

Le canal SOFAR et la thermométrie acoustique océanique

L'étude des guides d'ondes acoustiques dans le cadre de la thermométrie permet notamment de mesurer les conséquences du réchauffement climatique sur les océans. Il est important d'étendre nos connaissances à ce sujet, pour mieux appréhender les dangers de la situation, et savoir comment limiter les dégâts du changement climatique.

Cette étude est clairement liée à l'océan, puisqu'on s'intéresse à une méthode de mesure permettant d'appréhender l'état du milieu océanique.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Acoustique sous-marine</i>	<i>Hydroacoustics</i>
<i>Thermométrie acoustique</i>	<i>Acoustic thermometry</i>
<i>Canal SOFAR</i>	<i>SOFAR Channel</i>
<i>Guide d'onde</i>	<i>Waveguide</i>
<i>Célérité</i>	<i>Celerity</i>

Bibliographie commentée

Du fait du caractère absorbant de l'eau, les communications par ondes électromagnétiques (très utilisées dans les milieux aériens) sont inutilisables dans l'océan, car ces ondes sont rapidement atténuées. Une alternative, utilisée par la faune sous-marine comme par l'homme, est l'utilisation du son, porteur de messages ou d'informations telles que la position de sous-marins ennemis, la cartographie des fonds marins, ou la température de l'eau. C'est la mesure de cette dernière qui nous intéressera ici.

Il est en effet possible de relier la durée de trajet d'une onde sonore à la température moyenne de l'eau qu'elle a traversée. Pour cela, il faut tout d'abord étudier l'influence de la température sur la célérité du son. L'équation d'état de l'eau de mer, ayant des formes plus ou moins simplifiées, permet d'établir la masse volumique de l'eau, et donc la célérité du son la traversant, en fonction de trois paramètres : la température, la pression et la salinité [1]. Les modèles les plus simplifiés permettent souvent l'étude du cas marin sans problème. De plus, la salinité varie assez peu localement, et sa variation a moins d'effet sur la célérité que celles de la température et de la pression. On négligera donc souvent son influence dans les études d'acoustique sous-marine.

Cependant, le lien entre vitesse et température est insuffisant, car il nous faut à présent relier célérité et temps de propagation, ce qui nécessite la connaissance du trajet effectué par le son. Pour cela, il faut connaître le cadre de l'étude. Nous choisirons d'étudier la propagation des ondes sonores par réfraction dans le canal SOFAR. Il s'agit de la couche océanique, autour de 1000 m de profondeur, dans laquelle la vitesse du son est minimale. Elle agit comme un guide d'onde, évitant l'atténuation du son. La mesure de la température moyenne peut alors être effectuée sur une très

grande distance, ce qui permet de réduire l'influence de fluctuations locales sur les données obtenues. W. Munk a ainsi montré en 1978 qu'il était possible d'exploiter cette couche pour obtenir la célérité du son avec une précision satisfaisante [2].

Étudier les phénomènes de réfraction des ondes sonores permet d'étudier la trajectoire du son dans ce cas. Ainsi, par analogie avec l'optique géométrique, les lois de l'acoustique géométrique, telles que les lois de Snell-Descartes, permettent de déterminer le trajet d'une onde sonore à travers des milieux de différentes impédances acoustiques (équivalent de l'indice de réfraction) [3].

Il est intéressant de noter qu'une approche ondulatoire de l'acoustique permet d'obtenir les mêmes conclusions : le principe d'Huygens-Fresnel, valable dans l'étude ondulatoire du son, décrit les ondes réfléchies et transmises lors de la variation d'impédance du milieu, à la manière des lois de l'acoustique géométrique [4]. On peut donc choisir indifféremment l'une de ces approches.

Dans les deux cas, il nous est alors possible de calculer dans un premier temps le gradient de la vitesse du son, puis d'en déduire l'impédance du milieu océanique en fonction de la profondeur, et ainsi, la trajectoire des rayons sonores. Connaissant alors la vitesse instantanée du son pour chaque déplacement élémentaire de l'onde, on obtient la durée de propagation du son.

C'est alors qu'intervient la thermométrie, qui permet de déduire des mesures sur la propagation acoustique la température de l'océan, en résolvant le problème inverse : si l'on peut trouver la durée de trajet du son à partir de la température, alors l'inverse est aussi possible [4].

Ainsi, cette démarche a pu être appliquée par l'équipe de W. Munk, qui a effectué plusieurs mesures de la célérité du son dans un bassin de l'océan Pacifique de 1996 à 2006, et a comparé les résultats avec plusieurs autres modèles et observations [5]. Il a ainsi pu démontrer l'efficacité de la méthode qu'il avait proposée en 1978, et a pu prouver qu'elle ne perturbait pas les populations environnantes de cétacés, comme certains opposants à ce projet l'avaient avancé.

Problématique retenue

Quel lien est-il possible d'établir entre la température de l'eau dans une zone océanique et la durée de trajet d'onde sonore se propageant dans cette zone par le canal SOFAR ?

Objectifs du TIPE

On se propose ici :

- De vérifier expérimentalement les relations entre célérité, température et salinité.
- De modéliser informatiquement la trajectoire des ondes sonores dans le canal SOFAR.
- De proposer un modèle permettant d'obtenir la température de l'eau à partir de la durée de trajet du son dans le canal SOFAR.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] O. LE CALVÉ : Propriétés Physiques du Milieu Marin, Un cours d'introduction à l'océanographie physique : *Cours polycopié de l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var (2002)*

[2] W. MUNK AND C. WUNSCH : Ocean acoustic tomography : a scheme for large scale monitoring : *Deep-sea Research, 26A (1978) p.123-161*

[3] R. DANIEL : Mécanique physique, Acoustique : Propagation dans un fluide : *Techniques de l'ingénieur : Notions fondamentales en acoustique et vibrations (2001) ISBN : 9782850595837*

- [4] F. AULANIER : Tomographie acoustique océanique en guide d'ondes: de l'utilisation des temps à celle des angles : *Thèse à l'Université de Grenoble (2013) NNT:2013GRENU031. tel-00934791v2*
- [5] B. D. DUSHAW, P. F. WORCESTER, W. H. MUNK, R. C. SPINDEL, J. A. MERCER, B. M. HOWE, K. METZGER JR., T. G. BIRDSALL, R. K. ANDREW AND M. A. DZIECIUCH : A decade of acoustic thermometry in the North Pacific Ocean : *Journal of Geophysical Research*, 114 (2009) DOI : 10.1029/2008JC005124