

Propagation d'ondes acoustiques dans le milieu océanique au service de la détection sous-marine

Alexandre Lefebvre et Julien Priam

2019 / 2020

Structure :

Problématique :

Comment la connaissance des paramètres environnementaux assure-t-elle aux sous-marins une discrétion optimale?

Plan :

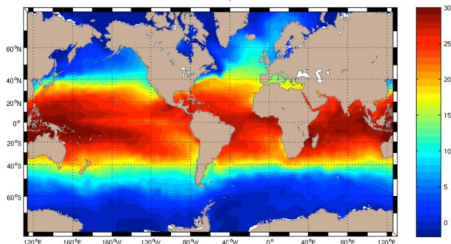
- Présentation du milieu océanique
- Propagation d'un rayon acoustique dans un milieu donné
- Présentation de l'implémentation en Python
- Application au domaine de la détection sous-marine

Présentation du milieu océanique

Eau de mer inhomogène en température et en salinité ce qui implique :

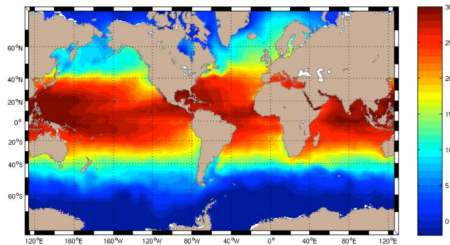
- l'existence de masses d'eau
- une évolution des couches de surface au cours d'une année

200801 - TEMP, 0003m



Document fourni par le SHOM

200807 - TEMP, 0003m



Document fourni par le SHOM

⇒ Impact sur la propagation des rayons acoustiques

Histoire et équation d'état de l'eau de mer

Lichte montre que la vitesse du son dans l'eau dépend de :

- La salinité (S)
- La température (T)
- La pression (P)

Cette dépendance est représentée par les équations :

$$c^2 = \frac{1}{\beta \rho} \quad \text{et} \quad \rho = \rho(S, T, P)$$

avec :

- β le coefficient de compressibilité de l'eau de mer
- ρ la masse volumique

PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT		
No. 17.	1. September 1919. Redaktionsrat für die 17. am 7. September 1919.	20. Jahrgang.
INHALT:		
Originalbeiträge: H. Lichte, Über den Einfluss besonderer Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallgeräten. S. 513. H. Wirtz, Über die Schwingungsbreite Mischung: Der Lichte- und Schwingungsbreite. S. 515. E. Bräuer, Über die Temperaturabhängigkeit der Schwingungsbreite. S. 517.	A. Timpa, Kugelschall und Kugelschallgeräten. S. 518. E. Grammel, Die Notationen des symmetrischen Kreisels. S. 520. H. Bachmann, Zeit mit Hilfe der neuen Verrückter und die Eindeutigkeit. S. 521. E. Seitzinger, Der Röntgenstrahl, ein neues Instrument zur hydrographischen Untersuchung des Wassers. S. 523.	nischen Untersuchungen des Wassers. S. 525. Besprechungen: E. Lichte, Die Physik des Unterwasserschalls. S. 527. Tagesorgane: S. 529. Presse: S. 530. Gesetze: S. 531.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Über den Einfluss horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallgeräten.

Von H. Lichte.

Bei der Wiederaufnahme der Schifffahrt von und nach deutschen Häfen ist die Kennzeichnung von minenfreien Fahrstraßen von erhöhter Wichtigkeit geworden. Einen der wichtigsten Hilfsmittel hierzu ist das der Unterwasserschallsignale. Daher dürfte es interessieren, über die Schallbreitungen im Wasser etwas Näheres zu erfahren.

Man ist im allgemeinen der Ansicht, das Wasser sei zur Übermittlung von Schallsignalen bedeutend besser geeignet als Luft, da es viel homogener sei. Das ist aber nicht der Fall. Vielmehr ist aus mannigfachen Gründen das Wasser in den verschiedenen horizontalen Schichten inhomogen. Befolgendes findet eine Abweichung der Schallstrahlen von der geraden Bahn, eine Brechung der Schallstrahlen, statt. Die verschiedenen Ursachen für diese Brechung sollen im folgenden untersucht werden. Der Anschauung wegen werden in den einzelnen Fällen numerische Beispiele gegeben. Die Schallgeschwindigkeit (v) in einem Medium ist abhängig von Dichte (ρ) und Kompressibilität (β) des betreffenden Mediums gemäß der Beziehung

$$v = \frac{1}{\sqrt{\beta \rho}}. \quad (1)$$

Für Wasser hat man die Kompressibilität ermittelt zu $0,00049 \text{ Atm}^{-1}$ oder in C.G.S.-Einheiten gleich

$$\frac{980,66 \cdot 103,3 \text{ cm sec}^2}{0,00049 \text{ g}}.$$

Daher ist die Schallgeschwindigkeit

1) Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, 16. Aufl. S. 268, Tabelle XIII.

$$v = \sqrt{\frac{1013300 \text{ cm sec}^2}{0,00049}} = 1439 \text{ m sec}^{-1}.$$

Die Größen, die die Schallgeschwindigkeit bestimmen, Kompressibilität und Dichte sind von verschiedenen Faktoren abhängig, unter anderem hauptsächlich von Temperatur, Salzgehalt und Druck.

Wir wollen nun zunächst den Einfluss dieser Faktoren feststellen und den Gang von Schallstrahlen in einer heterogenen Wasserschicht untersuchen. Am wichtigsten ist der Einfluss der Temperatur. Dieser sei daher zuerst betrachtet.

Nehmen wir an, die Temperatur des Wassers nehme gleichmäßig mit der Tiefe von der Oberfläche zum Boden hin ab. Legen wir die x -Achse (Fig. 1) in die Wasseroberfläche, die y -Achse senkrecht nach unten, so ist, da wir innerhalb einer sehr dünnen Schicht die Temperatur als konstant und den Schallstrahl als geradlinig annehmen können, nach dem Brechungsgesetz

$$\frac{v}{\sin \alpha} = \frac{v_0}{\sin \alpha_0} = v_0. \quad (2)$$

Hier bedeuten v die Schallgeschwindigkeit und α den Einfallswinkel in der beliebigen Schicht dy . Die Werte mit dem Index 0 beziehen sich auf die Wasseroberfläche. δ ist der Winkel, unter dem der bezeichnete Strahl gegen die Horizontale ausgeht. Der Strahl gehe von dem Koordinatenanfang aus. Nun ist nach Fig. 1

$$dx = v_0 \sin \alpha, \quad dy = v_0 \cos \alpha, \quad \frac{dx}{dy} = \tan \alpha = \frac{v}{v_0} \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{v}{v_0} \frac{1}{\cot \alpha}.$$

Da

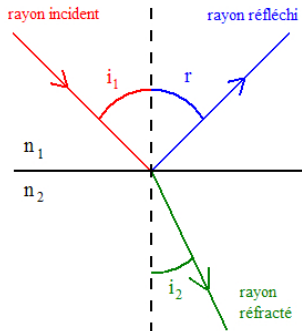
$$\frac{v}{v_0} = \frac{1}{\cot \alpha},$$

Cadre théorique : lois de l'optique géométrique

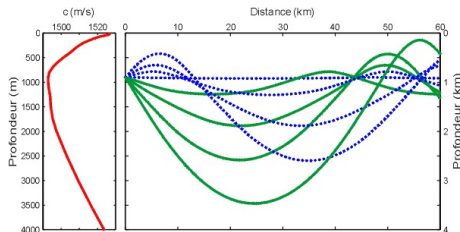
Programme basé sur les lois de l'optique géométrique énoncées par DESCARTES :

- Réfraction : $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$
- Réflexion : $i_1 = r$

avec $n_i = \frac{c_i}{c}$

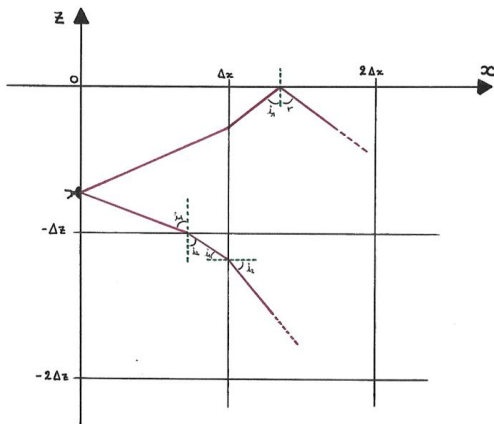


Exemple de propagation de rayons :



D'après O. Le Calvé : Le Son dans la mer

Principe de fonctionnement de notre programme



Approximations de notre modèle :

Propriétés physiques invariantes dans une case discrétisée

→ le rayon se propage en ligne droite

Corps du programme Python

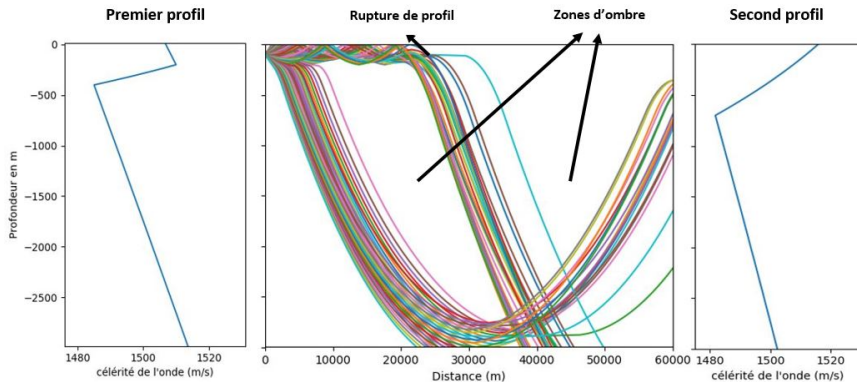
Présentation des principales fonctions :

- célérité2 (l.91) : Calculer la **célérité d'une onde** en une case discrétisée.
- theta2 (l.117) : Calculer un **angle réfracté/réfléchi** à partir des lois de Snell-Descartes (utilise célérité2).
- image-tangente (l.130) : Calculer **l'équation de la droite** selon laquelle se propage le rayon dans une case (utilise theta2).

Fonction finale déterminant le trajet du rayon :

Détermine la droite selon laquelle se propage le rayon dans une case (image-tangente) puis quel bord de la case intersecte le rayon pour savoir dans quelle case il se propage ensuite.

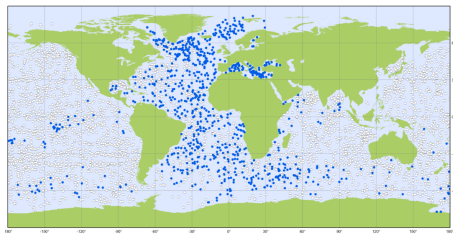
Application à un modèle environnemental schématisé



Le Programme Argo

Le flotteur Argo est un instrument sous-marin autonome qui mesure la température et la salinité au coeur des océans.

- 3000 flotteurs autonomes.
- Immersion jusqu'à 2000m.



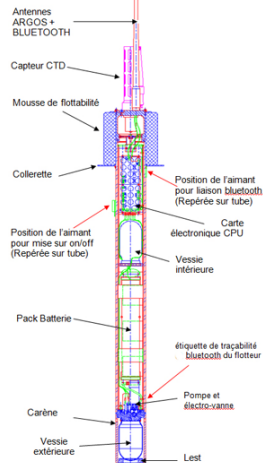
Argo
EuroArgo
European contribution to the Argo program via EuroArgo Research Infrastructure
Latest locations of operational profiling floats (data distributed within the last 30 days)
• Argo EU (883) • Argo non EU (3186)
February 2020



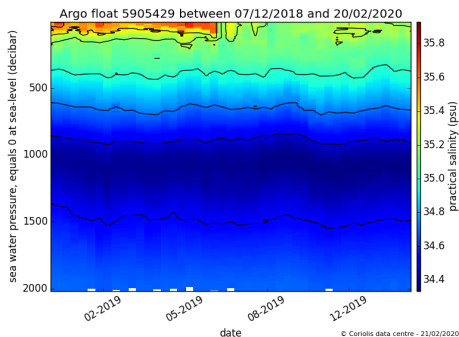
Downloaded by www.jamstec.go.jp

0 www.euro-argo.eu

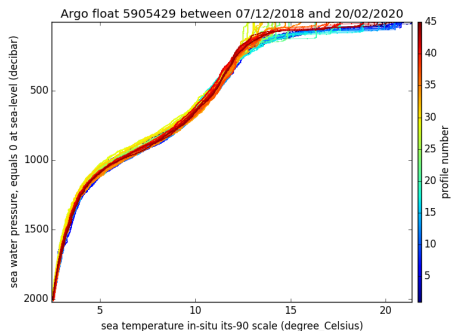
www.naos-equipex.fr



Mise en évidence de l'évolution des couches de surface au cours d'une année



données Argo



données Argo

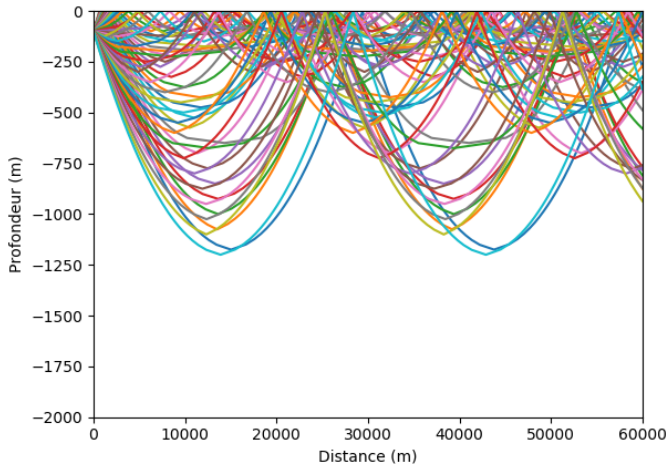
Récupération des données

Exemple d'un fichier Excel récupéré sur le programme ARGO :

LATFORM	ARGOS_ID	DATE	(YYYY/MM/DD HH:MI:SS)	PRES (decibar)	TEMP (degree)	PSAL (psu)	PSAL_ADJUST	TEMP_ADJUST	PRES_ADJUST	PSAL_ADJUST	TEMP_ADJUST	PRES_ADJUST
5905429	911	#####	16:43:27	4.2	19.809	35.82	0.01	0.002	2.4	35.8194	19.809	4.06
5905429	911	#####	16:43:27		6 19.813	35.808	0.01	0.002	2.4	35.8081	19.813	5.86
5905429	911	#####	16:43:27		8 19.815	35.82	0.01	0.002	2.4	35.8198	19.815	7.86
5905429	911	#####	16:43:27		10 19.819	35.819	0.01	0.002	2.4	35.819	19.819	9.86
5905429	911	#####	16:43:27		12 19.82	35.82	0.01	0.002	2.4	35.82	19.82	11.86
5905429	911	#####	16:43:27		14 19.82	35.82	0.01	0.002	2.4	35.82	19.82	13.86
5905429	911	#####	16:43:27		16 19.822	35.82	0.01	0.002	2.4	35.8201	19.822	15.86
5905429	911	#####	16:43:27		18 19.821	35.82	0.01	0.002	2.4	35.82	19.821	17.86
5905429	911	#####	16:43:27	20.1	19.821	35.82	0.01	0.002	2.4	35.8201	19.821	19.96
5905429	911	#####	16:43:27		22 19.821	35.82	0.01	0.002	2.4	35.8205	19.821	21.86
5905429	911	#####	16:43:27		24 19.809	35.823	0.01	0.002	2.4	35.8238	19.809	23.86
5905429	911	#####	16:43:27		26 19.789	35.828	0.01	0.002	2.4	35.8285	19.789	25.86
5905429	911	#####	16:43:27		28 19.777	35.834	0.01	0.002	2.4	35.8345	19.777	27.86
5905429	911	#####	16:43:27		30 19.768	35.84	0.01	0.002	2.4	35.8426	19.768	29.86
5905429	911	#####	16:43:27		32 19.702	35.85	0.01	0.002	2.4	35.8565	19.702	31.86
5905429	911	#####	16:43:27		34 19.572	35.837	0.05073	0.002	2.4	35.8875	19.572	33.86
5905429	911	#####	16:43:27		36 18.093	35.642	0.03053	0.002	2.4	35.6721	18.093	35.86
5905429	911	#####	16:43:27		38 17.314	35.52	0.01381	0.002	2.4	35.5329	17.314	37.86
5905429	911	#####	16:43:27		40 17.002	35.491	0.01	0.002	2.4	35.4938	17.002	39.86
5905429	911	#####	16:43:27		42 16.935	35.486	0.01	0.002	2.4	35.4896	16.935	41.86
5905429	911	#####	16:43:27		44 16.841	35.485	0.01	0.002	2.4	35.4881	16.841	43.86
5905429	911	#####	16:43:27		46 16.766	35.482	0.01031	0.002	2.4	35.491	16.766	45.86

Récupération des données

Résultat de notre programme après implémentation de données réelles :



Application au domaine de la détection sous-marine

Objectifs de l'exploitation des données environnementales récoltées par les flotteurs/gliders:

- Cacher les sous-marins des SONARs ennemis dans les zones d'ombre
- Améliorer la portée des systèmes de communication (Chenal SOFAR)



Un Glider