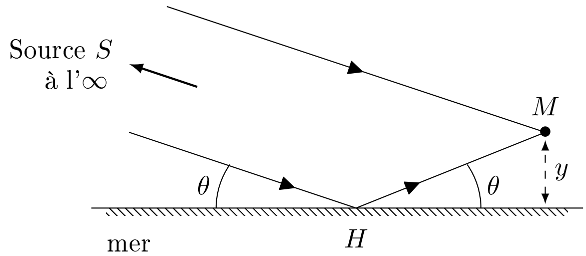
OP3-TD

Correction

OP3 – 07 Ondes

1) Il se produit un phénomène d'interférences, car il y a deux moyens pour l'onde d'atteindre l'antenne en M : soit par le chemin direct, soit après une réflexion sur l'eau. Il s'agit donc d'**interférences à deux ondes**, à division du front d'onde.

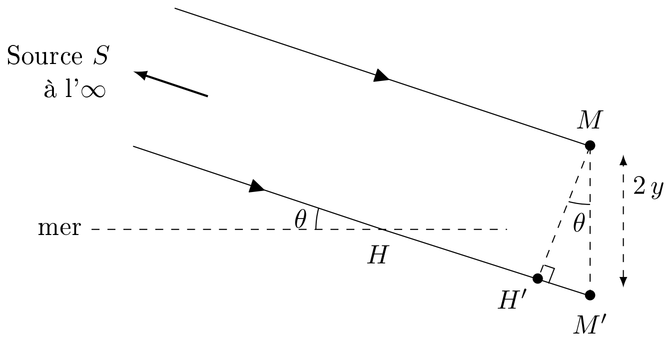
2) On commence par représenter les deux chemins allant de l'émetteur S au loin à l'antenne M. Les rayons arrivent parallèles car la source est supposée très lointaine.



Notons $\mathcal{L}(SM)_d$ le chemin optique correspondant au rayon direct et $\mathcal{L}(SM)_r$ celui correspondant au rayon réfléchi. La différence de marche se calcule par

$$\Delta\mathcal{L}(SM) = \mathcal{L}(SM)_r - \mathcal{L}(SM)_d$$

La distance HM est identique à la distance HM' où M' est le symétrique de M par rapport à la surface libre de la mer. On peut donc visualiser que tout se passe comme le rayon qui allait de S à M en passant par H allait en fait de S à M', et on schématise



Ainsi,

$$\Delta\mathcal{L}(SM) = \mathcal{L}(SM') - \mathcal{L}(SM)$$

Le théorème de Malus affirme que les surfaces d'ondes, c'est-à-dire les surfaces « équi-chemin optique » sont orthogonales aux rayons, donc H' et M sont sur la même surface d'onde et alors

$$\mathcal{L}(SH') = \mathcal{L}(SM) \qquad \text{d'où} \qquad \Delta\mathcal{L}(SM) = \mathcal{L}(SM') - \mathcal{L}(SM) = \mathcal{L}(SH') + \mathcal{L}(H'M') - \mathcal{L}(SM) = \mathcal{L}(H'M')$$

Finalement,

$$\boxed{\Delta\mathcal{L}(SM) = n_{\text{air}}\,H'M' = 2\,n_{\text{air}}\,y\,\sin\theta} \qquad \text{d'après le schéma, et on identifie} \qquad \boxed{f(y) = 2\,n_{\text{air}}\,y}$$

3) La différence de marche $\Delta\mathcal{L}(SM)$ induit une différence de phase

$$\Delta\phi = \frac{2\,\pi}{\lambda}\,\Delta\mathcal{L}(SM) = \frac{4\,\pi\,n_{\text{air}}\,y\,\sin\theta}{\lambda}$$

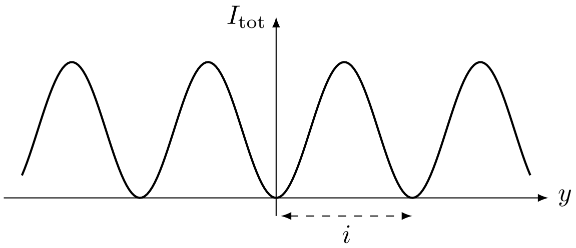
à laquelle il faut ajouter le déphasage dû à la réflexion sur l'eau $+\pi$. Par conséquent, la différence de phase totale est

$$\boxed{\Delta\phi_{\text{tot}} = \frac{4\,\pi\,n_{\text{air}}\,y\,\sin\theta}{\lambda} + \pi}$$

4) Il s'agit d'interférence à deux ondes. On peut donc appliquer la **formule de Fresnel**. En supposant que les deux chemins contribuent par la même intensité I_0, on a

$$\boxed{I_{\text{tot}} = 2\,I_0\left(1 - \cos\left(\frac{4\,\pi\,n_{\text{air}}\,y\,\sin\theta}{\lambda}\right)\right)}$$

car $\cos(x+\pi) = -\cos(x)$. On peut tracer qualitativement cette intensité.

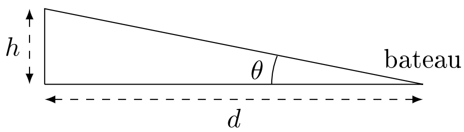


Du fait du déphasage introduit par la réflexion, la position $y = 0$ correspond à un **minimum d'intensité** (et non un maximum comme dans le cas des trous d'Young symétriques par exemple).

5) L'ordre d'interférence est $$p = \frac{\Delta\phi_{\text{tot}}}{2\,\pi} = \frac{2\,n_{\text{air}}\,y\,\sin\theta}{\lambda} + \frac{1}{2}$$

L'interfrange i est telle que $p(y+i) = p(y) + 1$ soit, en prenant $n_{\text{air}} = 1$, $$\boxed{i = \frac{\lambda}{2\,\sin\theta}}$$

6) La source est à $d = 10$ km, et à la hauteur h.



On calcule

$$\sin\theta = \frac{h}{\sqrt{h^2+d^2}} = 7,0\times10^{-2} \qquad \text{pour } h = 700 \text{ m} \qquad \text{et} \qquad \sin\theta = 1,0\times10^{-4} \qquad \text{pour } h = 10 \text{ km.}$$

Par ailleurs, $\lambda = c/f = 3$ m. Finalement

$$\boxed{i = 21 \text{ m} \qquad \text{pour la colline} \qquad \text{et} \qquad i = 15 \text{ km} \qquad \text{pour l'immeuble.}}$$

D'après le tracé de $I_{\text{tot}}(y)$, on voit que pour recevoir le signal avec une forte intensité il faut $y \approx i/2$. Un **mat de bateau de 10 m correspond parfaitement dans le cas d'une source sur une colline**. Il semble par contre impossible de placer l'antenne du bateau à 7,5 km d'altitude... Placer la source sur un immeuble paraît pour cette raison une mauvaise idée.