

Chapitre 12

Phénomènes ondulatoires

À cours des programmes de première et de seconde, plusieurs notions relatives aux ondes sont introduites. On définit ainsi les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques (le son et la lumière...). Dans ce chapitre, certaines caractéristiques et propriétés particulières des ondes vont être étudiées :

- Niveau d'intensité sonore et atténuation ([Vidéo Niveau Atténuation Sonore](#))
- Diffraction ([Vidéo Diffraction](#))
- Interférences ([Vidéo Interférences](#))
- Effet Doppler ([Vidéo Doppler](#))

12.1 Niveau sonore et atténuation acoustique

12.1.1 Intensité et niveau sonore

Pour définir à quel point un son est « fort », on utilise deux grandeurs en physique : l'intensité sonore I en W.m^{-2} et le niveau sonore L en décibels (dB).

L'intensité sonore représente la puissance surfacique reçue en un point de l'espace. Le niveau sonore est une définition de l'intensité sonore replacée dans une échelle arbitraire plus pratique à l'usage. Elle se base sur une intensité de référence $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ qui correspond au seuil d'audibilité de l'oreille humaine, c'est-à-dire le son le moins fort que peut détecter l'oreille.

Intensité et niveau sonore

l'intensité sonore I en W.m^{-2} et le niveau sonore L en décibels (dB) sont reliés de la manière suivante :

$$L = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \Leftrightarrow \quad I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

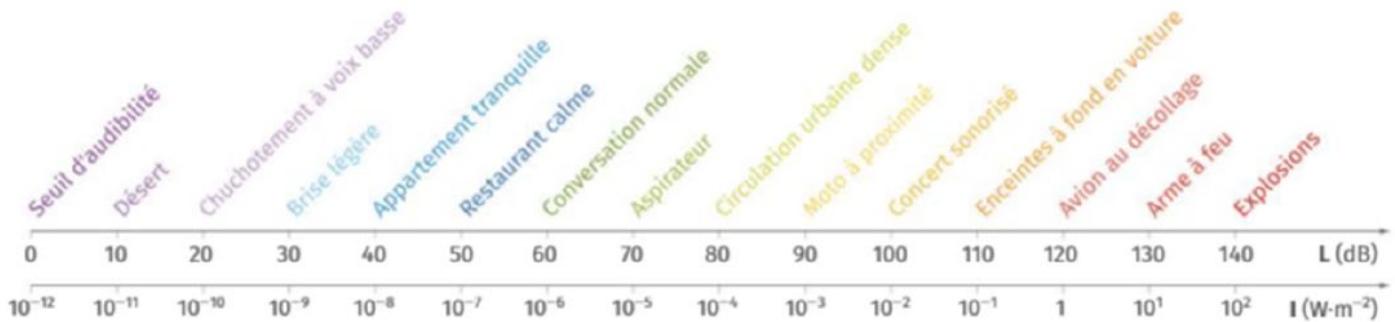


Figure 12.1 – Échelle d'intensité et de niveau sonore ([Source](#)).

12.1.2 Atténuation sonore

Lorsqu'un son se propage dans un milieu depuis sa source, l'intensité sonore (et donc le niveau sonore) diminue avec la distance. Ceci est dû au fait que l'énergie portée par l'onde sonore se répartisse sur une surface de plus en plus grande au fur et à mesure de la propagation. Pour évaluer cette diminution de niveau sonore, on définit l'atténuation, qui correspond à la différence de niveau sonore entre deux points de l'espace.

Atténuation

L'atténuation A (en dB) correspond à la différence entre deux niveaux sonores L et L' mesurés en deux endroits différents :

$$A = L' - L = 10 \times \log \left(\frac{I'}{I} \right)$$

12.2 Diffraction

12.2.1 Définition

Diffraction

Lorsqu'une onde de longueur d'onde λ (en m) rencontre un obstacle dont la taille caractéristique a (en m) est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde ou inférieure, sa direction de propagation est modifiée. L'écart angulaire engendré est noté θ . Ce phénomène est observable à la fois pour les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques.

Remarque : Dans le cas des ondes électromagnétiques, le phénomène est observable dans les conditions décrites ci-dessus, et même pour des obstacles dont la taille a est jusqu'à 100 fois plus grande que la longueur d'onde.

Remarque 2 : Lors d'une diffraction, l'onde ne change pas de milieu donc sa longueur d'onde, sa fréquence et sa vitesse ne sont pas modifiées.



Figure 12.2 – A gauche : diffraction d'une lumière laser par un trou circulaire ([Source](#)) - A droite : diffraction d'une onde mécanique (vague)([Source](#)).

12.2.2 Écart angulaire de diffraction

Écart angulaire de diffraction

Lors de la diffraction d'une onde de longueur d'onde λ (en m), par un obstacle de taille caractéristique a (en m), l'écart angulaire induit θ (en radians) vérifie la relation suivante :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

12.2.3 Diffraction par une fente rectangulaire

On s'intéresse ici au cas particulier de la diffraction d'une source lumineuse monochromatique (laser) par une fente de largeur a , supposée infiniment longue dans sa longueur. La figure 12.3 représente le montage expérimental nécessaire pour observer ce phénomène :

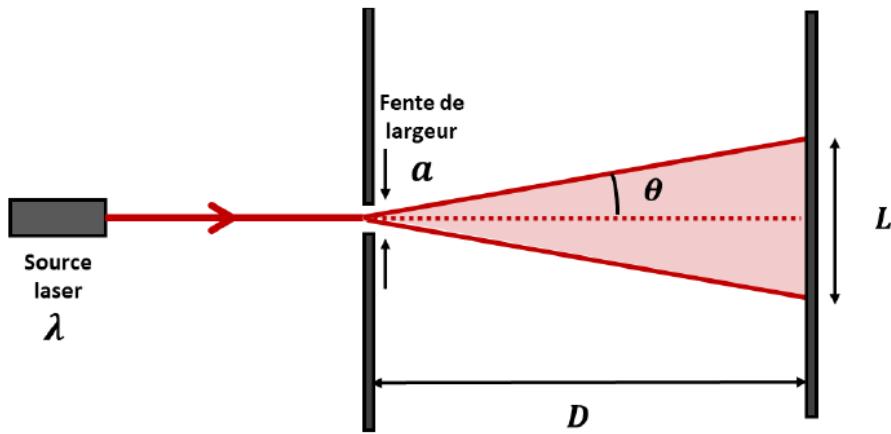


Figure 12.3 – Montage expérimental permettant d'illustrer la diffraction d'un laser par une fente de largeur a .

D'après la figure précédente, on a :

$$\tan \theta = \frac{\frac{L}{2}}{D} = \frac{L}{2D}$$

Le schéma n'est pas à l'échelle et il faut considérer que l'angle de diffraction θ est petit. Or, lorsqu'un angle est petit, on peut faire l'approximation suivante : $\tan \theta \approx \theta$. D'où, en considérant la relation entre l'écart angulaire et la longueur d'onde :

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a}$$

12.3 Interférences

12.3.1 Définition et conditions d'existence

Interférences

Lorsque deux ondes synchrones (même fréquence), avec un déphasage constant (cohérentes), se superposent, on observe un phénomène dit d'interférence. L'intensité résultant de cette superposition n'est pas constante : on observe des zones d'amplitudes minimales et d'autres maximales, alternant de manière périodique.

12.3.2 Différence de marche

Différence de marche

Soient deux sources S_1 et S_2 synchrones et cohérentes, interférant en un point M de l'espace. L'onde issue de S_1 met un temps t_1 pour arriver en M , avec une vitesse c (en m.s^{-1}), et celle issue de S_2 un temps t_2 . Le décalage temporel en M entre l'onde issue de S_1 et celle issue de S_2 est :

$$\delta t = |t_2 - t_1|$$

On appelle **différence de marche** δ la distance parcourue par l'onde pendant la durée δt , c'est-à-dire la différence de distance parcourue par les deux ondes (voir figure 12.4) :

$$\delta = |S_2M - S_1M| = c \times \delta t$$

12.3.3 Interférences constructives et destructives

Interférences constructives et destructives

Lorsque les deux ondes se superposent **en phase** en un point M_1 , l'intensité résultante est **maximale**, et on parle alors d'**interférences constructives**. Les ondes sont décalées d'une distance multiple de la longueur d'onde, leur différence de marche est alors égale à :

$$\delta = n \times \lambda$$

n étant un entier naturel.

Lorsque les deux ondes se superposent **en opposition de phase** en un point M_2 , l'intensité résultante est **minimale**, et on parle alors d'**interférences destructives**. Les ondes sont décalées d'une distance multiple de la demi longueur d'onde, leur différence de marche est alors égale à :

$$\delta = (n + \frac{1}{2}) \times \lambda$$

n étant un entier naturel.

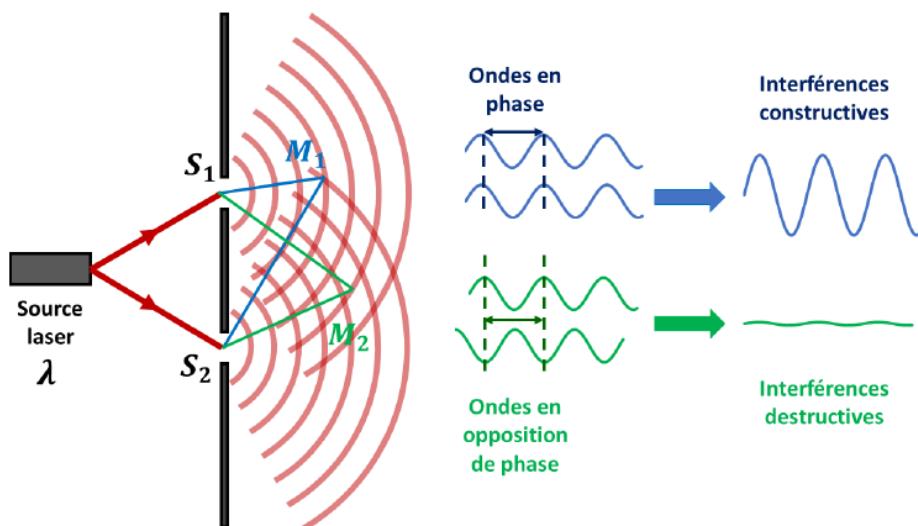


Figure 12.4 – Interférences constructives et destructives dans le cas d'une superposition de deux ondes.

12.3.4 Interférences des trous de Young

Ici on considère comme sources synchrones et cohérentes deux trous diffractant la lumière provenant d'une source en amont, comme le montre le schéma de la figure ???. Les trous sont espacé d'une distance b très petite devant la distance D à laquelle est située l'écran.

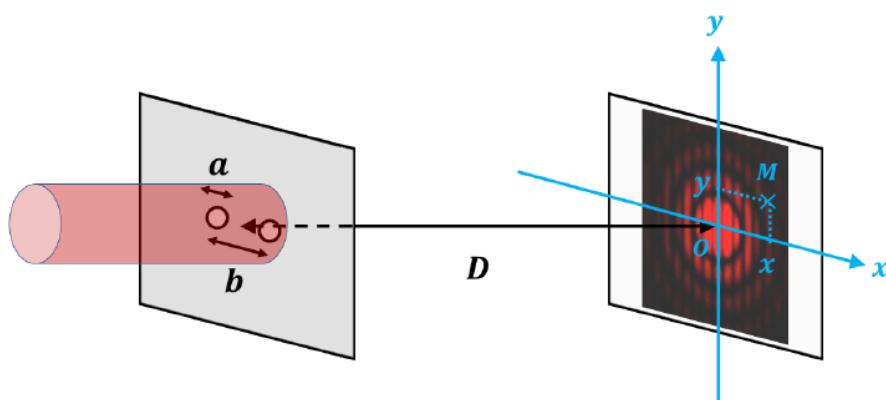


Figure 12.5 – Schéma et figure d'interférence dans le cas des trous d'Young.

Différence de marche et interfrange

Pour les trous d'Young, la différence de marche δ entre les deux ondes issues des deux trous, au niveau du point M , s'exprime en fonction de la distance b séparant les deux trous, l'abscisse x du point M et la distance D entre les trous et l'écran :

$$\delta = \frac{bx}{D}$$

On appelle **interfrange**, notée i (en m), l'écart périodique entre deux franges sombres (ou deux franges brillantes) de la figure d'interférences, qui dépend de l'écart b entre les trous, la distance D à l'écran et la longueur d'onde λ de la radiation :

$$i = \frac{\lambda D}{b}$$

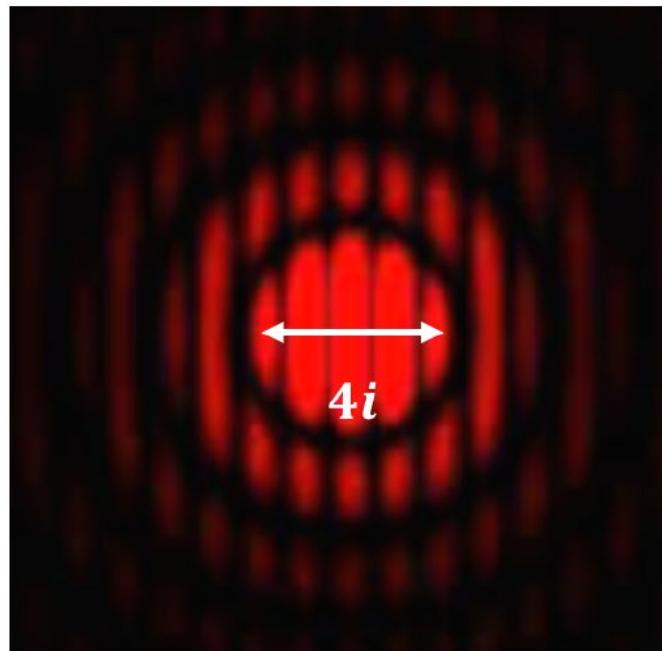
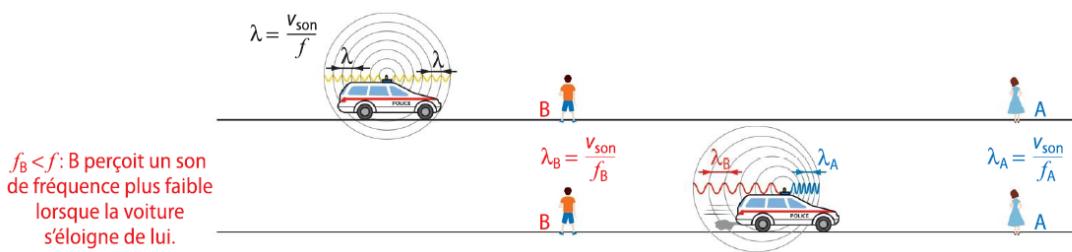


Figure 12.6 – Mesure graphique de l'interfrange dans le cas des trous d'Young.

12.4 Effet Doppler

1 Mise en évidence et description du phénomène

Lorsqu'une voiture munie d'une sirène s'approche de nous, nous percevons le son qu'elle émet plus aigu (fréquence plus grande) et lorsqu'elle s'éloigne, nous percevons le son qu'elle émet plus grave (fréquence plus faible) ; c'est un exemple de manifestation de l'**effet Doppler**.



Le conducteur C de la voiture perçoit toujours le son de la sirène à la même fréquence ; il n'y a pas de manifestation de l'effet Doppler pour lui.

Le véhicule est immobile, le conducteur, A et B perçoivent des sons de même fréquence

f_A > f: A perçoit un son de fréquence plus grande lorsque la voiture s'approche d'elle.

L'effet Doppler concerne **tous les types d'ondes**, autant les ondes mécaniques que les ondes électromagnétiques. Si la distance parcourue par des ondes entre un émetteur et un récepteur varie, la fréquence f_R (ou la longueur d'onde λ_R) des ondes perçues par le récepteur sera différente de la fréquence f (ou de la longueur d'onde λ) des ondes émises par l'émetteur.

14 L'effet doppler

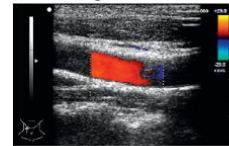
La longueur d'onde des vaguelettes générées par le canard en mouvement est plus petite devant lui que derrière



Un radar autoroutier utilise l'effet Doppler pour déterminer la vitesse des automobilistes.



L'effet Doppler est utilisé dans le domaine médical pour diagnostiquer des problèmes de circulation sanguine



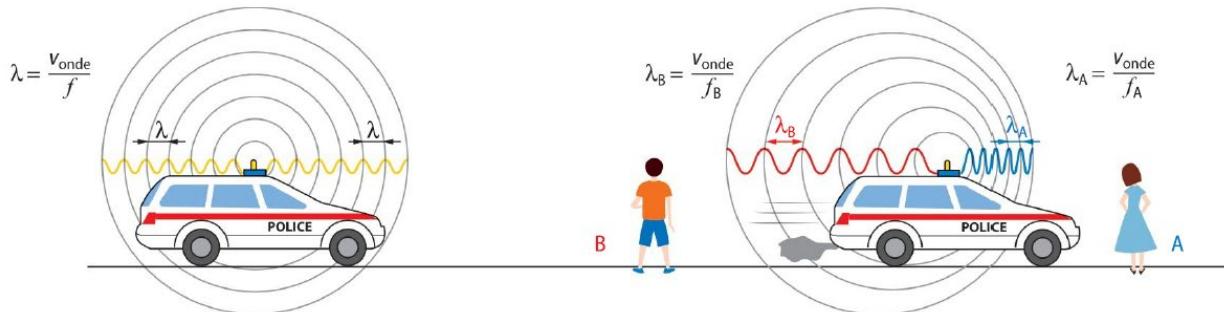
2 Expression du décalage Doppler

Cas où un émetteur E est en mouvement à la vitesse v constante dans la direction d'un récepteur R fixe. Cet émetteur émet des ondes de fréquence f qui se propagent à la vitesse v_{onde} .

Approche	Éloignement
$f_R = f \times \frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v} > f$	$f_R = f \times \frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} + v} < f$

L'exploitation de ces relations **permet de connaître la vitesse v d'approche ou d'éloignement**.

Plus la fréquence f_R des ondes reçues s'écarte de la fréquence f des ondes émises, plus la vitesse d'approche ou d'éloignement entre l'émetteur et le récepteur est importante (**doc. 14**).



	Fréquence	Longueur d'onde	Influence de la vitesse v de l'émetteur
Cas de l'approche :	$f_A > f$	$\lambda_A < \lambda$	L'effet Doppler est d'autant plus marqué que la vitesse de l'émetteur est importante
Cas de l'éloignement :	$f_B < f$	$\lambda_B > \lambda$	