

Les ondes progressives périodiques

I. Notion d'ondes progressives périodiques

⚠ Définitions :

- Un **phénomène** est **périodique** dans le temps s'il se répète, identique à lui-même, régulièrement au cours du temps.
- La **période temporelle** ou **période T** d'un phénomène périodique est la plus petite durée au bout de laquelle le phénomène se reproduit identique à lui-même.
- La fréquence du phénomène périodique est $f = \frac{1}{T}$
(la fréquence est le nombre de fois que le phénomène périodique se reproduit, identique à lui-même, pendant une seconde).
- Une onde progressive est périodique si, en un point quelconque du milieu de propagation, l'onde est périodique au cours du temps.

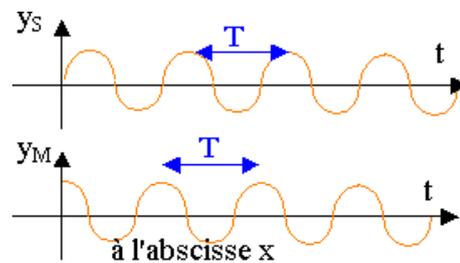
Exemples :

- onde progressive le long d'une corde si on agite une extrémité de la corde tendue de façon périodique.
- onde progressive périodique à la surface de l'eau.
- onde sonore sinusoïdale émise par un diapason.

II. Double périodicité des ondes progressives périodiques

1. Périodicité temporelle

En chaque point du milieu de propagation, l'onde progressive périodique a la même période temporelle T que la source.

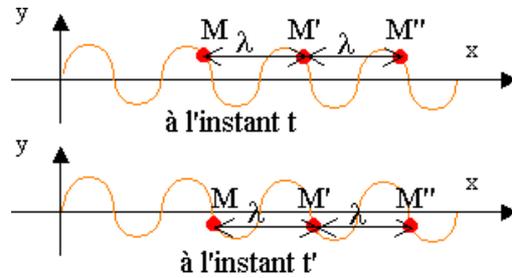


2. Périodicité spatiale

Grâce à un **stroboscope**, on peut "figer" l'aspect de la corde ou de la surface de l'eau de la cuve à onde. On constate que l'onde se répète à des intervalles de distance égaux.

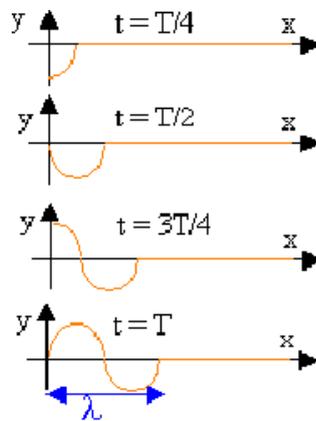


La période spatiale ou la longueur d'onde λ d'une onde progressive périodique est la plus courte distance de répétition de cette onde.



À chaque instant, des points du milieu matériel atteints par l'onde, séparés par un nombre entier de longueur d'onde, ont le même état vibratoire.

Aspect de la corde à différents instants :



3. Relation entre la période temporelle T et la période spatiale λ

△ Définition :

La période spatiale ou longueur d'onde λ d'une onde progressive périodique est la distance parcourue par cette onde pendant une période temporelle T .

Si v est la vitesse de propagation de l'onde, alors $v = \frac{\lambda}{T} \Leftrightarrow \lambda = v \cdot T$.

Remarques :

- la fréquence f et donc la période $T = \frac{1}{f}$ est **caractéristique de l'onde**.

- la célérité v de l'onde **dépend du milieu de propagation**. Donc la longueur d'onde λ **N'EST PAS caractéristique de l'onde**.

△ Rappel :

$\lambda = v \cdot T$ et $T = \frac{1}{f}$ donc $\lambda = \frac{v}{f}$

III. Ondes progressives sinusoïdales

1. Définition



Une onde progressive est sinusoïdale si, en tout point M du milieu de propagation, l'onde est une fonction sinusoïdale du temps

Exemple : une onde sonore émise par un diapason.

2. Période et fréquence de l'onde sinusoïdale

Une onde progressive sinusoïdale est périodique. Sa période est T. Sa fréquence f est le nombre de périodes contenues en une seconde.



$$f = \frac{1}{T} \iff T = \frac{1}{f}$$

3. Longueur d'onde

À une date t donnée, les points du milieu de propagation séparés par un nombre entier de longueur d'onde λ sont dans le même état (en phase).

Exemple : surface de l'eau.

L'onde avance de λ pendant une durée T.

IV. Diffraction

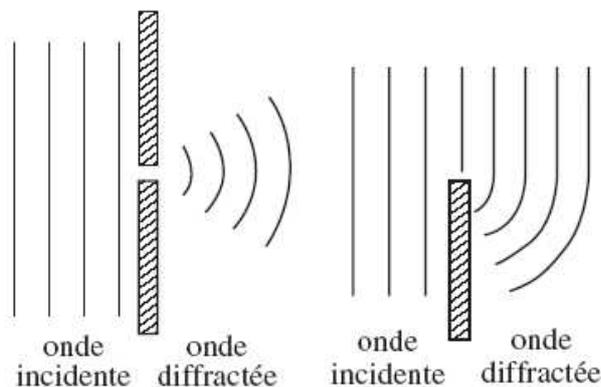
1. Définition



La diffraction est le phénomène qui se produit quand on fait passer une onde progressive sinusoïdale par une ouverture dont la largeur est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de cette onde.

Alors l'ouverture se comporte comme une source ponctuelle qui émet une onde de même fréquence que l'onde incidente dans toutes les directions qui lui sont offertes.

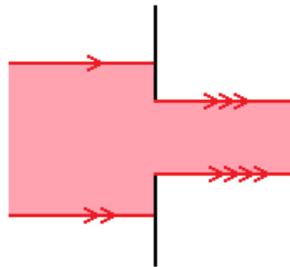
2. Expérience sur la cuve à ondes - Diffraction par le bord d'un obstacle



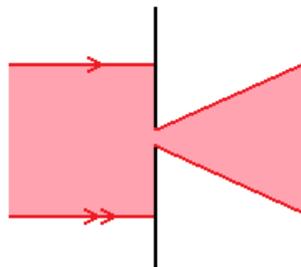
Modèle ondulatoire de la lumière

I. Diffraction par la lumière

1. Expérience



- L'ouverture est large :



- L'ouverture est étroite :

2. Conclusion

La lumière subit la diffraction quand elle rencontre une ouverture ou un obstacle de petite dimension. La diffraction est caractéristique des ondes. Donc **la lumière est une onde qui se propage.**

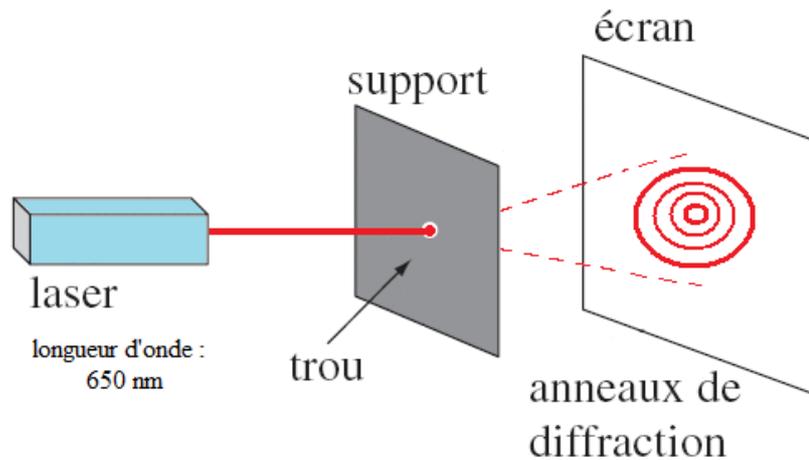
II. Propriétés des ondes lumineuses



- Une onde lumineuse est une **onde électromagnétique**.
- Contrairement aux ondes mécaniques, une onde lumineuse **peut se propager dans le vide** (**Exemple** : la lumière du Soleil et des étoiles qui se propage dans le vide avant d'entrer dans l'atmosphère terrestre).
- La célérité de la lumière dans le vide est $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.
- Une radiation lumineuse est une onde lumineuse périodique caractérisée par sa fréquence f (en Hz) ou sa période $T = \frac{1}{f}$.
- Dans le vide, la longueur d'onde d'une radiation lumineuse est $\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$.
- L'oeil humain n'est sensible qu'aux ondes lumineuses dont les longueurs d'onde dans le vide sont comprises entre 400 nm et 800 nm.
- Une lumière monochromatique ne contient qu'une **seule radiation de fréquence bien définie** (la lumière du laser est quasi monochromatique).
- La lumière **blanche** est une **lumière polychromatique** : elle est constituée d'un grand nombre de radiations de fréquences différentes, celles de l'arc-en-ciel.

III. Étude de la diffraction

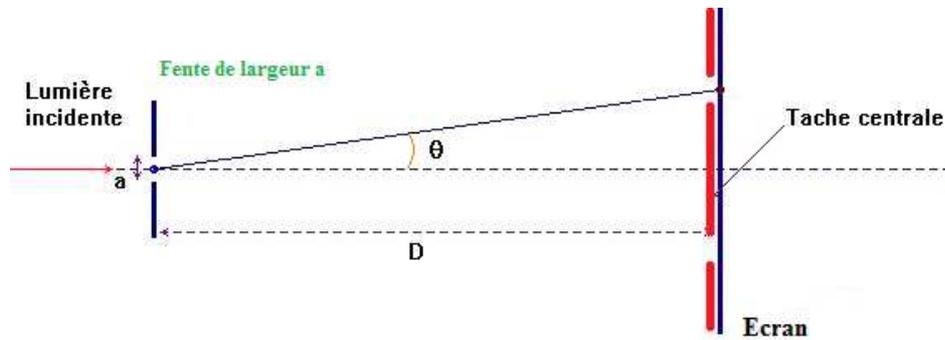
1. Diffraction par un trou



Le diamètre de la tache augmente si :

- on diminue le diamètre du trou
- on augmente la distance D entre le trou et l'écran.

2. Diffraction par une fente



Si la fente est horizontale, la figure de diffraction est verticale.
 Si la fente est verticale, la figure de diffraction est horizontale.
 C'est la largeur de la fente qui produit la diffraction.



La largeur l de la tache centrale augmente quand :

- la largeur a de la fente diminue
- la distance D entre la fente et l'écran augmente.

⚠ Définition :

L'écart angulaire θ_C est l'angle sous lequel est vue la moitié de la tache centrale depuis l'objet diffractant.

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

si

θ_C est l'écart angulaire (en rad)

λ la longueur d'onde de la radiation lumineuse qui éclaire l'objet diffractant (en m)

a est la largeur de l'objet diffractant (en m).

Géométriquement, la largeur l de la tache centrale dépend de l'écart angulaire θ_C et de la distance D entre l'objet diffractant et l'écran.

θ_C est un petit angle, on a donc $\tan \theta_C \approx \theta_C$ en rad.

$$\tan \theta_C = \frac{1/2.l}{D} = \frac{l}{2D} \text{ donc } \theta_C = \frac{l}{2D}$$

$$\Rightarrow l = 2D.\theta_C \text{ mais } \theta_C = \frac{\lambda}{a}.$$

Finalement,



$$l = \frac{2D\lambda}{a}$$

IV. Propagation de la lumière dans les milieux transparents

1. Indice d'un milieu transparent

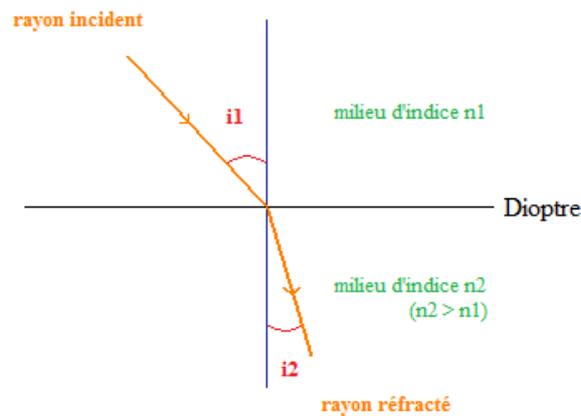
Définition :

Si v est la célérité d'une radiation monochromatique dans un milieu transparent, l'indice de réfraction ou l'indice de ce milieu pour la radiation considérée est $n = \frac{c}{v}$
où c est la célérité de la lumière dans le vide.

Exemples :

- $n_{\text{eau}} = 1,33$
- $n_{\text{verre}} = 1,50$
- $n_{\text{air}} \approx 1,00$

2. Lois de Descartes pour la réfraction



1^{ère} loi :

Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.

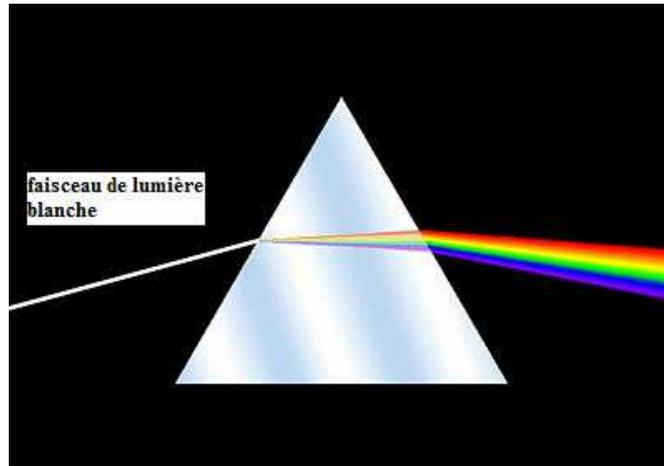
2^{ème} loi :

L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 vérifient la relation

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

où n_1 et n_2 sont les indices des milieux 1 et 2.

3. Dispersion de la lumière blanche par un prisme

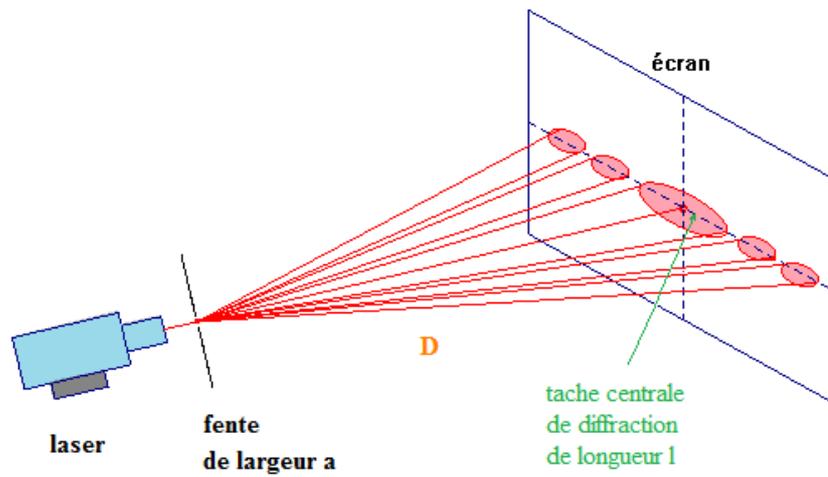


L'indice de réfraction d'un milieu transparent comme le verre dépend de la fréquence de la lumière qui s'y propage.

Exemples : dans le verre

- $n_{\text{rouge}} = 1,510$
- $n_{\text{orange}} = 1,515$
- $n_{\text{violet}} = 1,520$

Remarque : le violet est plus dévié que le rouge.



3. Conclusion

- il y a diffraction quand une ouverture d'un obstacle se comporte comme une source d'onde progressive sinusoïdale.
- ce phénomène est d'autant plus important que la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle est plus petite.

V. Dispersion

1. Notion de milieu dispersif

**Définition :**

Un milieu est dispersif si la célérité d'une onde progressive sinusoïdale dépend de sa fréquence.

Exemple : à la surface de l'eau, derrière un bateau en mouvement, une onde comportant plusieurs composantes sinusoïdales se déforme au cours de la propagation dans le milieu dispersif : on voit des vagues espacées (grandes longueurs d'onde), puis des vagues moins espacées (plus petites longueurs d'onde).

2. Milieu non dispersif

**Définition :**

Un milieu est non dispersif si la célérité d'une onde progressive sinusoïdale ne dépend pas de sa fréquence.

Exemple : à une pression et une température données, la célérité des ondes sonores dans l'air est constante quelles que soient leurs fréquences.

Ainsi, quand on écoute un concert, les sons de haute fréquence et de basse fréquence arrivent à l'oreille.