



# Interférences et diffraction

Nous avons vu dans le chapitre précédent, qu'une onde est associée à un mouvement vibratoire d'une source provoquant ainsi une perturbation dans le milieu dans lequel elle se trouve, avec possibilité de se propager de proche en proche. Dans ce chapitre, nous allons étudier ce qu'il se passe lorsqu'un milieu est le siège de deux ondes de même nature ou lorsqu'une onde rencontre un obstacle.

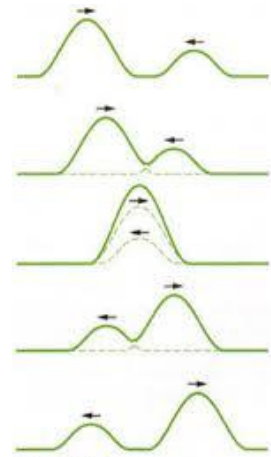
## I. Superpositions de 2 ondes

### 1. Principe de superposition

Étudions la rencontre de 2 ondes quelconques de même nature se propageant en sens inverses.

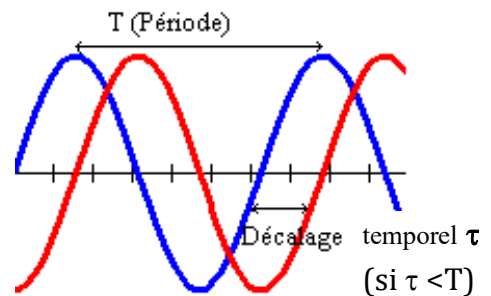
Dans le cas de petites perturbations, **les deux ondes se superposent simplement tout en gardant leur forme initiale**, on peut les additionner.

**Une fois passé le temps de la rencontre, les deux ondes continuent à se propager indépendamment l'une de l'autre.**



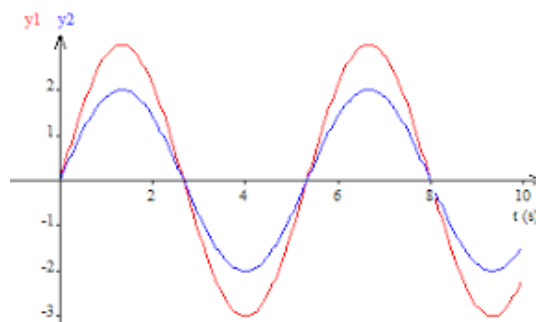
### 2. Etude de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence

Lorsque l'on étudie deux signaux de même fréquence, il est intéressant d'étudier leur décalage. On peut raisonner en terme de temps, on parle alors de décalage temporel ( $\tau$ ) ou en terme de phase, on parle alors de **déphasage** ( $\Delta\phi$ ).

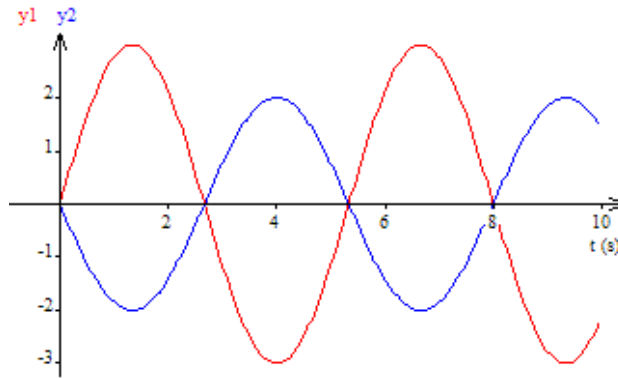


Cas particuliers :

- Si le décalage temporel est égal à un **nombre entier de période** : les signaux sont dits **en phase**.



- Si le décalage temporel est égal à **un nombre impair de demi période**, les signaux sont dits **opposition de phase**.



Soient 2 signaux sinusoïdaux de même fréquence :

$$y_1(t) = Y_{1m} \cos(\omega t + \varphi_1) \text{ et } y_2(t) = Y_{2m} \cos(\omega t + \varphi_2).$$

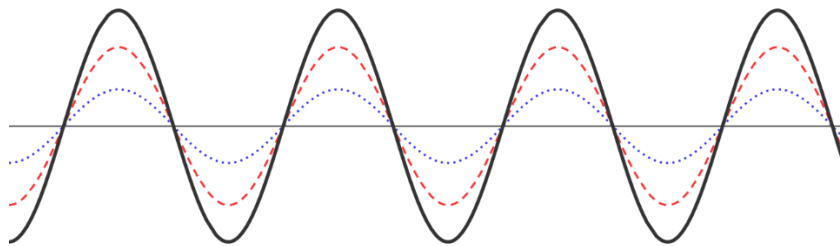
Le déphasage  $\Delta\varphi$  du signal 2 par rapport au signal 1 est  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ .

Si  $\tau$  est le décalage temporel, le déphasage en radians est tel que  $|\Delta\varphi| = \frac{2\pi \tau}{T}$ .

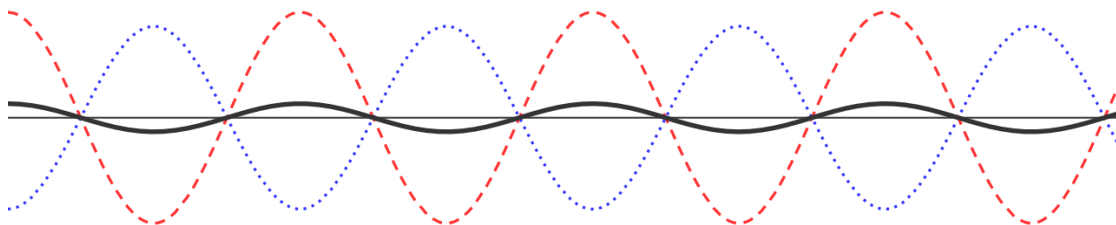
Si le signal 2 est en avance sur 1 :  $\Delta\varphi$  est positif, si le signal 2 est en retard sur 1 :  $\Delta\varphi$  est négatif.



Qu'obtient-t-on si l'on superpose en un point deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et en phase ?



Qu'obtient-t-on si l'on superpose en un point deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et en opposition phase ?



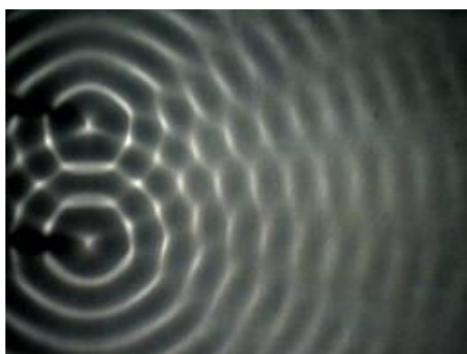
## II. Interférences

### 1. Mise en évidence et description du phénomène

Étudions la superposition de deux ondes de même fréquence.



On peut observer ce phénomène à l'aide du dispositif de la cuve à ondes comme le montre la figure ci-contre :

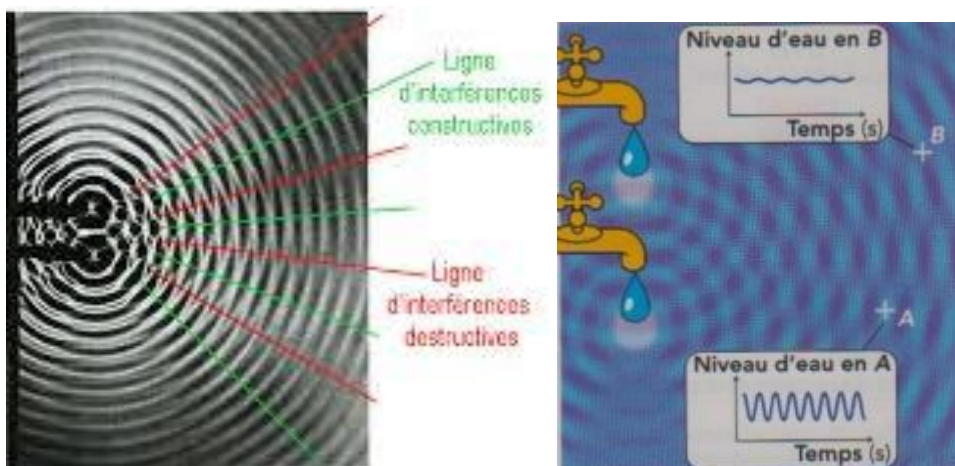


On observe une alternance entre des zones où l'onde semble « détruite » (amplitude des vagues minimale) et des zones où l'onde semble être renforcée (amplitude des vagues maximale).

**On appelle interférences le phénomène observé lors de la superposition de plusieurs ondes de même nature et de même fréquence.**

**L'amplitude de l'onde résultante en un point est différente de la somme des amplitudes individuelles en ce point.**

L'amplitude résultante varie selon le point de l'espace étudié. **Si l'amplitude résultante est maximale, on parle d'interférence constructive, si elle est minimale, on parle d'interférence destructive.**



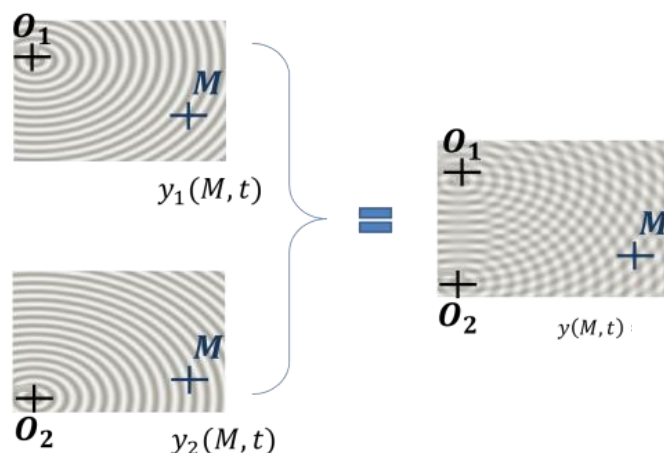
Les zones d'égale intensité sont appelées **franges d'interférences**. La distance séparant deux franges de même nature consécutives est appelée **interfrange**.

[https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/cuve\\_ondes/interference\\_ondes\\_circulaires.php](https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/cuve_ondes/interference_ondes_circulaires.php)

## 2. Étude du phénomène

On étudie le phénomène d'interférence entre 2 ondes circulaires de même fréquence se propageant à la surface de l'eau et émises en 2 points différents  $O_1$  et  $O_2$ .

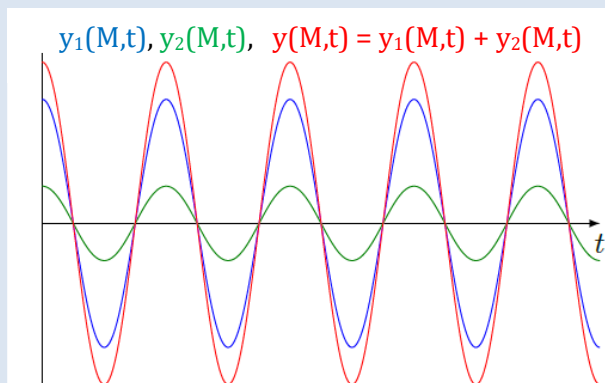
On appelle  $y_1(M,t)$  la vibration reçue par le point M en provenance de  $O_1$ ,  $y_2(M,t)$  la vibration reçue par le point M en provenance de  $O_2$  et  $\Delta\varphi$  leur déphasage en M à l'instant t.



La vibration résultante en M est  $y(M,t) = y_1(M,t) + y_2(M,t)$ , elle dépend du déphasage des 2 vibrations en ce point.

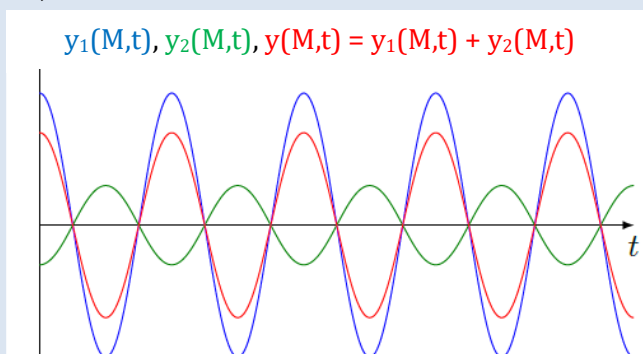
### 2.1 Cas particuliers : interférences constructives et destructives

- **Les ondes se rencontrent en phase en M** : l'amplitude résultante en M est alors maximale, les **interférences sont constructives**

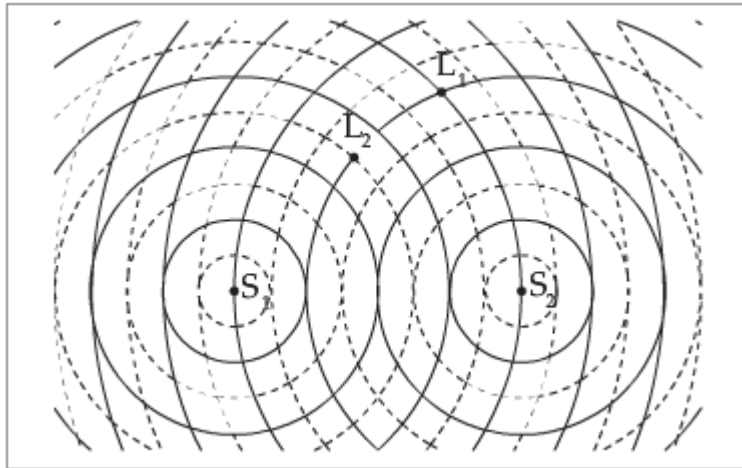


$$\Delta\varphi = 2p\pi, p \in \mathbb{Z}$$

- **Les ondes se rencontrent en opposition de phase en M** : l'amplitude résultante en M est alors minimale, les **interférences sont destructives**



$$\Delta\varphi = (2p+1)\pi, p \in \mathbb{Z}$$

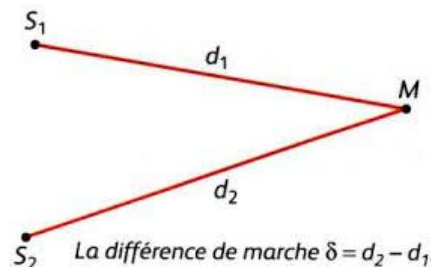


## 2.2 Déphasage et différence de marche

C'est le retard dû à la propagation qui génère un déphasage et explique le phénomène d'interférence. Ce retard est lié à la différence de chemin parcouru, et est à l'origine d'un déphasage que l'on notera  $\Delta\varphi_{\text{propagation}}$ .

**Le déphasage entre 2 ondes en un point M de l'espace et à un instant t dépend donc de la différence de chemin parcouru par chacune des ondes à la date t et jusqu'au point M.**

On appelle **différence de marche en M**,  $\delta(M)$ , la différence entre les distances  $d_1$  et  $d_2$  parcourues par les ondes issues de chaque source jusqu'au point M. Ces distances dépendent du point M.



Soient  $\tau_1$  le temps mis par l'onde 1 pour faire le chemin  $d_1 = S_1M$  et le temps  $\tau_2$  mis par l'onde 2 pour faire le chemin  $d_2 = S_2M$ .

D'après la définition de la célérité  $c$  :  $\tau_1 = \frac{d_1}{c}$  et  $\tau_2 = \frac{d_2}{c}$ .

Le retard de l'onde 2 sur l'onde 1 en un point M est :  $\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{d_2 - d_1}{c} = \frac{\delta(M)}{c}$ .

*Remarque : ainsi défini,  $\tau$  peut être positif ou négatif.*

Le déphasage lié à la propagation est tel que :  $|\Delta\varphi_{\text{propagation}}(M)| = \left| 2\pi \frac{\tau}{T} \right| = \left| 2\pi \frac{\delta(M)}{cT} \right|$

**Le déphasage lié à la propagation en un point M est tel que :  $|\Delta\varphi_{\text{propagation}}(M)| = \left| 2\pi \frac{\delta(M)}{\lambda} \right|$**

S'il existe un déphasage initial  $\Delta\varphi_s$  entre les 2 sources, le déphasage total est alors égal à la somme du déphasage initial et du déphasage lié à la propagation, soit :

$$\Delta\varphi(M) = \Delta\varphi_s + \Delta\varphi_{\text{propagation}}(M)$$

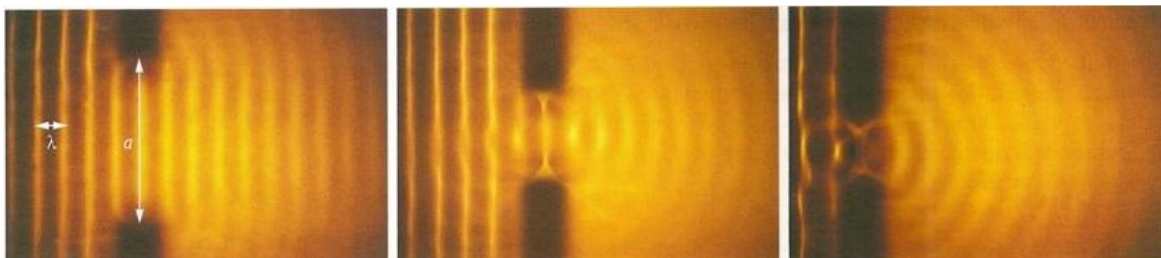


### III. Diffraction

#### 1. Mise en évidence



On peut créer à la surface de l'eau de la cuve à onde une onde plane périodique. On interpose une fente de largeur réglable.



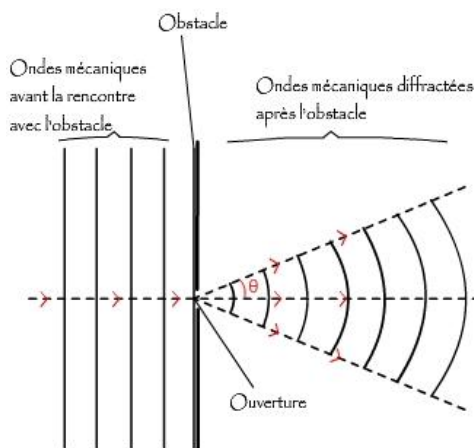
Qu'observez-vous ?

**La diffraction est la modification de la propagation d'une onde lorsque celle-ci rencontre une ouverture ou un obstacle.**

**Ce phénomène ne modifie pas la longueur d'onde et est observable si la longueur d'onde n'est pas négligeable devant la dimension de l'obstacle.**

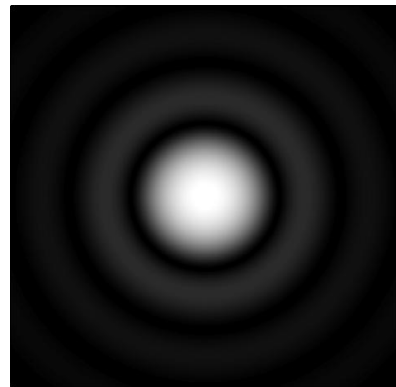
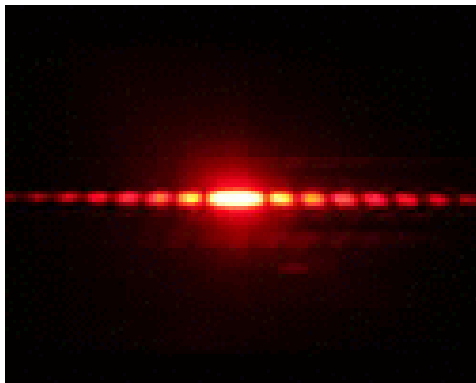
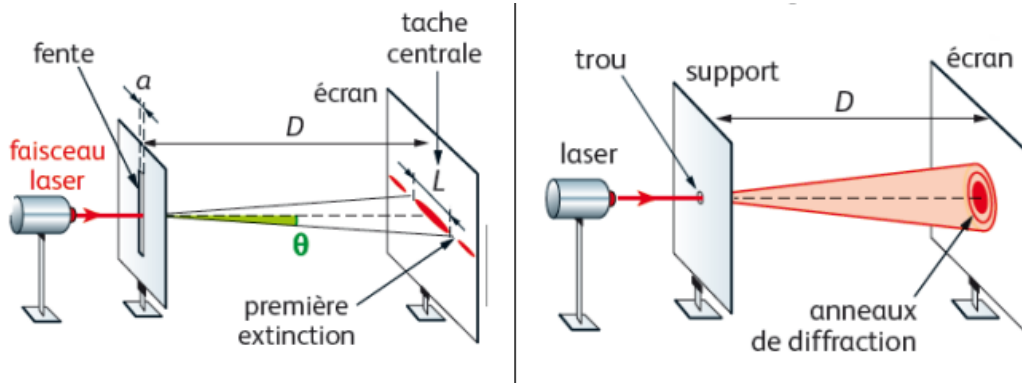
#### 2. Échelle angulaire du phénomène de diffraction

Le phénomène est d'autant plus marqué que l'obstacle est de petite dimension.



**On montre que dans le cas d'une fente de largeur  $a$  l'angle  $\theta$  caractéristique du phénomène de diffraction exprimé en radians est tel que  $\theta \approx \frac{\lambda}{a}$**

Diffraction d'une onde lumineuse (cf. TP4)



Tâche de diffraction d'une fente verticale

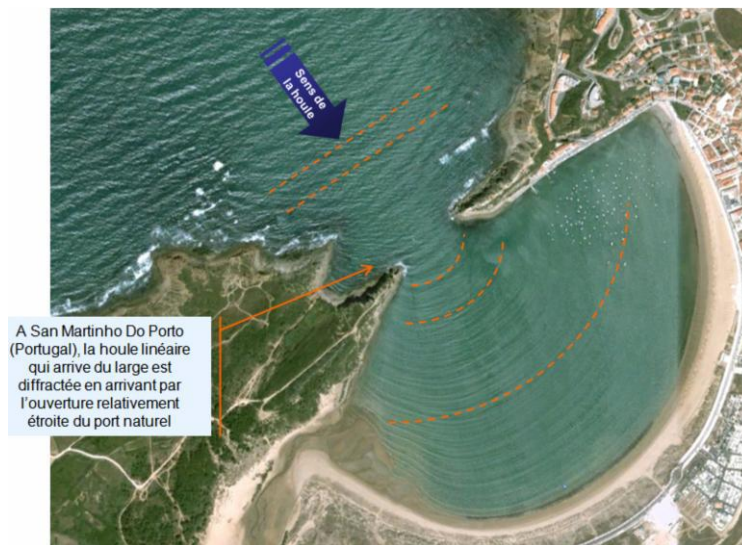
Tâche de diffraction d'une ouverture circulaire

<https://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/pupilles.html>

**En pratique...**

La diffraction se manifeste lorsque :

- La taille de l'obstacle ou de l'ouverture est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde dans le cas des ondes produite à la surface d'une cuve à ondes



- La taille de l'obstacle ou de l'ouverture est moins de 100 fois plus grande que la longueur d'onde dans le cas des ondes électromagnétiques

## Application : Le casque actif antibruit

Un **casque antibruit** est un casque dont le but est de réduire l'intensité du bruit perçu.

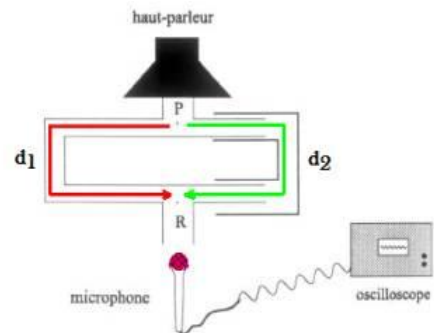
Pour agir « activement » contre les sons de fréquence graves constituant nombre de bruits associés aux travaux avec machines, **Paul Lueg** a proposé (1933) d'ajouter au bruit exactement le même son, mais en opposition de phase.

### Principe

On crée une onde sonore de même fréquence, en opposition de phase et de même amplitude. Si on fait interférer les deux ondes sonores (le bruit de départ et le bruit créé) on obtient du silence ! Pour ce faire, dans le casque actif, on ajoute au bruit entrant un second signal symétrique de ce bruit de telle sorte que la surpression de l'air due au bruit coïncide avec la dépression due au son ajouté et réciproquement !

Imaginons un « trombone », un haut-parleur et un microphone relié à un oscilloscope permettant alors respectivement de produire et recevoir du son.

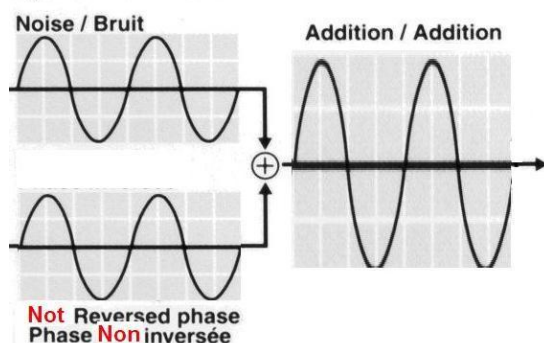
Le son émis par le haut-parleur se divise en deux parties au point P. À partir de ce point, une partie de l'onde sonore se propage vers la gauche et l'autre partie vers la droite. Ces ondes parcourent ainsi deux chemins différents de longueurs  $d_1$  et  $d_2$  puis se rejoignent et interfèrent au point R, où se trouve le microphone relié à l'oscilloscope. On peut modifier la distance  $d_2$  grâce à la partie mobile du tube de droite coulissant comme la coulisse d'un trombone.



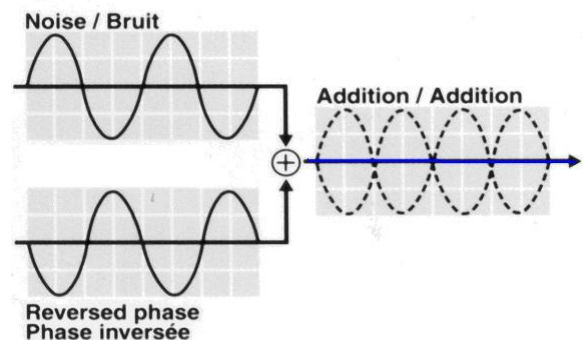
Si la différence de chemin parcouru est nulle, ou égale à un multiple entier de longueur d'onde,  $|d_2 - d_1| = p\lambda$ , les deux ondes arrivent en phase au niveau du récepteur et produisent une **interférence constructive** : le microphone perçoit un maximum d'intensité sonore.

Par contre, si on déplace la partie amovible du tube de sorte que la différence parcourue équivaut à un multiple impair de demi-longueur d'onde,  $|d_2 - d_1| = (2p+1)\lambda/2$ , les deux ondes arrivant au niveau du récepteur sont en opposition de phase et donnent lieu à une **interférence destructive** :

Noise canceling function  
Système anti-bruit



Noise canceling function  
Système anti-bruit



le microphone ne détecte dès lors aucun son.

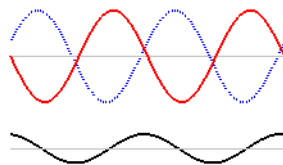
### Réalisation

La société TechnoFirst® a développé la gamme de casques NoiseMaster® équipés de la technologie ANR® (Active Noise Reduction). Cette technologie repose sur un système électronique miniaturisé (2) placé à l'intérieur de la coquille du casque. Ce système est connecté d'une part à un petit microphone (1) qui capte le bruit ambiant et d'autre part à un petit haut-parleur (3) qui génère le « contre bruit » à proximité de l'oreille de façon à atténuer considérablement le bruit qui arrive au tympan.

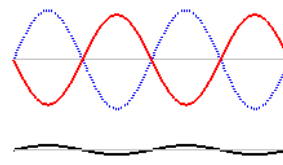


Si notre oreille reçoit la musique, le bruit parasite et le signal correcteur, elle ne perçoit finalement que la musique... en théorie. En effet, des limitations telles que le temps de calcul nécessaire pour créer l'onde antibruit et sa transduction nous limitent en pratique. Il en résulte que les appareils actuellement disponibles peuvent réduire considérablement le bruit ambiant mais non le supprimer parfaitement.

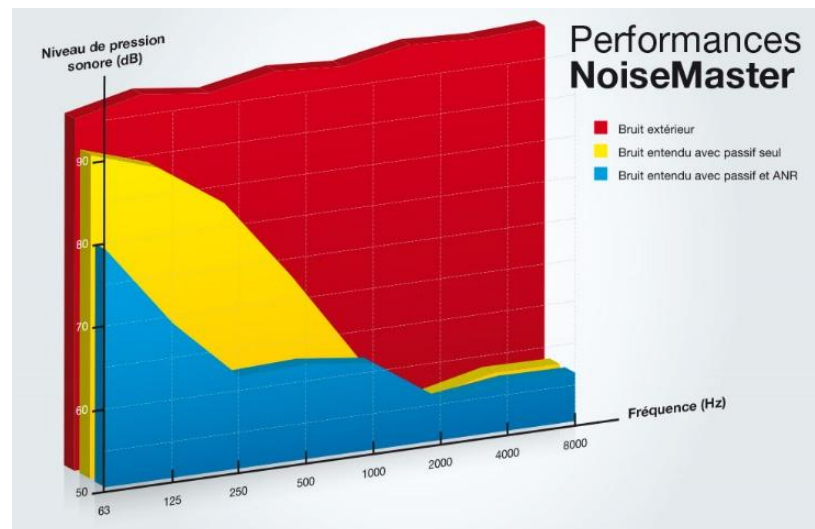
#### Décalage de 10% sur la phase



#### Erreur de 10% sur l'amplitude



En raison de ces limitations, les systèmes anti-bruits sont surtout efficaces dans les basses fréquences. On peut ainsi obtenir une atténuation de 30 à 45 dB selon le bruit ambiant.



#### Sources :

<http://auriol.free.fr/psychosonique/ClefDesSons/casque-anti-bruit.htm>  
<http://www.technofirst.com/fr/noisemaster/>