

CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018
14^{ème} Congrès Français d'Acoustique



Point de situation sur la normalisation en acoustique au niveau international et focus sur la mesure du bruit rayonné de navires

C. Audoly

Naval Group Research, Technopole de la Mer, 199, Avenue Pierre-Gilles de Gennes, 83190 Ollioules,
France

christian.audoly@naval-group.com

Le corpus de normes dans le domaine de l'acoustique sous-marine était jusqu'à présent peu développé voire inexistant, et se limitait à quelques documents spécifiques des applications militaires. Or, le développement rapide des technologies d'exploration de l'environnement marin et de l'exploitation industrielle des ressources maritimes tout en limitant les nuisances environnementales et l'impact sur la faune marine, nécessitent au minimum de disposer d'un langage commun et de méthodes fiables de mesure de quantités physiques. Différents organismes de normalisation, et principalement l'ISO (International Standardization Organisation) ont constitué des comités sur l'acoustique sous-marine avec la définition d'un plan de travail pour mettre à disposition un ensemble de normes sur des sujets prioritaires. L'objectif de cet exposé est le faire le point sur les normes d'ores et déjà disponibles, ainsi que sur le plan de travail à venir. On présentera plus en détail les travaux en cours sur la mesure du bruit rayonné de navires : mesure par grands fonds, correction de l'effet « miroir de Lloyd » et mesure par petits fonds.

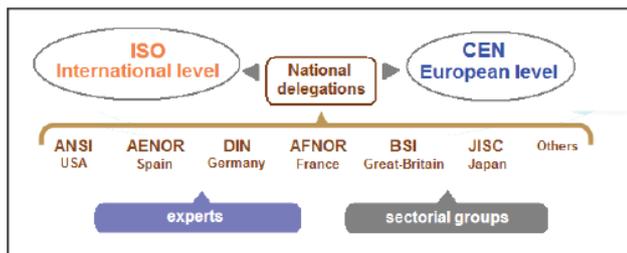
1 Introduction

1.1 Généralités sur la normalisation

Une norme (« standard » en anglais) est un document qui fournit des exigences, des spécifications, des recommandations ou des caractéristiques qui peuvent être utilisées pour garantir qu'un produit, un procédé ou un service est adapté à leur usage. Les normes, notamment au niveau international visent à apporter des bénéfices technologiques, économiques et sociétaux. Elles permettent d'harmoniser les spécifications techniques de produits et services, dans le but de rendre l'industrie plus efficace et de réduisant les obstacles au commerce international.

La normalisation ne doit pas être confondue avec la réglementation. Par exemple, une réglementation va imposer un niveau de bruit à ne pas dépasser et une norme va définir la manière de le mesurer. Les législateurs font généralement appel à des normes pour mettre en place une réglementation.

Les normes sont élaborées par des organismes d'intérêt général possédant leur propre organisation et budget. Des délégations sont parfois conférées à des sociétés savantes (ex. l'ASA pour les normes ANSI sur l'acoustique). On distingue trois niveaux : national, régional (notamment européen), international. Le niveau international permet aux normes d'être mieux reconnues, et plus répandues et utilisées. L'ISO (International Standardisation Organisation) a publié plus de 20000 normes internationales. D'autres organismes importants pour l'acoustique au niveau international sont l'IEC (International Electrotechnical Commission), l'ITU (International Telecommunication Union), l'AES (Audio Engineering Society), et l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).



L'AFNOR a mis en place différentes commissions pour l'acoustique, animées par des présidents de commissions. La commission S30A (Coordination Acoustique) a pour but d'échanger les informations entre les groupes et mener des actions d'intérêt commun.

- Acoustique - Sources fixes, mesurage et déclaration du bruit – AFNOR/S30B
- Acoustique des lieux de travail - AFNOR/S30D
- Acoustique du bâtiment - AFNOR/S30F
- Bruit dans l'environnement - AFNOR/S30J
- Acoustique des milieux extérieurs - AFNOR/S30M
- Acoustique sous-marine – ASM (délégation de l'AFNOR vers l'INPP)

D'autre part, l'AFNOR et les groupes d'impulsions stratégiques (GIS) mènent des actions impliquant l'acoustique, l'instrumentation, le signal et la robotique pour le Contrôle Non Destructif (CND).

1.2 Cas de l'acoustique sous-marine

Jusqu'à présent, il n'existait pas de norme internationale spécifique à l'acoustique sous-marine, probablement du fait que pendant des décennies, les recherches en acoustique sous-marines étaient principalement motivées par les applications militaires. Quelques documents normatifs concernaient la mesure du bruit rayonné de navires [1], [2]. La situation a maintenant changé avec la conjonction de deux évolutions importantes :

- L'augmentation constante du trafic maritime et de l'activité industrielle dans les océans : installation et exploitation de plateformes offshore ou de systèmes de production d'énergie renouvelable, prospection par des moyens acoustiques ou sismiques.
- Le besoin de respecter l'environnement et la biodiversité dans les océans : de nombreuses espèces animales sont sensibles aux sons ou quantités dérivées, et peuvent même s'en servir pour leurs fonctions vitales. Il est donc primordial de connaître l'environnement sonore sous-marin et de limiter les perturbations sonores générées par l'activité humaine.

Pour cette raison, il a été décidé au début des années 2010, de créer au sein de l'ISO un nouveau comité sur l'acoustique sous-marine, l'ISO/TC 43/SC 3 "Underwater acoustics" avec comme objet : "Standardization in the field of underwater acoustics (including natural, biological, and anthropogenic sound), including methods of measurement and assessment of the generation, propagation and reception of underwater sound and its reflection and scattering in the underwater environment including the seabed, sea surface and biological organisms, and also including all aspects of the effects of underwater sound on the underwater environment, humans and aquatic life." Dans la suite de la présentation de ce comité, il est indiqué que la motivation principale est la préservation de l'environnement sous-marin.

Suite à la création du comité ISO, une commission miroir, la Commission de normalisation ASM (Acoustique Sous-Marine) a été mise en place, le secrétariat étant assuré par le BNAAH (Bureau de Normalisation des Activités Aquatiques et Hyperbares), rattaché à l'INPP (Institut National de la Plongée Professionnelle). Compte tenu de son effectif réduit et du manqué de moyens pour réaliser des études spécifiques, les travaux de la commission consistent principalement à suivre les travaux de l'ISO TC 43/SC 3, à contribuer à l'élaboration ou la finalisation des projets de norme, et à participer activement aux réunions plénières. Une réunion de la commission ASM française ASM a lieu au moins une fois par an, généralement à Marseille.

Dans cet article, à partir des différents sujets d'intérêt pour l'acoustique sous-marine, on présentera une vue d'ensemble des travaux au niveau ISO, puis on détaillera ce qui concerne la mesure du bruit rayonné de navires.

2 Sujets d'intérêt en acoustique sous-marine

Les sujets d'intérêt en acoustique sous-marine, en relation avec la normalisation, sont multiples et sont résumés ci-dessous.

2.1 Détection sous-marine militaire

L'application la plus développée est la Détection Sous-Marine de navires ou sous-marins. Elle a conduit au développement de systèmes sonars de plus en plus performants. On distingue les sonars passifs (figure 1), qui cherchent à détecter l'émission sonore (ou bruit rayonné) d'un navire. Un autre principe est le sonar actif, où l'on cherche cette fois à détecter un sous-marin silencieux par l'écho de cible qu'il génère lorsqu'il est soumis à une onde incidente.



Figure 1: Principe de la détection par sonar passif

D'autres applications militaires en rapport avec l'acoustique sous-marine sont le guidage d'armes sous-marines comme les torpilles, ainsi que les contre-mesures associées. Plus, récemment, il apparaît un intérêt croissant pour la détection d'intrus (plongeurs ou engins) susceptibles de pénétrer dans des zones marines à proximité d'installations à protéger, ainsi que l'utilisation croissante de drones sous-marins, qui sont généralement équipés de capteurs acoustiques.

2.2 Détection sous-marine civile

La détection sous-marine est également utilisée depuis longtemps pour des applications civiles:

- Sondage et caractérisation des fonds marins

- Détection d'objets immergés,
- Sonars de pêche,
- Etude de la faune marine, évaluation et localisation de la population,
- Tomographie acoustique, détection à distance d'événements sismiques.

Noter également que l'ICES recommande de limiter le bruit rayonné des navires de recherche scientifique ou halieutique à une valeur limite définie par un gabarit de niveau spectral.

2.3 L'environnement acoustique sous-marin et l'activité industrielle dans les océans

L'augmentation du trafic maritime et de l'activité industrielle en mer tend à augmenter fortement, au moins dans certaines zones, et la communauté scientifique s'inquiète des conséquences à terme sur l'environnement et la biodiversité. Or, la Commission Européenne a adopté en 2008 la DCSMM [3] qui demande aux Etats Membres d'établir un état environnemental des eaux maritimes, puis de prendre des dispositions pour atteindre un niveau satisfaisant. Parmi d'autres critères comme les différentes formes de pollution, l'introduction d'énergie, notamment sous formes d'ondes acoustiques sous-marines, est prise en compte.

On peut distinguer différents types d'activités :

- Le trafic maritime : Le trafic maritime augmente régulièrement, et le bruit rayonné par les navires peut se propager à grande distance. Or, les navires de commerce ne sont actuellement soumis à aucune réglementation pour ce qui concerne le bruit rayonné dans l'eau. Des actions récentes sont la réalisation de projets européens à ce sujet, comme le projet AQUO [4] et des initiatives locales (Port de Vancouver – Programme ECHO) [5].
- Industrie du pétrole : Les activités peuvent avoir un impact important sur l'environnement sous-marin, notamment les campagnes d'exploration de gisements sous-marins par l'utilisation d'antennes linéaires de grandes dimensions et de sources acoustiques impulsives basse fréquence (canons à air), ainsi que l'installation et l'exploitation de plateformes et installations offshore.
- Energies marines renouvelables et construction offshore: Différents systèmes d'énergie renouvelable se développent (hydroliennes, éolien planté, éolien flottant, énergie des vagues, énergie thermique... L'installation des systèmes nécessite des travaux potentiellement bruyants. Alors que le bruit en conditions d'exploitation normale est a priori peu problématique, l'aspect le plus critique est l'opération de "battage de pieux" (Figure 2). Il existe des réglementations applicables en Allemagne et aux Pays-Bas avec limitation des niveaux.

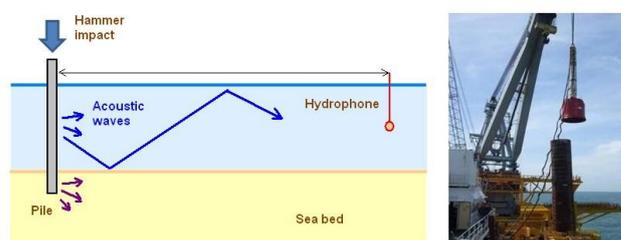


Figure 2: Bruit généré par le battage de pieux

- Le dragage et l'extraction de sédiments par petits fonds est une activité courant dans certaines zones maritimes, et cette-ci génère un bruit important. Une tendance récente est le lancement de projets d'exploitation de minerais précieux sur les fonds marins, y compris à de très fortes immersions. La fragilité des écosystèmes doit prendre en compte toutes les dimensions de l'impact environnemental.

3 Activité du comité ISO TC 43/SC 3

Jusqu'à présent, quatre groupes de travail ou working groups (WG) sont actifs ou l'ont été jusqu'à récemment:

- WG1 - Measurement of underwater sound from ships : Le premier projet a consisté à adapter la norme américaine sur la mesure du bruit rayonné de navires par grands fonds [2], ce qui a conduit à la norme ISO 17208-1 publiée en 2016 [6]. Les travaux se poursuivent actuellement avec une 2^{ème} partie consistant à estimer un niveau de source, et une troisième partie sur la mesure par petits fonds. Ce sujet sera présenté de manière plus détaillée au § 4.
- WG2 - Underwater Acoustics – Terminology : En complément des normes internationales sur la terminologie générale utilisée en acoustique, les travaux ont abouti à la norme ISO 18405 [7], qui permet de préciser la terminologie spécifique de l'acoustique sous-marine. Des parties du document sont consacrées notamment aux niveaux et quantités de référence, aux phénomènes de propagation et de diffusion des ondes, à la caractérisation des sources sonores sous-marines, à la terminologie en rapport avec les systèmes acoustiques sous-marins et à l'équation du sonar, et enfin à la bioacoustique.
- WG3 - Measurement of radiated noise from marine pile driving: Le sujet devait être traité de manière prioritaire, vu qu'il existe déjà des réglementations dans certains pays. A partir de documents existants aux Pays-Bas et en Allemagne, la norme ISO 18406 [8] indique de manière pragmatique la procédure de mesure permettant d'évaluer le niveau sonore du battage de pieux et de le contrôler in-situ. Ce travail étant terminé, il a été décidé que ce WG pouvait étendre ses activités à d'autres phénomènes ou d'autres installations industrielles en mer.
- WG4 - Standard-target method of calibrating active sonars : L'objectif est de décrire comment calibrer les sonars actifs « haute fréquence » utilisés pour la détection et l'imagerie d'objets immergés. Le projet de document, qui paraît très spécialisé, pourrait être édité en 2018.
- D'autres groupes de travail pourraient se constituer prochainement, notamment la cartographie du bruit sous-marin sur une zone maritime, mais il manque pour l'instant d'animateur pour réellement lancer les travaux. La date limite pour le dépôt du manuscrit est le **20 mars**

4 Mesure du bruit rayonné des navires

Comme indiqué précédemment, ce sujet est d'intérêt à la fois pour les applications militaires (évaluation de la portée d'un sonar passif, connaissance du risque d'être détecté), que pour les applications civiles (pollution sonore du trafic maritime). Lors de leur conception, certains

navires sont soumis à une exigence de niveau de bruit rayonné à ne pas dépasser, avec des clauses contractuelles lors de l'acceptation par le client. Or, les procédures de mesures utilisées sont disparates et il est donc parfois difficile de comparer des navires entre eux, et d'autre part les résultats de mesure de bruit rayonné de navire publiés en littérature ouverte sont souvent mal documentés pour ce qui concerne la procédure utilisée. Il est donc important de disposer de procédures de référence au niveau international.

4.1 Mesure de bruit rayonné de navires de surface par grands fonds

La norme [6] spécifie une distance minimum de mesure et une profondeur minimum du fond, qui peuvent dépendre de la longueur du navire.

La configuration de mesure, issu d'un standard américain, est représentée sur la figure 3. Trois hydrophones sont fixés sur une ligne verticale situés à la distance d_{CPA} du navire lors de son passage à distance minimum (CPA signifie « Closest distance of approach »), à des angles apparents de 15°, 30° et 45° par rapport à l'horizontale. Le navire suit une route rectiligne à vitesse constante et la pression acoustique mesurée par les hydrophones est moyennée sur une fenêtre temporelle correspondant à une ouverture spatiale de +/-30°. Les pressions mesurées sont ramenées à une distance de référence arbitraire de 1 mètre selon une hypothèse de propagation sphérique, puis on effectue leur moyenne quadratique. Enfin, des moyennes sur plusieurs passes sont réalisées afin de réduire l'incertitude de mesure.

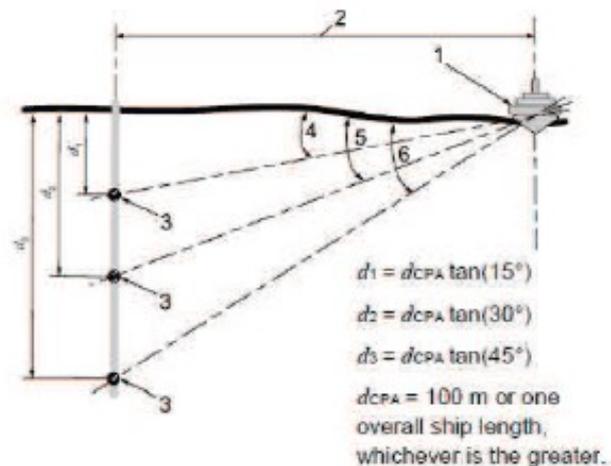


Figure 3: Configuration de mesure de bruit rayonné dans la norme ISO 17208:1

4.2 Estimation d'un « niveau de source »

La procédure de mesure définie dans la norme précédente ne donne pas une estimation du « niveau de source », c'est-à-dire le niveau rayonné d'une source acoustique hypothétique omnidirectionnelle et placée en milieu uniforme non borné, mais un niveau affecté par la réflexion des ondes sur la surface, du fait que pour un navire de surface, l'émission sonore se situe près de la surface. Notamment, à très basse fréquence, le rayonnement est de type dipolaire, et le rayonnement acoustique apparent diminue selon la fréquence et l'angle de rasance. Si l'on

introduit de niveau de bruit rayonné dans un modèle de propagation acoustique afin d'estimer le champ sonore à grande distance, on risque de sous-estimer les niveaux à basse fréquence.

Les travaux en cours, qui doivent conduire à publier prochainement la Partie 2 de la norme, introduisent une courbe de correction, qui ne dépend que de la quantité $k \cdot d_s$, où k est le nombre d'onde acoustique et d_s la profondeur supposée de la surface. Une étude récente [10] montre que cette correction n'est pas totalement justifiée à haute fréquence car du fait de la déformée de la surface de la mer dans des conditions normales, l'hypothèse de réflexion parfaite n'est plus valable.

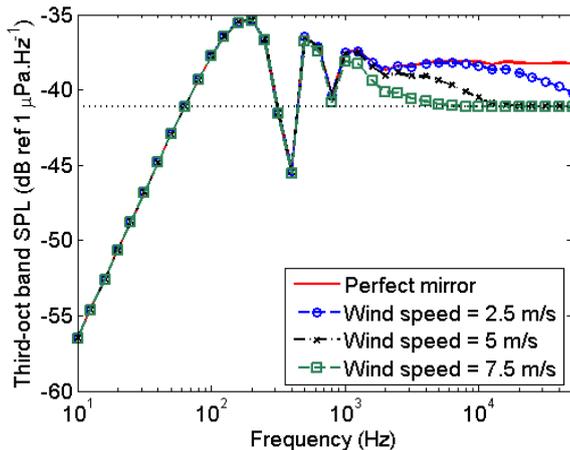


Figure 4: Niveau de pression observé à une distance de 100 m et un angle de site apparent de 30° pour $d_s=4$ m et l'utilisation du modèle du Kuo pour le coefficient de réflexion sur la surface

4.3 Mesure du bruit rayonné d'un navire par petits fonds

Dans de nombreuses zones maritimes, on ne dispose pas de grands fonds, ou ces zones sont éloignées des côtes. Il serait donc utile de disposer d'une méthode de mesure adéquate par petits fonds. Un nouveau projet est donc lancé à l'ISO, la partie 3 de la norme 17208. Noter que dans ce cas, il est nécessaire d'inverser les données mesurées selon un modèle de propagation acoustique réaliste. Cependant, on manque d'études de référence permettant de recommander et justifier une configuration de mesure. Des premières simulations présentées en [11] montrent que le phénomène dominant reste l'effet du miroir de Lloyd, mais que la nature du fond peut avoir une influence significative.

4.4 Autres projets envisagés

Les utilisateurs des navires de commerce sont réticents à réaliser des mesures de bruit rayonné, car tout temps perdu induit des pertes financières d'exploitation. Il est donc envisagé de proposer une procédure de mesure d'un navire passant à proximité d'une bouée de mesure, sans le contraindre à opérer des trajectoires. On peut s'attendre à ce que la mesure soit assez imprécise et sa validité limitée à certaines bandes de fréquence où le rapport signal à bruit serait suffisant.

Enfin, il serait intéressant de disposer d'une norme internationale la mesure du bruit rayonné d'engins sous-marins.

Références

- [1] *STANAG 1136, Standards for use when measuring and reporting radiated noise characteristics of surface ships, submarines, helicopters, etc, in relation to sonar detection and torpedo risk.* NATO Standardization Agreement (1995).
- [2] *Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships – Part 1: General Requirements.* ANSI-ASA S12.64 (2009), American National Standard.
- [3] *Directive 2008/56/EC establishing a framework for community action in the field of the marine environment policy (Marine Framework Strategy Directive).* European Commission, 17 June 2008.
- [4] C. Audoly, T. Gaggero, E. Baudin, T. Folegot, E. Rizzuto, R. Salinas-Mullor, M. André, C. Rousset, P. Kellett, Mitigation of Underwater Radiated Noise Related to Shipping and Its Impact on Marine Life: A Practical Approach Developed in the Scope of AQUO Project. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 42, 373-387 (2017).
- [5] *ECHO Program, Port of Vancouver.* https://www.portvancouver.com/water-land-wildlife/marine-mammals/ech_program/
- [6] *Underwater acoustics — Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships — Part 1: Requirements for precision measurements in deep water used for comparison purposes,* ISO 17208-1:2016, International Standardization Organization, Geneva.
- [7] *Underwater acoustics – Terminology,* ISO 18405:2017, International Standardization Organization, Geneva.
- [8] *Underwater acoustics – Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving,* ISO 18406:2017. International Standardization Organization, Geneva.
- [9] C. Audoly, Standardization in Underwater Acoustics – Current status and on-going actions. *2nd Australasian Acoustics Conference, Brisbane, Australia, 9-11 November 2016.*
- [10] C. Audoly, V. Meyer, Measurement of radiated noise from surface ships – Influence of the sea surface reflection coefficient on the Lloyd's mirror effect. *AAS conference, Perth, Australia, 19-22 Nov. 2017.*
- [11] C. Audoly, Simulations of the influence of sound speed profile and sensor configuration in the measurement of radiated noise from ships in deep and shallow waters. *Acoustics'17 Boston, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 141, No. 5, Pt. 2, May 2017*