedure for each line start.

2.4 Site Survey / Vertical Seismic Profiling (VSP) and Soft Starts

Whilst we appreciate that high resolution site surveys / VSP operation may produce lower acoustic output than 2D or 3D surveys and that firing of individual airguns may not be possible for technical reasons, we believe it is still necessary to undertake some form of a soft start to allow time for marine mammals to move away from an airgun.

We understand there are a number of options as to how a soft start may be undertaken. For reasons of flexibility we are content for high resolution seismic site surveys and VSP operations to use any of the methods below for a soft start:

- A. The standard method, where power is built up slowly from a low energy start-up (e.g. starting with the smallest airgun in the array and gradually adding in others) over at least 20 minutes to give adequate time for marine mammals to leave the vicinity.
- B. As the relationship between acoustic output and pressure of the air contained in the airgun is close to linear and most site surveys / VSP operations use only a small number of airguns a soft start can be achieved by slowly increasing the air pressure in 500 psi steps. From our understanding the minimum air pressure which the airgun array can be set to will vary, as this is dependent on the make and model of the airgun being used. The time from initial airgun start up to full power should be at least 20 minutes.
- C. If neither of the above techniques (A or B) can be used, over a minimum time period of 20 minutes the airguns should be fired with an increasing frequency until the desired firing frequency is reached.

If an operator of an airgun array is unable to undertake a soft start using the methods above a waiver must be granted in the DTI consent. This must be applied for with the JNCC prior to the actual operation occurring ideally as part of the PON 14A submission or for VSP the PON14A or PON15B. If a waiver has not been agreed by the JNCC, and consented to by the DTI and a soft start is not implemented applicants will be in breach of their consent.

When submitting the MMO report to the JNCC for high resolution seismic site surveys operators should indicate which of the above methods was used to achieve the soft start.

2.5 Line Change

Seismic data is usually collected in lines. Line change is the term used to describe the time it takes for a vessel to turn from the end of one line to the start of the next. Depending upon the type of seismic survey being undertaken, the time for a line change can vary between five and ten minutes for site surveys to two to three hours for 3D exploration surveys. In the past this has caused some confusion as to when a soft start will be required. In order to standardise approaches the following guidance is provided:

- A. For line change times greater than the time required to undertake a soft start, airguns should cease firing at the end of each line and commence a full soft start at the appropriate time before commencing the next line (i.e. a soft start of at least 20 minutes prior to commencement of the next line).
- B. For line change which take less time than that required to undertake a soft start, airguns should continue firing the full array during the line turn (i.e. for a site survey line turn of 5 minutes continue firing at full power).
- C. For high resolution site surveys line changes it is also permissible to reduce airgun output at the end of each line to an output of 160dB. The increase from 160 dB to full power, prior to the start of the next line, should be undertaken in a stepped manner similar to a full soft start.

We understand that, depending on the length of line turns for some surveys such as OBC, soft start methods may need to vary from those described above. If an applicant believes that for any survey a line change may not be achieved using the above methods please contact JNCC at the earliest possible opportunity.

2.6 Undershoot Operations

During an undershoot operation a second vessel is employed to tow the seismic source or airguns although the main vessel will still tow the hydrophone array. This is to allow shooting under platforms or around any other obstructions at sea. It has been noted that this operation can sometimes lead to difficulties when, as a term of the consent, a dedicated MMO has been requested. The following guidance is provided:

In sensitive areas, the MMO should always be onboard the source vessel. If, following the receipt of a PON 14A application and advice from JNCC, the consent states that dedicated MMO(s) should be placed on board the seismic source vessel this condition of consent applies to all vessels including any source vessel undertaking undershoot operations.

When a dedicated MMO(s) has been requested in other areas operators should aim to ensure that the dedicated MMO is on the source vessel. If, due to difficulties in logistics (usually the health and safety issues of moving a MMO from one vessel to another) this is not possible, the operator should apply for a waiver, ideally at the time of the PON14A submission. If a waiver is given (which will depend upon the sensitivities at the survey location, and duration of undershoot operations) the look, listen and delay procedure

should still be followed prior to commencing a soft start of the airgun source on the vessel undertaking the undershoot operation.

We realise that this guidance may be difficult to implement and therefore strongly encourage those applicants who foresee a problem placing an MMO onboard a vessel undertaking an undershoot operation to consult with DTI and JNCC during the PON 14A application process.

Section 3 – Marine Mammal Observers or MMOs

- A prerequisite for an MMO is the attendance of a short course on implementing the guidelines and recording procedure. Further details of the courses can be obtained by contacting seismic@jncc.gov.uk.
- For sensitive areas including West of Britain, Moray Firth and Cardigan Bay, the MMO must also be an experienced cetacean biologist or an experienced marine mammal observer (i.e. an observer with at least three seasons worth of experience).
- When a dedicated MMO is requested, the MMO should be employed solely for the purpose of monitoring the applicants implementation of the guidelines and visual observation of marine mammals during periods of active seismic survey.
- All surveys that require MMOs taking place between 1st April and 30th September north of 57° latitude will require two dedicated MMOs due to the longer daylight hours (more than 12 hours a day at 57° latitude).
- When two dedicated MMOs are requested, the use of a crewmember with other responsibilities as the second observer is not considered an adequate substitute for a dedicated MMO.
- The MMO should be onboard the source vessel. (i.e. the vessel towing the airguns). When time sharing, if an MMO is required by DTI, MMOs should be placed on all source vessels.
- Operators are advised to contact JNCC at the earliest opportunity to request information on the need for MMOs. Every application for consent to carry out a seismic survey will be treated on a case-by-case basis by the JNCC however the following is a guide to our probable advice to the DTI on the need for MMOs.

3.1 Likely requirements for Marine Mammal Observers

Area	Sensitivity / MMO Requirement
<ul style="list-style-type: none"> • Southern North Sea • Irish Sea Basin 	<p>Cetacean sensitivities are generally low to moderate.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seismic surveys using large sources such as those for 2D or 3D seismic surveys may require a dedicated MMO. <p>For all other surveys a dedicated MMO is usually not required however</p> <ul style="list-style-type: none"> • A watch should be kept for marine mammals before airgun start up (See section 2) • A report should still be submitted to the JNCC containing location, effort and sighting forms (See Section 2).
<ul style="list-style-type: none"> • Central and Northern North Sea 	<p>Cetacean sensitivities are highly variable.</p> <p>Requirements for MMOs are varied according to the energy source volume, energy source pressure level, sound frequency</p>

<ul style="list-style-type: none"> • St Georges Channel • South West Approaches • English Channel 	<p>and survey location however the following guidance is available.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seismic surveys using large sources such as those for 2D or 3D seismic surveys will require a dedicated MMO. • All surveys requiring MMOs taking place between 1st April and 1st October north of 57° latitude will require two dedicated MMOs due to the longer daylight hours.
<ul style="list-style-type: none"> • Moray Firth, • Cardigan Bay, • West of Britain (includes all areas to the north and west of Shetland and to the west of Orkney and the Western Isles) 	<p>Cetacean sensitivities are high</p> <ul style="list-style-type: none"> • Any seismic operation including site surveys will require dedicated experienced MMOs. • All surveys requiring MMOs taking place between 1st April and 1st October north of 57° latitude will require two dedicated MMOs due to the longer daylight hours.

Section 4 - Acoustic Monitoring

JNCC will advise the DTI that passive acoustic monitoring (PAM) should be used as a mitigation tool if sensitive species are likely to inhabit the proposed survey location. This additional measure is required where there are species of particular conservation importance or where a given species or group is difficult to detect by visual observation alone. Examples of areas where PAM may be required include deep-water areas west of Britain (for large baleen and sperm whales) and the Moray Firth (for bottlenose dolphins).

In all sea areas there is a concern that visual observation can be an ineffective measure, particularly during hours of darkness or poor visibility (such as fog), as marine mammals in the vicinity of airgun sources will not be detected. In line with the revised DTI position and other Government departments, JNCC view PAM as the only available mitigation technique that, at its current stage of development, will increase the detection of marine mammals prior to the soft start whilst having no possible adverse effect on marine mammals of its own. We would therefore encourage applicants to use PAM as it will increase the detection of marine mammals and we expect that as the technology matures over the next few years, PAM will become a requirement on seismic surveys.

4.1 Use of PAM as a mitigation tool

The following guidance is provided in regard to PON 14A applications where JNCC request PAM use as a mitigation tool. In many cases, PAM is not as accurate as visual observation when determining range. In practice this will mean that the exclusion zone must reflect the range accuracy of the system and will often be more than 500m. For example, if the range accuracy of a system is +/-300 metres, animals detected within 500 + 300 (800) metres of the source would lead to a delay in the soft start. It is therefore in the operators best interests to use the most accurate system available and to factor in the range inaccuracy. Where PAM is used the PON 14A application must contain an explanation of how the operator intends to deploy PAM to greatest effect.

Some PAM systems do not have accurate range determination facilities or can only calculate range for some species. In such cases, the detection of a confirmed cetacean vocalisation should be used to initiate postponement of soft start based on the expert judgment of the PAM operator who may be able to make a judgement about the range of the marine mammal (dependent on species) from the vessel by differentiating between distant and near-field vocalisations. In the absence of PAM systems capable of range determination this expert judgement may be used to ensure an area is free from cetaceans prior to the soft start.

Section 5 - Background Information

These guidelines were originally prepared by a Working Group convened at the request of the Department of the Environment, developed from a draft prepared by the Sea Mammal Research Unit (SMRU). The guidelines have subsequently been reviewed three times by the Joint Nature Conservation Committee following consultation with interested parties and in the light of experience after their use since 1995.

5.1 Existing Protection

- Section 9 of the Wildlife and Countryside Act 1981 prohibits deliberate killing, injuring or disturbance of any cetacean (equivalent in Northern Ireland is Article 10 of the Wildlife (Northern Ireland) Order 1985).
- This reflects the requirements of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Habitats (the Bern Convention) and Article 12 of the EC Habitats and Species Directive (92/43/EEC), implemented by The Conservation (Natural Habitats, etc.) Regulations 1994, The Conservation (Natural Habitats, etc.) Regulations Northern Ireland 1995 and The Offshore Petroleum Activities (Conservation of Habitats) Regulations 2001.
- In addition, the UK is a signatory to the Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic and North Seas (ASCOBANS) and has applied its provisions in all UK waters. Amongst other actions required to conserve and manage populations of small cetaceans, the Agreement requires range states to "work towards...the prevention of ...disturbance, especially of an acoustic nature".

Section 6 - Further information, comments on these guidelines and contacts

Further information on the DTI's consent procedure is available at www.og.dti.gov.uk.

A copy of these guidelines, the standard forms (electronic and hard copy) and further background information is available from the above address or on the JNCC website: www.jncc.gov.uk/marine

If you have any comments or questions on these guidelines, or suggestions on how they may be improved please contact the JNCC Senior Offshore Advisor at the address shown above.

Annexe 7
Extrait des procédures opérationnelles définies par le NURC
(ref. ACCOBAMS 2005)

	ANNEX (B) TO STAFF INSTRUCTION 77 PROCEDURES	<i>Version</i>	2.0
		<i>Date</i>	10 May 04
		<i>Page</i>	8 of 21
<small>DOCUMENTS ON MIS ARE CONTROLLED - PRINTED COPIES ARE UNCONTROLLED</small>			

ANNEX (B) TO STAFF INSTRUCTION 77
PROCEDURES

1 PLANNING ENVIRONMENTAL PROTECTION AND MONITORING

These guidelines reflect principles which Scientists-in-Charge are to use when planning their marine operations whenever high level sound sources are used and are designed to minimize the risk to human divers and marine mammals during sonar experiments and other Centre operations.

- The trial area is to be selected based on the ESS, on the in-house marine mammal and dive site databases, including consideration to avoid wrecks, mammal breeding areas, special sanctuaries, etc. The SOLMAR program office and NATO URC Diving Officer should be consulted.
- Consider invitation to observers on board with due regard to security considerations.
- Evaluate source levels required to meet scientific objectives
- Prepare horizontal and vertical plots showing noise levels in relation to distance based on sound propagation/prediction modeling.
- Heighten awareness by organizing visual and acoustic lookout training, sound recording, video, etc., prior to operations.
- Include section in Pre-Cruise Brief on precautions to be taken.
- Sonar operations at night are to be minimized.
- Plan tracks and operations to provide mammal escape routes and avoidance of embayment.
- Avoid enclosed areas and coastal areas with complex, steep sea bed topography.
- Results of ESS and summary of planning activities to be properly reflected in the Test Plan.

The *Visual Watch Recording Forms* (Annex F) and the *Sighting Report Forms* (Annex G) to be made available and used during experiments. These forms will be made apart of the post-cruise report and copies sent to the SOLMAR project for inclusion in the Sightings Data Base..

2 EXECUTION AT SEA

2.1 BEFORE COMMENCING OPERATIONS

Diving operations at sea are conducted from the shore or surface platforms. Any moored or stationary platforms should be investigated to determine whether divers are or will be in the water. Particular attention should be paid to marked buoys.

Marine mammals are difficult to detect. Whales can remain submerged for more than 1 hour. The instant surface is reached the animal immediately exhales or "blows" and creates a characteristic spout. In large whales, the spout may rise more than 6 m. With practice, species can be identified from the characteristics of the spout. Dolphins and porpoises generally surface 2 to 3 times per minute to breathe. Dive times and surfacing behaviour are more erratic when they are feeding, but most dives are unlikely to exceed 5 minutes. Marine mammals are capable of brief swimming speeds of about 30 knots and of sustained movement at 8 knots. If disturbed they may alter their heading rapidly.

Feeding seabirds can sometimes indicate the presence of marine mammals. Some species may be attracted to boats from some distance away, probably by engine noise. They may accompany a vessel for a considerable period and even bowride if it is fast moving. Towed arrays may also attract dolphins.

NATO UNCLASSIFIED

	ANNEX (B) TO STAFF INSTRUCTION 77 PROCEDURES		Version	2.0
			Date	10 May 04
			Page	9 of 21
DOCUMENTS ON MIS ARE CONTROLLED - PRINTED COPIES ARE UNCONTROLLED				

Marine mammals communicate using whistles, creaks, chirps and moans. Trains of clicks are used for echolocation and foraging. Such noises for many species may be heard with a hydrophone at distances of several nautical miles.

Prior to energizing the sound source, the following **Risk Reduction Measures** must be accomplished:

- Trained lookouts on station, briefed and equipped with binoculars
- When available aircraft/helicopters used to aid visual search
- All surface contacts to be identified to ascertain that no human diving activity exists. Establish radio contact if necessary
- Set acoustic watch on passive devices such as towed array and deploy wide band sonobuoys
- Alert other units involved to establish visual and acoustic watches as above. Reporting procedure to be agreed

2.2 CLEARING THE AREA

- Transit work area with trained visual lookouts and passive listening systems (i.e. array, sonobuoy) deployed
- Keep track of all vessels approaching the area. Special attention to be paid to vessels slowing down or dead in water
- Listen, look and record from at least 30 minutes before to 30 minutes after operations
- Details of the visual and acoustic lookout to be recorded in *the Visual Watch Recording Form* (annex F) and scientific logbooks respectively

2.3 RAMPING UP PROCEDURES

If no indication of human diver activity or marine mammals exists within the appropriate safety zones for at least 30 minutes:

- Ramp-up source gradually from 150 dB re 1 μ Pa @ 1m or lowest possible setting if higher than 150 dB re 1 μ Pa @ 1m. For example: If the desired maximum source is 180 dB, the initial transmission should be 150 dB or the lowest possible setting if above 150 dB. Since the difference between 150 dB and 180 dB is 30 dB then the source should be increased at the rate of 5 dB per 5-minute period. If the difference is 60 dB then the ramp-up should be at the rate of 10 dB per 5-minute period.
- If no evidence exists of marine mammals within safety range, commence operations after ramp-up. Otherwise repeat area clearance and ramp-up.
- Continuous operations are then permissible
- Keep source level as low as possible consistent with achieving the work
- If transmissions stop for more than 30 minutes, the start up procedure is to be repeated.
- Similar procedures will be used when explosives are being utilized as the sound source, progressing from smaller to larger charges, or using alternative broadband sources such as lightbulbs and/or coherent mechanical or electrical sources for ramp-up.

2.4 DURING OPERATIONS

- Maintain lookout for vessels moving into the area from which diving might occur and establish communications, if possible. Terminate if vessel moors, until evaluation is complete.
- Operations are to be suspended on detecting diving activity or marine mammals within safety range, except for mammals approaching within 45 degrees of the stern (use acoustics to alert lookout) when using an electro-mechanical source, if they are the small, fast moving species, known to be attracted to certain noises.

NATO UNCLASSIFIED

	ANNEX (B) TO STAFF INSTRUCTION 77 PROCEDURES	Version	2.0
		Date	10 May 04
		Page	10 of 21
DOCUMENTS ON MIS ARE CONTROLLED - PRINTED COPIES ARE UNCONTROLLED			

- Transmissions and use of explosives **must** be terminated if any marine mammal within range of double the calculated safety range is recognized as belonging to the endangered species list or is identified as *Ziphius cavirostris* see Annex I.
- Sightings/acoustic identification to be reported in the *Sighting Report Form* (Annex G).
- Photograph or video film any sightings whenever possible.
- NATO URC management to be informed immediately if divers are observed within the safety range or if there is a suspicion that marine mammals could have been affected by the research activity.

2.5 POST CRUISE

In order to further marine biological knowledge on migration patterns and to assist the Centre in the planning of future experiments in the least populated areas, the following reporting arrangements are to be adopted. The Scientist-in-Charge is to include copies of completed annex F and annex G in post-cruise report and supply originals to the SOLMAR project office

NATO UNCLASSIFIED