

Contrôle continu Ondes sismiques EOST 1A, 2021

La figure 1 montre la composante verticale v_z de la vitesse du déplacement des particules dans l'eau due au chant d'un rorqual commun enregistré par un capteur placé au fond de la mer (OBS = Ocean Bottom Seismometer) à une profondeur $d_1 = 3000$ m.

A : L'analyse fréquentielle du signal montre des fréquences dominantes entre 15 et 30 Hz.

B : L'enregistrement en fonction du temps montre un signal qui se répète avec une variation d'amplitude maximum de la vitesse des particules de $A_{v_z} = 4 \cdot 10^{-6}$ m/s.

C, E : Le zoom sur un signal (C) montre qu'il est constitué (E) d'une arrivée directe dans l'eau suivie 4 s plus tard par une arrivée interprétée comme une onde réfléchie au fond et à la surface de l'eau avant d'arriver au capteur.

D : Le capteur étant 3 composantes (déplacement vertical, horizontal E-W, horizontal N-S), la polarisation du déplacement des particules dans le plan horizontal est obtenue. On observe un angle de 30° par rapport au N.

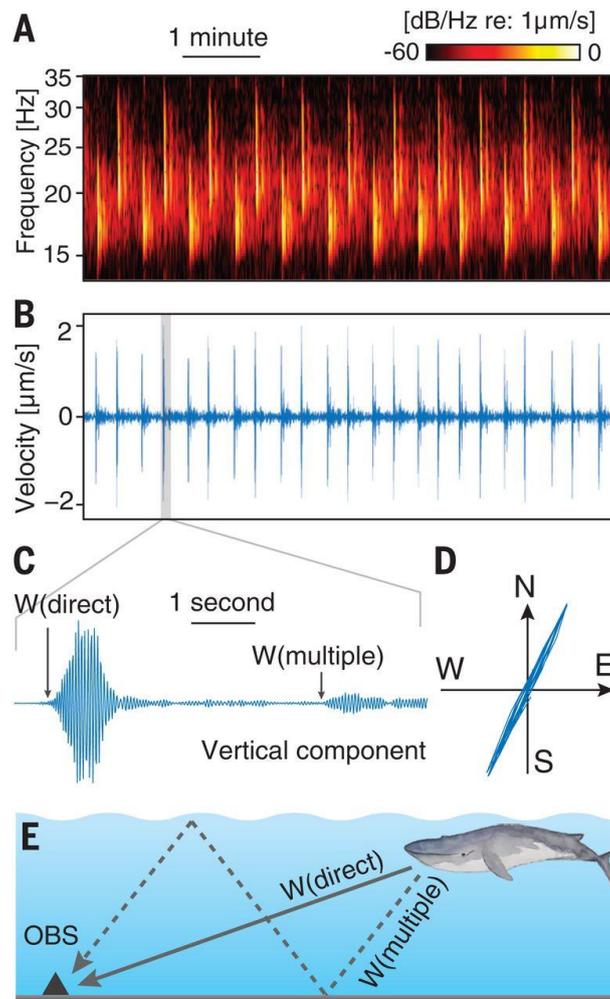


Figure 1

I) On suppose que le rorqual est en surface et qu'il émet une onde sphérique harmonique dans l'eau de potentiel pour le déplacement des particules $\phi(r,t) = (A_\phi/r)\exp(i(kr-\omega t))$.

1) Exprimer k en fonction de ω et V_1 , la vitesse des ondes acoustiques dans l'eau.

2) Déterminer la longueur d'onde λ dans l'eau ($V_1 = 1500$ m/s) à la fréquence $f = 15$ Hz. Vérifier que l'OBS à la profondeur $d_1 = 3000$ m est dans le champ lointain.

3) Montrer que l'écart de temps de 4s entre l'onde directe et la réflexion multiple sur C correspond au cas où le rorqual est en surface à la verticale du capteur.

4) Dans ce cas, écrire l'expression du déplacement vertical des particules u_z (égal au déplacement radial dans ce cas) puis celui de la vitesse des particules v_z .

5) Ecrire l'expression de la pression P due à l'onde dans l'eau et vérifier que le rapport de l'amplitude A_p de la pression sur l'amplitude A_{v_z} est égal à l'impédance dans l'eau $I_1 = \rho V_1$ où ρ est la masse volumique de l'eau.

6) Calculer la variation d'amplitude A_p maximum de la pression P au niveau de l'OBS correspondant à $A_{v_z} = 4 \cdot 10^{-6}$ m/s.

7) Calculer l'amplitude de la pression à 100 m de distance du rorqual.

Par comparaison celle d'une source sismique puissante utilisée en prospection sismique à la même distance est 1 bar.

8) Expliquer pourquoi la détermination de la direction de polarisation du déplacement des particules dans le plan horizontal ne peut être faite que quand le rorqual n'est pas à la verticale de la source.

9) En supposant que la polarisation sur les composantes horizontales du déplacement des particules observée en D ($az = 30^\circ$ par rapport au Nord) est obtenue pour un angle d'incidence γ du rayon direct par rapport à la verticale égal à 60° , déterminer les amplitudes relatives et les longueurs d'onde apparentes observées sur les 3 composantes à la fréquence $f = 15$ Hz.

Rappel : les composantes dans les directions Nord, Est et Verticale du vecteur unitaire \mathbf{e} orienté dans la direction de propagation sont : $e_N = \sin\gamma\cos(az)$, $e_E = \sin\gamma\sin(az)$, $e_V = \cos(\gamma)$

La figure 2 montre :

A,B,C : les enregistrements obtenus avec 3 OBS sur la composante verticale dans les coordonnées X (distance horizontale) et T(X)-X/Vr (temps réduit à la vitesse de réduction Vr = 5.5 km/s permettant de faire apparaître à temps constant les arrivées ayant V_{ax} = Vr)

F : le modèle de vitesse et les rayons correspondant aux ondes identifiées sur les enregistrements. La flèche rouge est la distance horizontale X entre le rorqual et l'OBS.

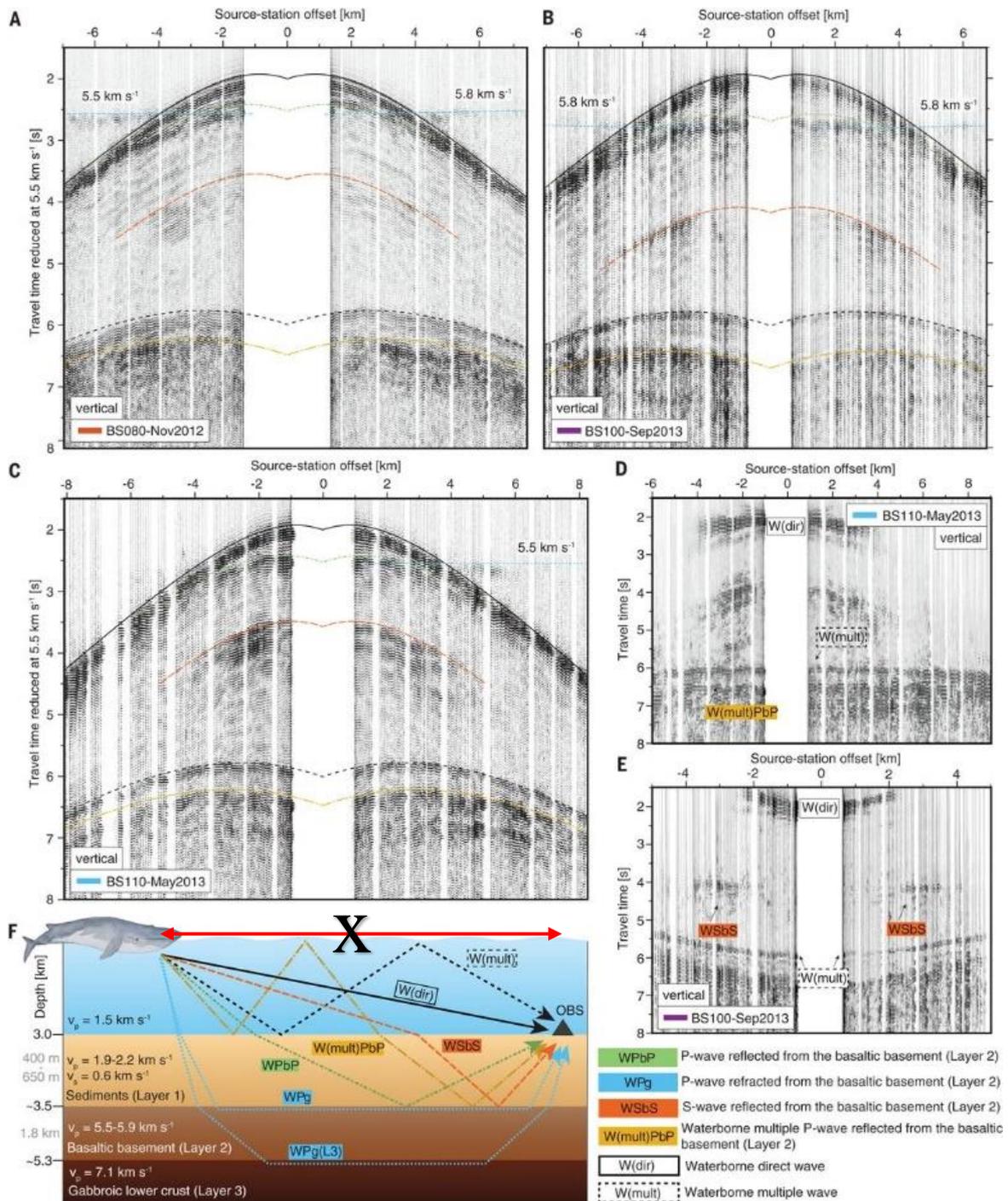


Figure 2

II) La figure 3 est l'hodochrone calculé pour le modèle à 3 couches d'épaisseurs et vitesses constantes sur un demi-espace:

eau $d_1 = 3000$ m,
sédiments $d_2 = 500$ m, $V_2 = 2000$ m/s, $V_{S2} = 600$ m/s ;
basalte $d_3 = 1800$ m, $V_3 = 5800$ m/s
gabbro de la croûte océanique inférieure $V_4 = 7100$ m/s

La légende indique les ondes identifiées sur la figure 2 et les distances critiques X_c pour les interfaces eau-sédiments, sédiments-basalte et basalte-gabbro.

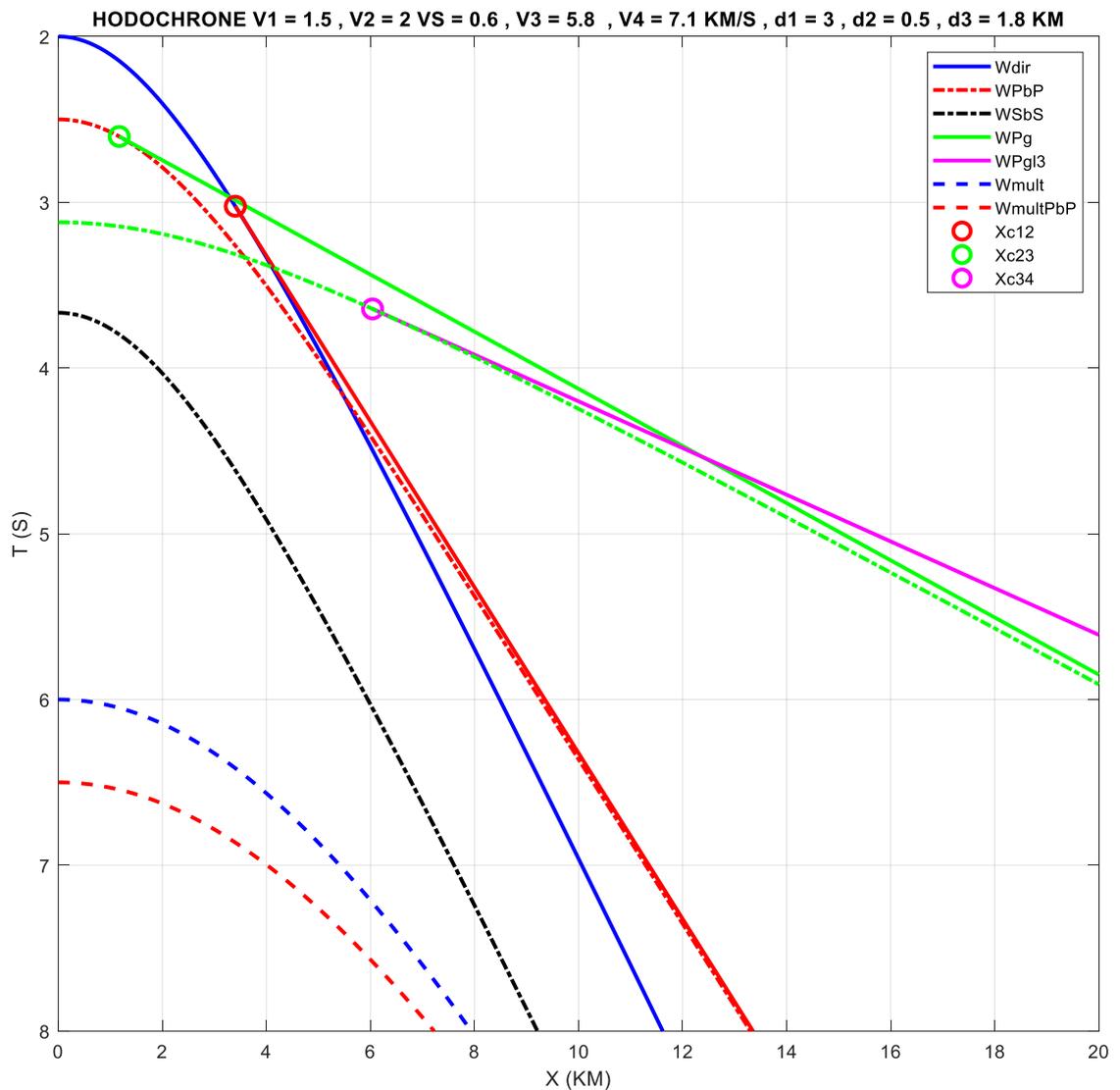


Figure 3

10) Pour chacune des arrivées sur cette figure, établir les expressions permettant de calculer les temps de trajet T et les distances horizontales X entre la source en surface et l'OBS au fond de l'eau. Préciser les valeurs du paramètre p et les valeurs de X pour chaque onde.

III) Le modèle de vitesse indiqué en 1F comporte un gradient de vitesse dans la couche de sédiments et la couche de basalte.

La figure 4 est l'hodochrone calculé pour le modèle à 3 couches d'épaisseurs constantes sur un demi-espace:

eau $d_1 = 3000$ m,

sédiments $d_2 = 500$ m, $V_2 = 1900 + 0.6(z-d_1)$ m/s tel $V_2 = 2200$ m/s à $z_2 = d_1+d_2$

basalte $d_3 = 1800$ m, $V_3 = 5500 + 0.25(z-z_2)$ m/s tel $V_3 = 5950$ m/s à $z_3 = d_1+d_2+d_3$

gabbro de la croûte océanique inférieure $V_4 = 7100$ m/s

La légende indique les ondes identifiées sur la figure 2 et les distances maximum X_m pour les ondes transmises dans les sédiments et le basalte sans réflexion à leur base, et l'incidence critique X_c à l'interface basalte-gabbro.

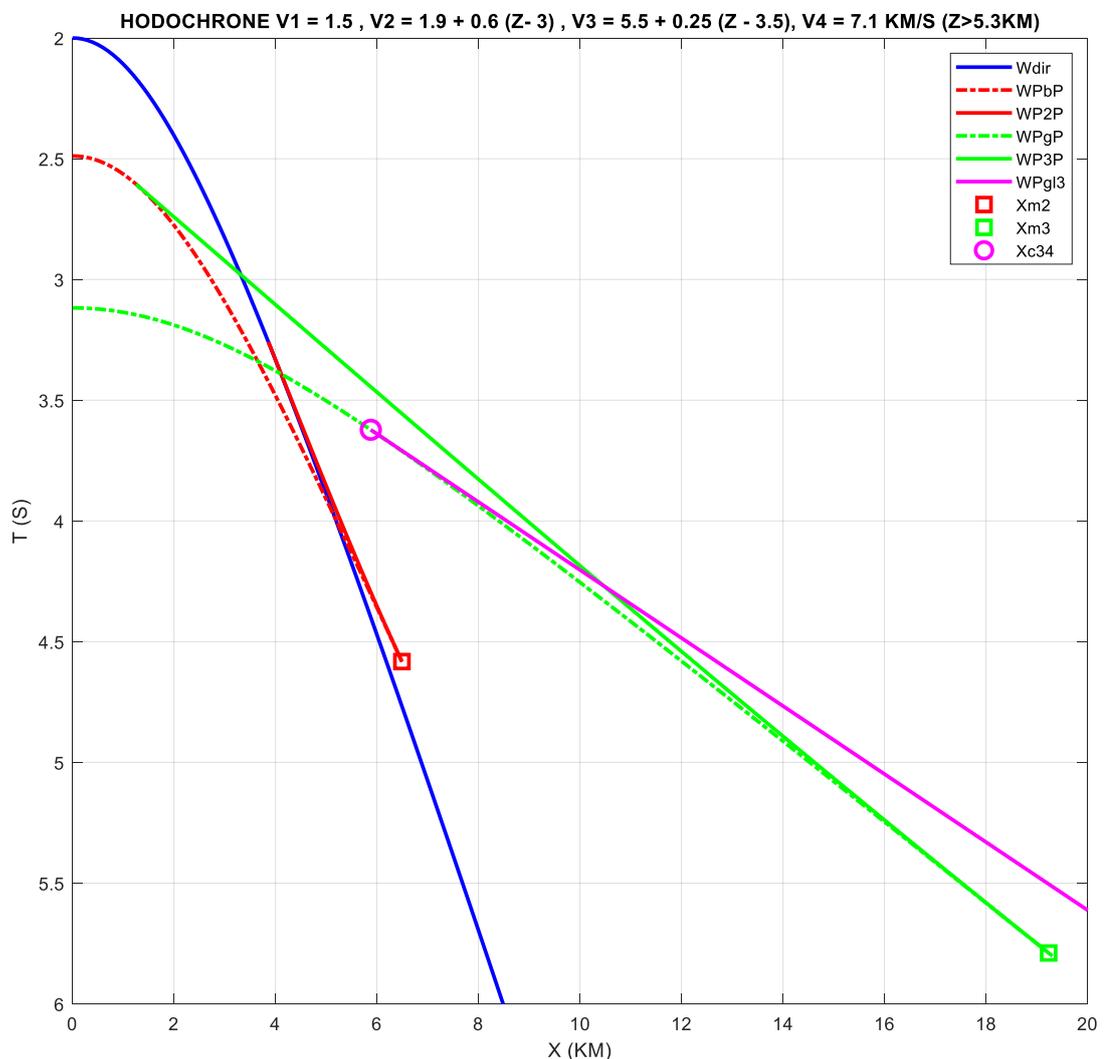


Figure 4

11) Mêmes questions que sur la figure 3.

Référence :

Kuna V.M. and J. L. Nabelek , Seismic crustal imaging using fin whale songs, *Science* 2021: Vol. 371, Issue 6530, pp. 731-735, DOI: 10.1126/science.abf3962

Abstract

Fin whale calls are among the strongest animal vocalizations that are detectable over great distances in the oceans. We analyze fin whale songs recorded at ocean-bottom seismometers in the northeast Pacific Ocean and show that in addition to the waterborne signal, the song recordings also contain signals reflected and refracted from crustal interfaces beneath the stations. With these data, we constrain the thickness and seismic velocity of the oceanic sediment and basaltic basement and the *P*-wave velocity of the gabbroic lower crust beneath and around the ocean bottom seismic stations. The abundant and globally available fin whale calls may be used to complement seismic studies in situations where conventional air-gun surveys are not available.