

Bibliographie:

- [1] Handbook
- [2] Quaranta I, mécanique
- [3] J.-P. Rathieu, Vibrat° et φ de propagat°, Tome 2: Ondes
- [4] Peraz, Optique

Plan:

- I - Caractère progressif des ondes acoustiques
 - I-1 Propagation d'une onde acoustique ds 1 fluide
 - I-2 " " " " 1 solide
- II - Facteurs d'influence de la célérité des ondes de l'air
 - II-1 La Fréquence
 - II-2 La Température
- III - Caractère ondulatoire des ondes acoustiques
 - III-1 Diffraction
 - III-2 Interférences

Introduction:

Les ondes acoustiques nous sont bien familières puisque le son est un de nos moyens de communication le plus direct. Le son correspond à une onde de surpression qui se propage, un peu comme se propage une onde électromagnétique. Nous caractériserons cette propagation par la mesure de sa vitesse.

Si le parallèle son - lumière est séduisant, il faut toutefois noter que les ondes acoustiques sont des ondes mécaniques. (nécessitent donc 1 milieu matériel pour se propager, qu'il soit fluide ou solide) contrairement aux ondes ELM. Ce MP est l'occasion de faire ressortir qq 1 des caractéristiques de ces ondes.

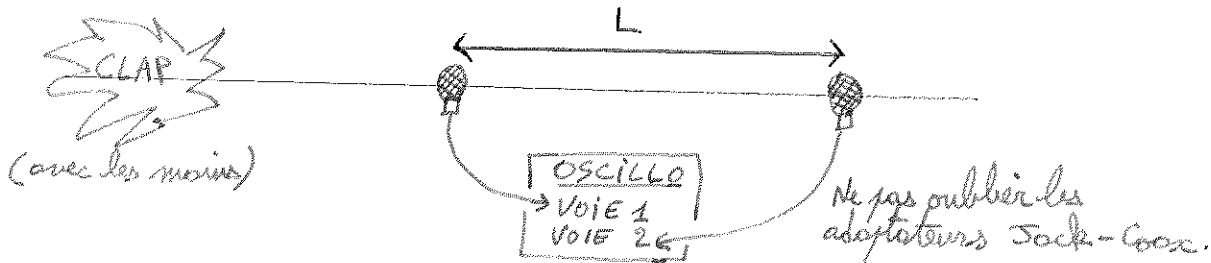
I - Caractère progressif des ondes acoustiques

I-1 Propagation d'une onde acoustique dans un fluide [1][2]

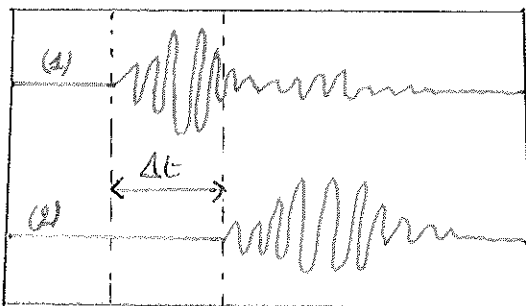
De ma bouche à vos oreilles, le son se propage dans l'air de proche en proche. Le caractère progressif du son, nous pouvons le mettre en évidence en déterminant la vitesse de propagation de l'information.

① Dans l'air : ondes longitudinales seulement.

(inspire de [2])



Réglages :
 → Trigger ou-dessus du bruit en mode NORMAL
 → Passer en mode ROLL
 → Une fois l'enregistrement terminé, appuyer sur SINGLE



Cl 1 : Il y a propagation.

Mesure de la vitesse :

$$L = 1\text{ m} \pm 0,2\text{ cm}$$

↳ taille des micros

$$\Delta t = 2,9\text{ ms} \pm 0,2\text{ ms}$$

Doit que cette mesure permet d'infirmer hyp. isotherme pour ondes acoustiques.

$$c_{\text{son}} = \frac{L}{\Delta t} = 344\text{ m/s} \pm 15\text{ m/s} \quad [1] \text{ Valeur tabulée : } 343,37\text{ m.s}^{-1} \text{ à } 20^\circ\text{C}$$

337,46 m/s à 10°C et 349,18 m/s à 30°C

Eq : Typ de vol + précis car on ne sait pas exactement comment répond l'émetteur.

* Signaux peu déformés $\Rightarrow$ air est 1 milieu peu dispersif.

* Incertitudes : $\frac{\Delta c_{\text{son}}}{c_{\text{son}}} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta t}{\Delta t} \approx 1\% + 5\% \approx 5\%$

② Dans l'eau : ondes longitudinales seulement. [Notice] [2 éventuellement]

↳ fréquence pigo = 1 MHz

On utilise la cuve avec transducteurs piézoélectriques $\rightarrow$ ondes ultrasonores

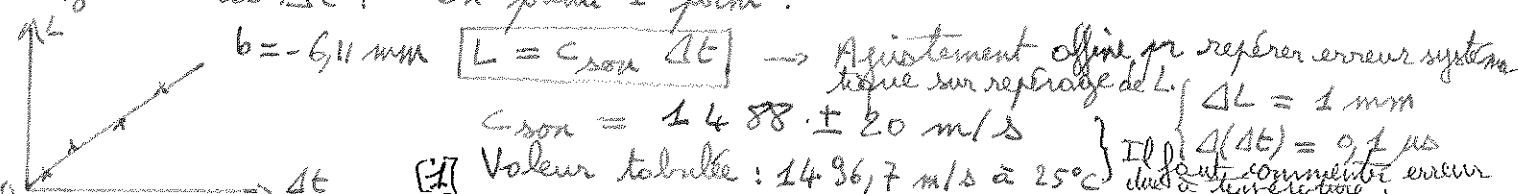
$\rightarrow$ émetteur : envoie impulsions ultrasonores brèves
 $\rightarrow$ récepteur : idem que émetteur.

Δ + on $\nearrow$ la puissance, + impulsion est large...

On réalise branchements $\hat{c}$ sur notice. On peut même se passer de l'amplification HF réalisée par le boîtier.

On obtient m type de signaux que + haut.

Utiliser marques sur vitre avant et arrière pour mesurer L. On peut tracer en fonction de Δt : On prend 1 point.



q: → commenter la présence de réflexions sur les parois ⇒ on mesure tps de vol avec le signal qui met le ⊖ de tps à arriver : correspond au trajet direct
 → PENSER à faire des moyennes à oscilloscope : 256.
 → Évolut^e de (son) eau pure avec T proche de 25°C : $\frac{sc}{ST} = 2,4 \text{ m/s/}^\circ\text{C}$

↳ ne suffit pas à expliquer les écarts

- (son) eau mer = 1531 m/s ⇒ eau pas pure en fait ?
- noter que ds la plupart des lig en réalité $\frac{sc}{ST} < 0$.
- Pg: l'ordonnée à l'origine correspond à largeur des transducteurs... origine pas bien définie. L'important est de faire mesures de la m^{me} façon et de tps.

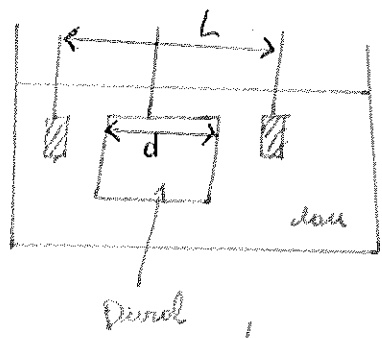
Cell: Le son va + vite dans l'eau que dans air ⇒ dépend du milieu (densité).

I-2 Propagation d'une onde acoustique dans un solide [Notice] [3] [4]

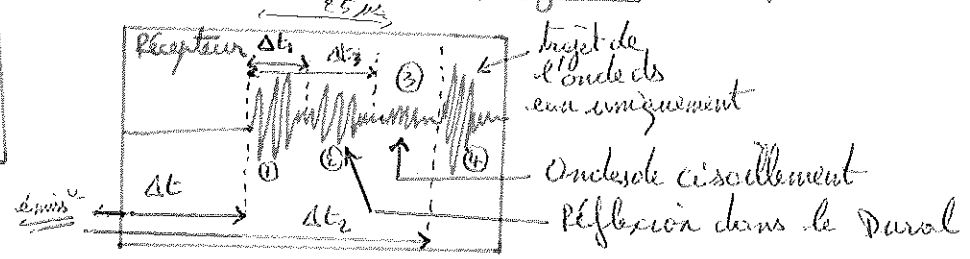
Solide intercalé entre émetteur et récepteur : bloc de Dural.
 Dural : alliage d'aluminium et de cuivre (utilisé en aéronautique).

Réglages pour avoir 1 signal le ⊖ pourvu possible :

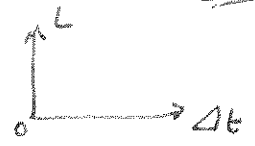
- Rep RATE : 4
- ENERGY : 4
- DAMPING : 0
- ATTEN : 30 dB et 0 sur réglage fin
- HP FILTER : au max
- GAIN : 40 dB



Mesures avec Dural en longueur : $d = 8,50 \text{ cm}$



On trace :



$$\Delta t = \frac{L-d}{c_{\text{eau}}} + \frac{d}{c_{\text{dural}}} = \frac{L}{c_{\text{eau}}} + d \left[\frac{1}{c_{\text{dural}}} - \frac{1}{c_{\text{eau}}} \right]$$

$$\Rightarrow L = c_{\text{eau}} \Delta t + d \left[1 - \frac{c_{\text{eau}}}{c_{\text{dural}}} \right] \Rightarrow c_{\text{dural}} = 6131 \pm 500 \text{ m/s}$$

[1] Valeur tabulée : $c_{\text{dural}} = 6100 \text{ m/s}$; $\rho_{\text{dural}} = 2790 \text{ kg/m}^3$

Au passage la pente nous donne : $c_{\text{eau}} = 1475 \pm 20 \text{ m/s}$

lien avec les caractéristiques élastiques :

$$\Rightarrow E = \rho c_{\text{dural}}^2 = 105 \text{ GPa} \pm 20 \text{ GPa}$$

$$[1] E_{\text{dural}}^{\text{tab}} = 104 \text{ GPa}$$

$$c_{\text{dural}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$\text{avec } \frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + 2 \frac{\Delta c_{\text{eau}}}{c_{\text{eau}}}$$

supposée négligeable

Il serait mieux de réexplorer mesure précédente.

Pg → Signaux reçus : ① Le trajet le + rapide : ligne droite eau + dural + eau

onde de compress^o réfléchi ou onde de cisaillement.

② Δt_1 ne change pas si on fait varier L ⇒ réflexions internes du dural : $\Delta t_1 \approx 10 \text{ à } 13 \mu\text{s}$

Sans doute du à $\frac{d}{c_{\text{dural}}}$ car incidence $\theta_i \neq 0$.

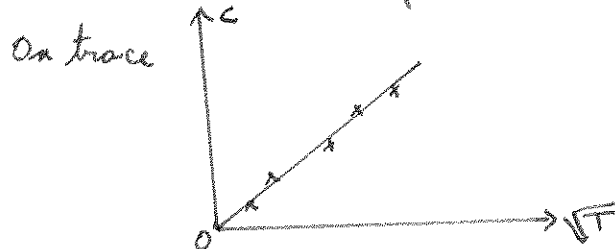
Tout ça impose : à $T = 73,7^\circ\text{C}$; $f = 5\text{ kHz}$; $\lambda \approx 11,25 \pm 0,05\text{ cm}$ (4)

Penser à moyenniser (512) à l'oscillo.

Remise de T avec thermocouple (corriger éventuellement la référence à l'aide d'un thermomètre à alcool ou Hg).

1 point de mesure : $T = 25,3^\circ\text{C}$ $f = 4638 \pm 40\text{ Hz}$

Modèle : - air = GP diatomique $\rightarrow \gamma = \frac{c_p}{c_v}$; $PV = N k_B T$ avec $M = 29\text{ g/mol}$
- approximation acoustique $\rightarrow c_{\text{son}} = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \chi_s}} = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}}$ $\rightarrow 80\% \text{ N}_2$
- transformations isentropiques : $\chi_s = \frac{1}{\gamma P_0}$ $20\% \text{ O}_2$



$$\Rightarrow \text{pente : } \sqrt{\frac{\gamma P_0}{M}} = 20,12 \pm 0,05 \text{ et } \frac{\Delta c}{c} = \frac{2 \Delta \text{pente}}{\text{pente}} \approx 0,6\%$$

$$\text{d'où } \gamma = 1,41 \pm 0,01 \text{ (Dernier point (0;0) !!!)}$$

$$\text{Modèle } \rightarrow \gamma = \frac{7/2}{5/2} = 1,4 \text{ à } 300\text{ K}$$

↳ Test du modèle.

↳ c_p avec relat° de Debye ; degrés de liberté gelés $T \approx 10^3\text{ K}$.

Justification des hyp : * $\gamma \approx 1,4$ donc GP bon modèle pr l'air

* $\chi_T = \gamma \chi_s \Rightarrow (c_{\text{son}})_T = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}}$ $\rightarrow$ on devrait trouver $\gamma = 1$!
 $\Rightarrow$ transfos isentropiques justifiées.

pg : on fait les mesures en refroidissant $\rightarrow$ penser à enclencher la ventilat°
so. va + vite !

Cal 5 : $\rightarrow c_{\text{son}}$ augmente avec T dans l'air.
 $\rightarrow$ GP diatomique = bon modèle de l'air à P_{atm} et $T \leq T_{\text{amb}}$.

Surqu'à présent, nous avons mis en évidence le caractère propagatif des ondes acoustiques dans $\pm$ milieux et étudié qq facteurs influençant sa propagation. A présent, comment mettre en évidence son caractère ondulatoire ?

III - Caractère ondulatoire des ondes acoustiques

III-1 Diffraction [4] [3]

Nous avons vu que les phénomènes ondulatoires induisent un comportement singulier à la traversée d'obstacle dont la dimension est de l'ordre de la longueur d'onde. En est-il de même avec les ondes acoustiques ?

GBF $\rightarrow$ Émetteur ultrasons

GBF : 10 V_{pp}
 $40,2\text{ kHz} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 8,56\text{ mm}$
avec $c \approx 344\text{ m/s}$

Oscillo : de préférence "Infiniète Vision"
 $\rightarrow$ pr "Quick Resure".

Rouennage : 256

On enregistre l'intensité du signal en fonction de x (tous les 5 cm).

On constate des variations de I_{int} dans l'enveloppe due à la diffraction. ⑤
se rappeler que l'on obtient en Fourier 1 convolution du signal du 0-
la diffraction d'1 HP et du signal qui serait obtenu sans diffraction
 $\Rightarrow$ produit simple en spatial : on modélise donc par :

$$I_{int}(x) = a \left(\frac{J_1(bx)}{bx} \right)^2 (1 + \cos(cx))$$

Ceci permet de mesurer graphiquement l'interfrange $i =$
(en mesurer 3 pr plus de précision).

En théorie : $\boxed{i = \frac{\lambda L}{e}} = \frac{33,06}{3} = 11,02 \text{ cm}$

d'où $e = \frac{\lambda L}{i} = 6,72 \text{ cm}$

et $e_{\text{mesuré}} \approx 6,7 \text{ cm}$

Req: On pourra moyenner dans "Quick Resure" directement et lire la moyenne et l'écart type si oscillo Infini Vision !

Cel 7: Ce que l'on observe c'est bien des interférences d'ondes acoustiques. gde similarité avec optique.

Application: + j'ajoute d'émetteurs, + les pics sont fins
 $\Rightarrow$ directivité $\uparrow$

⑥ En jouant sur posit[°] relative des émetteurs on contrôle la directivité des ondes

$\Rightarrow$ le montrer

$\Rightarrow$ C'est ce qu'on fait en échographie !

Conclusion: Les ondes acoustiques se comportent donc, du pt de vue de la diffraction et des interférences à les ondes ELM. En revanche, elles nécessitent 1 milieu matériel pour se propager, et à ce titre, ne se comportent pas de la même façon que 1 fluide et de 1 solide. Leur connaissance et leur utilisat[°] est 1 formidable outil d'exploration du sous-sol, et à l'origine de bien des applications de ce domaine médical. A cet égard, l'étude du comportement de telles ondes aux interfaces permet d'introduire la notion d'impédance et d'adopter d'impédance, si fondamental en échographie.

ABSORPTION AND VELOCITY OF SOUND IN STILL AIR (Continued)

Frequency (Hz)	Absorption (dB/1000 ft)	Absorption (dB/Km)	Absorption (dB/sec)	Velocity (1000 ft/sec)
40000.	313.525	1028.36	354.334	1.130161
63000.	655.282	2149.33	740.615	1.130223
80000.	925.566	3035.86	1046.134	1.130264

Relative Humidity = 90%

20.	0.003	0.01	0.004	1.130443
40.	0.013	0.04	0.014	1.130443
50.	0.019	0.06	0.022	1.130444
63.	0.031	0.10	0.035	1.130444
100.	0.074	0.24	0.084	1.130446
200.	0.250	0.82	0.283	1.130457
400.	0.621	2.04	0.702	1.130478
630.	0.903	2.96	1.021	1.130493
800.	1.045	3.43	1.182	1.130498
1250.	1.344	4.41	1.520	1.130505
2000.	1.892	6.21	2.139	1.130508
4000.	4.337	14.22	4.903	1.130511
6300.	9.099	29.84	10.286	1.130512
10000.	21.133	69.32	23.891	1.130514
12500.	32.258	105.81	36.468	1.130516
16000.	51.762	169.78	58.518	1.130520
20000.	79.424	260.51	89.791	1.130526
40000.	290.117	951.58	327.995	1.130561
63000.	629.701	2065.42	711.948	1.130612
80000.	911.286	2989.02	1030.346	1.130651

Relative Humidity = 100%

20.	0.003	0.01	0.003	1.130856
40.	0.011	0.04	0.013	1.130856
50.	0.018	0.06	0.020	1.130857
63.	0.028	0.09	0.031	1.130857
100.	0.068	0.22	0.076	1.130858
200.	0.234	0.77	0.265	1.130868
400.	0.616	2.02	0.696	1.130888
630.	0.928	3.05	1.050	1.130902
800.	1.087	3.57	1.230	1.130909
1250.	1.399	4.59	1.582	1.130917
2000.	1.917	6.29	2.168	1.130921
4000.	4.140	13.58	4.682	1.130924
6300.	8.451	27.72	9.557	1.130925
10000.	19.357	63.49	21.891	1.130926
12500.	29.461	96.63	33.318	1.130929
16000.	47.227	154.90	53.410	1.130931
20000.	72.538	237.93	82.036	1.130935
40000.	269.598	884.28	304.905	1.130963
63000.	601.714	1973.62	680.543	1.131007
80000.	888.113	2913.01	1004.492	1.131042

VELOCITY OF SOUND IN DRY AIR

Data in this table apply only to dry air. These data have been calculated with air being treated as a perfect gas.

Temp °C	0 m sec ⁻¹	1 m sec ⁻¹	2 m sec ⁻¹	3 m sec ⁻¹	4 m sec ⁻¹	5 m sec ⁻¹	6 m sec ⁻¹	7 m sec ⁻¹	8 m sec ⁻¹	9 m sec ⁻¹
60	366.05	366.60	367.14	367.69	368.24	368.78	369.33	369.87	370.42	370.96
50	360.51	361.07	361.62	362.18	362.74	363.29	363.84	364.39	364.95	365.50
40	354.89	355.46	356.02	356.58	357.15	357.71	358.27	358.83	359.39	359.95
30	349.18	349.75	350.33	350.90	351.47	352.04	352.62	353.19	353.75	354.32
20	343.37	343.95	344.54	345.12	345.70	346.29	346.87	347.44	348.02	348.60
10	337.46	338.06	338.65	339.25	339.84	340.43	341.02	341.61	342.20	342.78
0	331.45	332.06	332.66	333.27	333.87	334.47	335.07	335.67	336.27	336.87
-10	325.33	324.71	324.09	323.47	322.84	322.22	321.60	320.97	320.34	319.72
-20	319.09	318.45	317.82	317.19	316.55	315.92	315.28	314.64	314.00	313.36
-30	312.72	312.08	311.43	310.78	310.14	409.49	308.84	308.19	307.53	306.88
-40	306.22	305.56	304.91	304.25	303.58	302.92	302.26	301.59	300.92	300.25
-50	299.58	298.91	298.24	297.56	296.89	296.21	295.53	294.85	294.16	293.48
-60	292.79	292.11	291.42	290.73	290.03	289.34	288.64	287.95	287.25	286.55
-70	285.84	285.14	284.43	283.73	283.02	282.30	281.59	280.88	280.16	279.44
-80	278.72	278.00	277.27	276.55	275.82	275.09	274.36	273.62	272.89	272.15
-90	271.41	270.67	269.92	269.18	268.43	267.68	266.93	266.17	265.42	264.66