

Interférences acoustiques

Introduction :

Obtenir de l'obscurité en superposant de la lumière et du silence en additionnant du bruit ...

Éliminer les bruits parasites pour écouter sa musique préférée ...

Voir des franges d'interférences contrastées qui disparaissent ...

Observer des flaques d'huiles de toutes les couleurs ...

Admirer des ailes de papillons bariolées et des écailles de poissons multicolores ...

Jouer à cache-cache derrière des fentes avec des particules subatomiques...

Mais qu'y a-t-il de commun entre ces phénomènes ?

Des ondes lumineuses peuvent se superposer, on dit qu'elles d'interfèrent.

Il est en de même pour des ondes acoustiques ou pour des ondes de matière.

La somme de deux ondes de même fréquence en phase conduit à une onde résultante importante alors que l'addition de ces deux ondes, cette fois en opposition de phase, a pour conséquence une amplitude résultante faible.

Nous comprenons ainsi le fonctionnement des casques à réducteurs de bruits dont le principe est de superposer l'onde sonore indésirable (le bruit continu d'un moteur d'avion, par exemple) avec ce même son traité mathématiquement en temps réel, pour qu'il devienne en opposition de phase.

Nous allons, dans cette vidéo de la collection « La physique animée » consacrée aux interférences sonores, décrire l'expérience des fentes d'Young acoustiques et montrerons que la superposition de deux bruits peut bien conduire à du silence.

1. Expérience :

Nous allons présenter l'équivalent de l'expérience des fentes d'Young avec des ondes acoustiques.

La première expérience que l'on peut réaliser est de placer une source sonore (GBF) et deux haut-parleurs, qui représenteront les deux fentes d'Young.

On sonde l'espace ponctuellement en se bouchant une oreille et on perçoit des variations dans l'intensité sonore.

En choisissant une fréquence de 3kHz, la longueur d'onde est de l'ordre de la dizaine de cm et en se déplaçant légèrement, on perçoit clairement une palette d'intensités avec des zones pour

lesquelles le son est puissant et des zones pour lesquelles il paraît très amoindri. Cette expérience fonctionne particulièrement bien physiologiquement due à la réponse en sensibilité logarithmique de l'oreille.

Maintenant, pour visualiser ces sensations, utilisons un système d'émetteurs-récepteurs ultrason qui permet de travailler plus facilement sur une paillasse.

De la même manière, les deux émetteurs sont alimentés par un GBF à une fréquence proche de 40kHz, et nous sondons l'espace avec un récepteur relié à un oscilloscope.

Dans un premier temps si l'on alimente qu'un seul émetteur, sur le récepteur nous percevons simplement une forte amplitude face à l'émetteur puis le signal s'atténue avec l'éloignement.

Lorsque les deux émetteurs sont alimentés, observons maintenant le signal reçu.

Il y a des zones de l'espace dans lesquelles le signal devient très faible et d'autres pour lesquelles l'intensité est forte.

Plaçons nous sur un minimum d'énergie et débranchons un émetteur.

Lorsqu'on enlève une source, le signal devient plus fort ! Etonnant, non ?!

Mais pourquoi obtient-on soit davantage de bruit soit au contraire du silence ?

Les ondes émises par les deux émetteurs sont sinusoïdales et de même fréquence.

Elles se superposent en un point M quelconque de l'espace en ayant parcouru des distances différentes : elles sont déphasées l'une par rapport à l'autre.

Si le déphasage est égal à π (ou un multiple impaire de π), les deux ondes se retrouvent en opposition de phase.

Ainsi du bruit plus du bruit conduit à du silence.

Par contre si le déphasage est un multiple de 2π , les deux ondes sont en phase. L'intensité sonore augmente.

Nous allons maintenant exprimer le déphasage entre les deux ondes au point M.

On note a la distance entre les haut-parleurs situés en O_1 et O_2 . O est au centre des haut-parleurs et D représente la distance qui sépare le plan des haut-parleurs et M .

On va calculer $\delta = O_2M - O_1M$ la différence de distance parcourue par les deux ondes, encore appelée différence de marche.

Les amplitudes à l'instant t des deux ondes acoustiques peuvent s'écrire, au point M du champ d'interférences :

$$s_1(t) = A \cos(2\pi ft) \quad \text{et} \quad s_2(t) = A \cos(2\pi ft - \phi)$$

Où A est l'amplitude maximale commune des deux ondes et ϕ le déphasage de l'onde provenant du deuxième haut-parleur par rapport à celle provenant du premier.

L'amplitude de la deuxième onde peut encore s'écrire :

$$s_2(t) = A \cos(2\pi f(t - \phi/(2\pi f)))$$

Le terme $\phi/(2\pi f)$ correspond au retard temporel pris par la deuxième onde par rapport à la première, égale, par ailleurs à :

$$\phi/(2\pi f) = \delta/c$$

où c est la vitesse des ondes acoustiques dans l'air, de l'ordre de 340 m/s.

Finalement, avec $\lambda = c/f$ la longueur d'onde, on obtient :

$$\delta = \lambda \phi / (2\pi) \quad \phi = 2\pi \delta / \lambda$$

Par conséquent :

Du bruit plus du bruit égale du silence si $\delta = (p+1/2) \lambda$

Du bruit plus du bruit égale du bruit si $\delta = p \lambda$

Soit x l'abscisse du point M situé dans le champ d'interférences.

La différence de marche vaut $\mathbf{O}_2\mathbf{M} - \mathbf{O}_1\mathbf{M}$ égale $O_2M \cdot \mathbf{u}_2 - O_1M \cdot \mathbf{u}_1$

Où \mathbf{u}_1 et \mathbf{u}_2 sont les vecteurs unitaires des droites O_1M et O_2M .

Si le point M est loin des deux haut-parleurs ($D \gg a$), on peut alors confondre les vecteurs unitaires \mathbf{u}_1 , \mathbf{u}_2 avec le vecteur unitaire \mathbf{u} de la droite OM et écrire :

$$\delta \sim O_2O_1 \cdot \mathbf{u}$$

En notant θ l'angle entre l'axe Oz et la droite OM :

$$\delta \approx a \sin \theta$$

Finalement, en supposant θ faible :

$$\delta \approx a\theta \approx \frac{ax}{D}$$

Et le déphasage vaut :

$$\varphi = 2\pi \frac{ax}{\lambda D}$$

Expérience :

Reprenons l'expérience avec des émetteurs et récepteurs ultrasonores et mettons-la en parallèle avec l'expérience précédemment réalisée sur le phénomène de battements.

Pour obtenir des battements nous utilisons deux sources légèrement décalées en fréquence. En un point de l'espace, on observe que l'intensité du son est modulée.

Maintenant lorsque l'on déplace une source sonore, on observe que dans le cas des battements, le signal garde la même allure, alors que dans l'expérience mettant en évidence le phénomène d'interférences ce n'est plus le cas : le signal est sensible à la phase. Nous avons déjà mis en évidence cette propriété dans la vidéo sur les moirés en superposant deux mires deux points de même pas.
