Corrigé exercice 11 : BTS Audiovisuel 2002 (extrait)

1. L'onde incidente parcourt la distance OM = x alors que l'onde réfléchie parcourt la distance x + 2 r

La différence de parcours (2 r) se traduit par une différence de phase $\Delta\varphi$ entre les deux ondes (supposées sinusoïdales) : $\boxed{\Delta\varphi = 2\pi\frac{2r}{\lambda}}$

2. Les amplitudes des deux ondes s'ajoutent.

◆ Si les deux ondes sont en opposition de phase, l'amplitude résultante sera minimale. Ceci se produira pour une distance 2 r égale à un nombre impair de demi-longueurs d'onde : $2r = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ (k entier positif ou nul)

On obtient : $\Delta\varphi = 2\pi\frac{(2k+1)\frac{\cancel{\lambda}}{2}}{\cancel{\lambda}}$ soit : $\boxed{\Delta\varphi = (2k+1)\frac{\pi}{2} \quad \text{k entier positif ou nul}}$

◆ Si les deux ondes sont en phase, l'amplitude résultante sera maximale. Ceci se produira pour une distance 2 r égale à un nombre entier de longueurs d'onde : $2r = p\lambda$ (p entier positif)

On obtient : $\boxed{\Delta\varphi = p\pi \quad \text{p entier positif}}$

◆ Les ondes sont considérées comme des ondes planes ; il n'y a donc pas atténuation de l'amplitude (donc de la pression efficace) aux abords du point M. Dans ces conditions, la pression minimale est nulle et la pression maximale P_{max} est le double de l'amplitude de l'onde incidente.

$P_M = \frac{\hat{P}}{\sqrt{2}}$ ($\hat{P}$: amplitude de l'onde de pression incidente)

$P_{max} = 2\hat{P}$ (doublement de l'amplitude) soit : $\boxed{P_{max} = 2P_M\sqrt{2}}$

Remarque : On a donc, ici : $\frac{P_{max}}{\sqrt{2}} = 2P_M$

Les deux ondes (incidente et réfléchie) sont corrélées puisqu'elles sont en phase ; les pressions efficaces s'ajoutent.

Attention ! Ce n'est pas le cas général (voir question 5).

3. r = 85 cm et $\lambda = \frac{v}{f}$

◆ L'amplitude est nulle pour : $2r = (2k+1)\frac{v}{2f}$ ce qui entraîne :

$$\boxed{f = \frac{v(2k+1)}{4r} \quad \text{avec } k = 0, 1, 2, ...}$$

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	etc
f (Hz)	100	300	500	700	900	1100	1300	1500	1700	1900	etc

BTS FEE Monge Nantes

◆ L'amplitude est maximale pour : $2\,r = p\,\frac{v}{f}$ ce qui entraîne :

$$\boxed{f = p\,\frac{v}{2\,r} \text{ avec } p = 1, 2, 3, ... \text{ car } r > 0}$$

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f (Hz)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000

4. *Remarque préalable* : l'onde incidente comme l'onde réfléchie sont périodiques mais non sinusoïdales ; elles résultent de la superposition de plusieurs ondes planes sinusoïdales de fréquences :

$f_1 = 400$ Hz ; $f_2 = 800$ Hz $= 2\,f_1$; $f_3 = 1200$ Hz $= 3\,f_1$; $f_4 = 1600$ Hz $= 4\,f_1$ et $f_5 = 2000$ Hz $= 5\,f_1$.

Les amplitudes de ces différentes ondes planes ne varient pas (le spectre de l'onde incidente est donc inchangé par translation dans la direction de propagation).

La fréquence du fondamental est la plus petite des fréquences : $f_1 = 400$ Hz

5. Les différentes composantes de l'onde incidente ne sont pas a priori corrélées de sorte que la pression efficace résultante P_M^i vérifie :

$$(P_M^i)^2 = (P_1^i)^2 + (P_2^i)^2 + (P_3^i)^2 + (P_4^i)^2 + (P_5^i)^2$$

Le spectre de pression (onde incidente ; exposant « i ») fournit :

$f_1 = 400$ Hz	$f_2 = 800$ Hz	$f_3 = 1200$ Hz	$f_4 = 1600$ Hz	$f_5 = 2000$ Hz
$P_1^i = 0{,}04$ Pa	$P_2^i = 0{,}01$ Pa	$P_3^i = 0{,}02$ Pa	$P_4^i = 0{,}005$ Pa	$P_5^i = 0{,}01$ Pa

$$\text{A.N.} : P_M^i \cong 4{,}72 \times 10^{-2} \text{ Pa}$$

6. Compte tenu des tableaux établis à la 3° question, toutes les harmoniques sont en phase.

Il y a donc doublement de la pression efficace pour toutes les ondes !

On a alors :

$$\boxed{(P_M^{tot})^2 = (2P_1^i)^2 + (2P_2^i)^2 + (2P_3^i)^2 + (2P_4^i)^2 + (2P_5^i)^2}$$

soit : $(P_M^{tot})^2 = 4\,(P_M^i)^2$ puis : $\boxed{P_M^{tot} = 2\,P_M^i}$

Le nouveau spectre de pression est :

$f_1 = 400$ Hz	$f_2 = 800$ Hz	$f_3 = 1200$ Hz	$f_4 = 1600$ Hz	$f_5 = 2000$ Hz
$P_1 = 0{,}08$ Pa	$P_2 = 0{,}02$ Pa	$P_3 = 0{,}04$ Pa	$P_4 = 0{,}01$ Pa	$P_5 = 0{,}02$ Pa

7. Rappelons que l'on a un renforcement du fondamental (fréquence f_1 et longueur d'onde $\lambda_1 = 85$ cm) au point M. Pour obtenir, en un point K, une différence de parcours d'une demi-longueur d'onde entre l'onde incidente et l'onde réfléchie, il faut se déplacer, à partir de M (et de part et d'autre de M), d'un quart de longueur d'onde soit $\frac{\lambda_1}{4} = \frac{85 \text{ cm}}{4} \cong 21{,}2$ cm.

BTS IRIS Nantes

Remarque : On peut, bien entendu, reprendre les expressions donnant « l'extinction » de la fréquence f_1 à une distance x de la paroi (on cherche x **maximale mais inférieure à 85 cm**) :

$$\boxed{x = \frac{v\,(2\,k+1)}{4\,f_1}}$$

Le calcul est un peu plus long ; il faut prendre k = 1.

k	0	*1*	2	3	4
x	21,25 cm	*63,75 cm*	valeurs trop grandes		

85 cm – 63,75 cm = 21,25 cm

8. L'harmonique de rang 3 a une fréquence $f_3 = 3\,f_1 = 1200\ \text{Hz}$ et une longueur d'onde $\lambda_3 = \frac{\lambda_1}{3}$. Pour obtenir, en un point G, une différence de parcours d'une demi-longueur d'onde entre l'onde incidente et l'onde réfléchie, il faut se déplacer, à partir de M (et de part et d'autre de M), d'un quart de longueur d'onde soit $\frac{\lambda_3}{4} \cong 7{,}1\ \text{cm}$.

Remarque : On peut, ici aussi, reprendre les expressions donnant « l'extinction » de la fréquence $f_3 = 3\,f_1$ à une distance y de la paroi (on cherche y **maximale mais inférieure à 85 cm**) :

$$\boxed{y = \frac{v\,(2\,k+1)}{4\,f_3}}$$

Le calcul est un peu plus long ; on trouve k = 5. La distance y obtenue est d'environ 78 cm ce qui confirme un déplacement minimal de 7 cm environ.

BTS FEE Monge Nantes