

LES ONDES MÉCANIQUES PROGRESSIVES

1– Notion d'une onde mécanique progressive

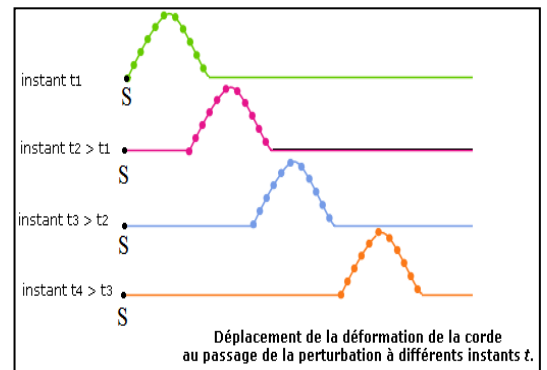
1.1– Définitions :

☛ Une **perturbation** est une modification locale et temporaire des propriétés mécaniques (vitesse, position, énergie) d'un milieu matériel.

☛ Une **onde mécanique progressive** est le **phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel élastique, sans transport de matière.**

1.2 – Propagation d'une onde

Lors de la propagation d'une onde dans un milieu élastique, seuls les points du milieu **atteints par la perturbation** sont en **mouvement**. En l'absence de perturbation, ils sont **immobiles**. Après le passage d'une perturbation, le milieu se retrouve exactement dans l'état où il était auparavant.



Remarque

- La source de l'onde mécanique est le point où la perturbation est créée.
- Le front de l'onde est l'ensemble des points du milieu de propagation atteints par l'onde à un instant donné.
- L'**ordonnée** du point M est appelée "**Elongation** du point M".
- La valeur absolue de l'élongation **extrémale** est appelée "**Amplitude** de l'onde".

1.3– Types d'ondes :

En comparant la direction de perturbation et la direction de propagation on distingue deux types d'ondes :

Onde progressive transversale

Une onde **transversale** provoque une **perturbation** dans une direction **perpendiculaire** à celle de **propagation** de l'onde.

Onde progressive longitudinale

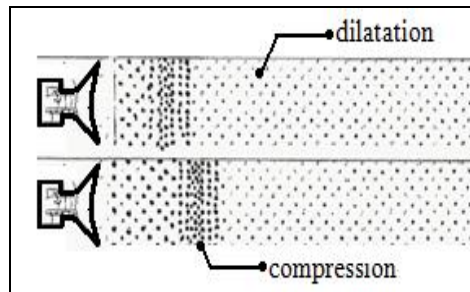
Une onde **longitudinale** provoque une **perturbation** dans une direction **parallèle** à celle de la **propagation** de l'onde.

1.4– Onde sonore :

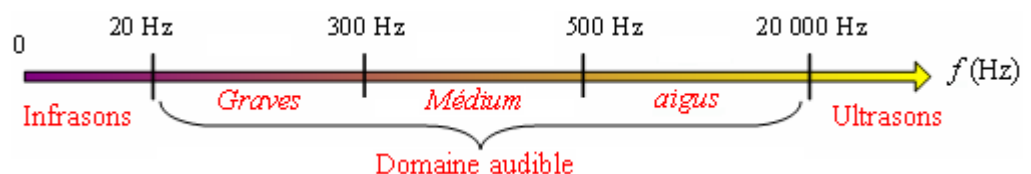
Le son est une onde ...**mécanique longitudinale**... qui se propageant dans tous les milieux matériels **élastique** (solide, liquide et gaz)

Remarque :

- Le son ne peut pas se propager dans le ..**vide**..
- La perturbation associée aux ondes sonores est une **compression-dilatation** locale du milieu.



- Les sons audibles par l'oreille humaine ont des fréquences comprises entre **20 Hz** et **20 000 Hz**.



2– Propriétés d'une onde mécanique progressive

2.1– Direction de propagation d'une onde :

Une onde se propage à partir de la source et dans toutes les directions possibles offertes par le milieu.

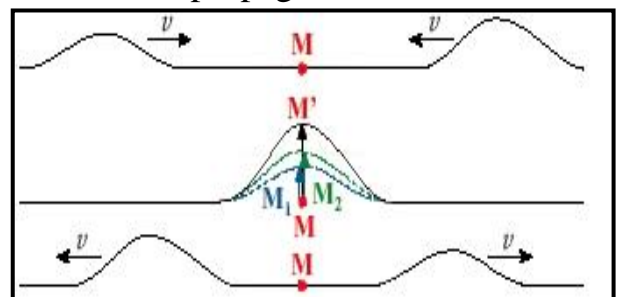
Remarque

- La dimension d'un milieu de propagation est le nombre minimal de ...**coordonnées**... nécessaires pour repérer la position d'un point de ce milieu.
- Le front d'onde est un point dans le cas d'un milieu à une dimension, c'est une ligne dans le cas d'un milieu à deux dimensions et c'est une surface dans le cas d'un milieu à trois dimensions.

2.2– Superposition de deux ondes en un point du milieu

Lorsque deux ondes se croisent lors de leur propagation dans le même milieu :

- L'élongation du point de croisement est la**somme**.... des élongations des points présents au même endroit.
- Les deux ondes se séparent après croisement et continuent à se propager **sans se réfléchir** et**sans avoir été affectées**..... par leur rencontre.



3– Célérité d'une onde-retard

3.1– Vitesse de propagation d'une onde :

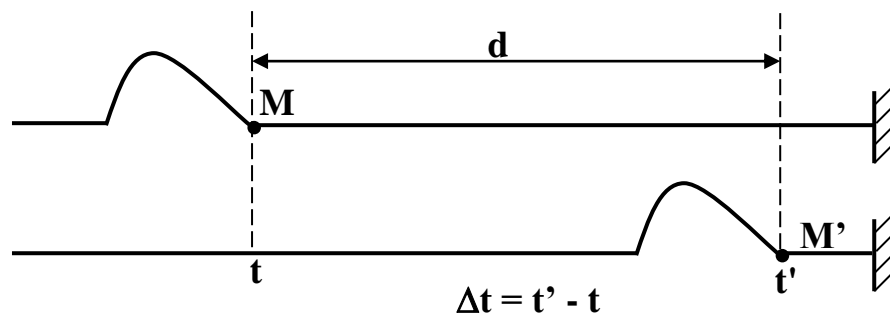
La **vitesse de propagation** est appelée **..célérité..** (car la propagation de l'onde s'effectue sans transport de matière).

La célérité d'une onde progressive est égale au quotient de la **..distance..** séparant deux points du milieu par la **..durée..** qui sépare les dates de passage de l'onde en ces deux points.

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

V : célérité en m.s^{-1} ; d : distance en m ; t : en s.

☛ Une onde mécanique se propage à vitesse constante dans un milieu homogène.



3.2– Facteurs influençant la célérité

La célérité d'une onde ne dépend que du milieu et jamais de l'amplitude de l'onde.

La célérité de l'onde le long d'une corde dépend :

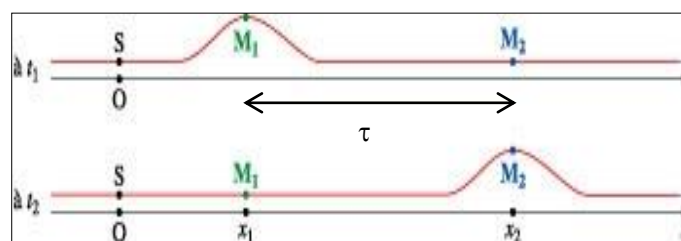
- La tension: lorsque la tension de la corde augmente, la vitesse de propagation ou la célérité **..augmente..**
- La masse linéique $\mu = m/L$: lorsque la masse de la corde est faible (la masse linéique diminue), la vitesse **..diminue..**
- La célérité de l'onde dépend de la tension F de la corde et de la masse linéique (masse par unité de longueur $\mu = m/L$) de la corde :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} .$$

La célérité du son dépend du milieu de propagation. Elle est **....plus...** importante dans les solides et les liquides que dans les gaz comme l'air.

3.3– Retard lors de la propagation d'une onde

Soit M_1 et M_2 deux points distincts du milieu de propagation. La perturbation passe d'abord en M_1 à l'instant t_1 puis en M_2 à l'instant t_2 . La durée de propagation de la perturbation entre M_1 et M_2 est le **retard** notée $\tau = t_2 - t_1 = \frac{M_1 M_2}{v}$; $M_1 M_2$ distance entre les deux points du milieu de propagation et v la célérité de l'onde.



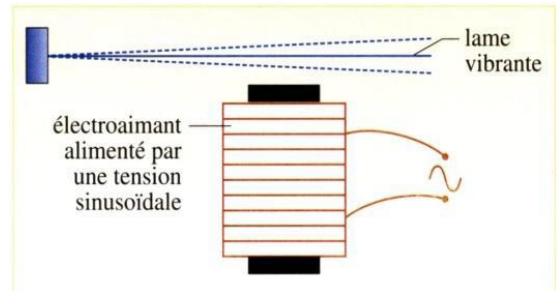
ONDES MÉCANIQUES PROGRESSIVES PÉRIODIQUES

1– Notion d'onde progressive périodique

1.1– Comment obtenir une onde progressive périodique ?

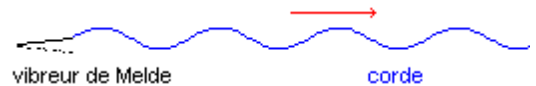
Un phénomène périodique est un phénomène qui se **répète** de la même manière à intervalles de temps **réguliers**.

Si la source d'onde impose au milieu une perturbation qui se répète à intervalles de temps égaux, l'onde résultante est une onde progressive **périodique**.



1.2 – Exemples :

Une corde attachée à la lame en S subit ainsi une perturbation périodique qui se propage le long de la corde. On a créé une onde progressive périodique. (La lame vibre périodiquement de haut en bas grâce à un électroaimant)



1.3– Définition d'une onde mécanique progressive périodique :

☛ Une onde mécanique est **progressive** si elle se **propage** depuis un point source dans tout le milieu matériel. Elle est **périodique** si la perturbation se **répète de façon identique à elle-même à intervalles de temps égaux**.

☛ Une onde mécanique périodique est créée par une source qui a un mouvement périodique.

2– Périodicité temporelle, périodicité spatiale

2.1– Périodicité temporelle :

La période temporelle T est une caractéristique de la source car tout point du milieu, atteint par la perturbation oscille avec la même période que la source.

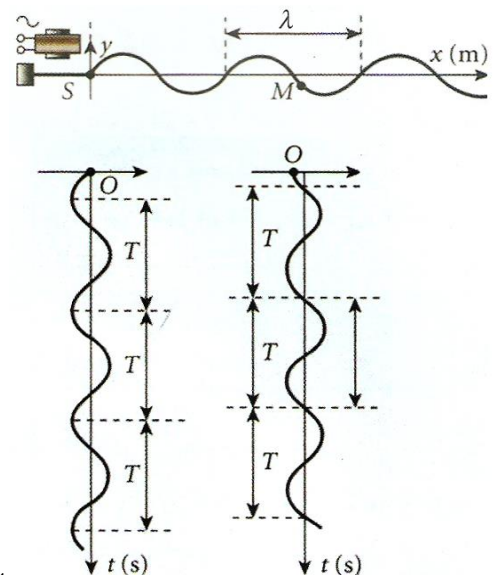
☛ La période est **la durée au bout de laquelle un point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire**. Elle est notée T et s'exprime en seconde.

2.2– Périodicité spatiale :

On appelle **période spatiale**, notée λ , d'une onde mécanique progressive périodique,

la plus petite distance séparant deux points

du milieu qui ont le même état vibratoire (c'est-à-dire vibrant en phase).



3– Onde progressive périodique sinusoïdale

3.1– Définition :

Une onde progressive sinusoïdale est une onde progressive pour laquelle la source impose une perturbation**sinusoïdale**... de période T .

☛ La perturbation en un point quelconque du milieu est aussi une sinusoïde de période T

☛ L'élongation y de la source S à un instant t d'une onde progressive sinusoïdale s'exprime par :

$$y_s^{(t)} = y_m \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

Avec : Y_{\max} est l'amplitude, T est la période.

☛ Un point M d'abscisse x reproduit le mouvement du source S avec un retard $\tau = \frac{x}{v}$. Donc l'élongation y_M du point M est :

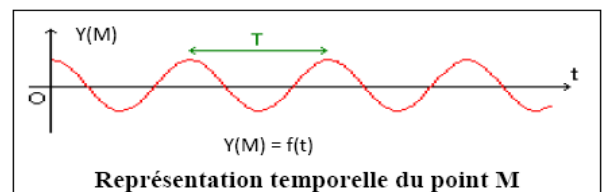
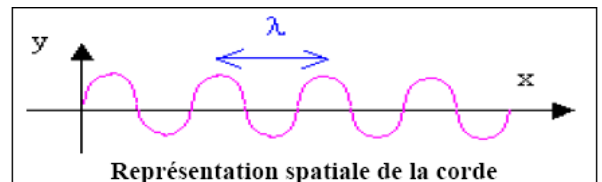
$$y_M^{(t)} = y_m \cos\left(\frac{2\pi}{T} (t - \tau)\right) = y_s^{(t - \tau)}$$

3.2– Caractéristiques de l'onde progressive sinusoïdale

L'onde progressive périodique est caractérisée par la période spatiale.

Dans le cas d'une onde sinusoïdale, on appelle cette période spatiale **longueur d'onde**. Elle est notée λ et est exprimé en mètres (m).

L'onde progressive périodique est caractérisée par sa période temporelle T et sa fréquence ν qui sont imposés par la source.



On rappelle que la fréquence ν du phénomène est l'inverse de la période T :

$$\nu = \frac{1}{T}$$

3.3– Relation entre périodicité spatiale et temporelle

La période spatiale est égale à la distance λ parcourue par l'onde pendant une période temporelle T . L'onde se déplaçant avec la célérité v , caractéristique du milieu de propagation :

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu}$$

Diagramme illustrant la relation entre les grandeurs. Le λ est en mètres (m), v est en m.s⁻¹ et ν est en Hertz (Hz). Le temps T est en secondes (s).

Avec ν la fréquence en Hertz (Hz).

Une onde périodique progressive présente donc une double périodicité : spatiale et temporelle.

Remarque 1 :

On peut mesurer la période temporelle T d'une onde périodique en figeant la propagation avec un éclairage stroboscopique :

- Quand $T_{\text{éclair}} = T_{\text{onde}}$ alors on aura ..**l'immobilité apparente**.. (le milieu semble immobile).

- Quand $T_{\text{éclair}} < T_{\text{onde}}$ alors le phénomène périodique va au ralenti dans le sens **inverse du sens réel**.
- Quand $T_{\text{éclair}} > T_{\text{onde}}$ alors le phénomène périodique va au ralenti dans le sens **..réel....**

La fréquence du mouvement apparent ralenti : $N_a = N - N_e$, avec :

N_a : fréquence du mouvement apparent ralenti,

N : fréquence du mouvement réel

N_e : fréquence du stroboscope

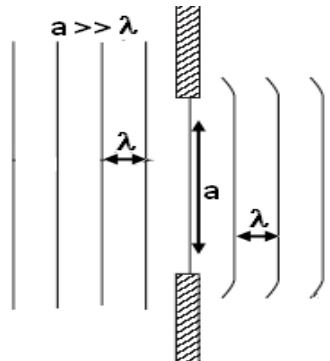
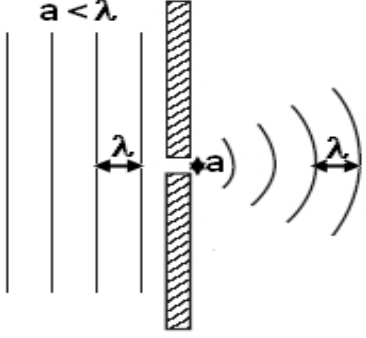
$\Rightarrow N_a > 0$: mouvement apparent sens **...direct....** $N_a < 0$: mouvement apparent sens **..inverse....**

Remarque 2 :

- Deux points M et N d'un milieu vibrent en phase alors leur distance $d=MN$ est égale à un nombre entier k de longueurs d'onde λ : $d=SM = k\lambda$ ($k \in \mathbb{N}^*$)
- Deux points M et N d'un milieu vibrent en opposition de phase alors leur distance $d=MN$ est égale à un nombre entier impair $(2.k + 1)$ de demi-longueur d'onde λ : $d=MN = (2k+1). \lambda$ ($k \in \mathbb{N}$).

4– Propriétés spécifiques aux ondes : diffraction et dispersion

4.1– Phénomène de diffraction :

1 ^{ère} Cas : L'ouverture est de grande taille par rapport à la longueur d'onde (λ petite par rapport à a).	2 ^{ème} Cas : L'ouverture est de petite taille par rapport à la longueur d'onde (λ égale ou plus grande que a).
	

- Lorsqu'une onde progressive sinusoïdale rencontre un obstacle d'ouverture de petite taille, sa propagation est modifiée : **l'onde est déformée**. Lorsque la largeur de l'ouverture " a " est **inférieure ou de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ ($a \leq \lambda$)**, l'onde subit un phénomène de diffraction.
- Plus la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle est petite, plus le phénomène de diffraction est marqué.
- L'onde diffractée possède la **..même..** fréquence et donc la **..même..** longueur d'onde que l'onde incidente.

4.2– Notion de milieu dispersif :

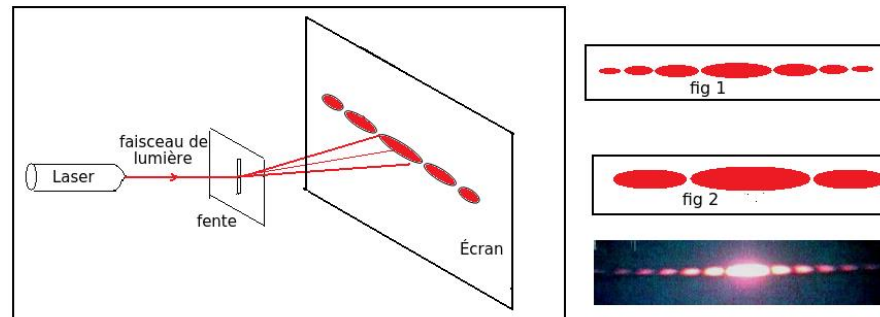
En effet des ondes de fréquences différentes ne se propagent pas à la même vitesse dans un tel milieu et subissent alors une dispersion.

Un milieu est dit dispersif si la célérité v d'une onde **..dépend..** de sa fréquence ν .

PROPAGATION D'UNE ONDE LUMINEUSE

1– La lumière, un phénomène ondulatoire

1.1– Diffraction de la lumière :



La lumière se propage **en ligne droite** dans un milieu transparent homogène. Mais au passage par une fente étroite, le laser **ne se propage plus** en ligne droite, le faisceau change de direction, on assiste donc au phénomène de **diffraction**.

⇒ Par analogie avec les ondes mécaniques progressifs périodiques on peut confirmer la nature ondulatoire de la lumière . **Donc la lumière est une onde** qui se propage.

1.2 – La lumière est une onde

☛ La lumière **n'a pas besoin d'un milieu matériel** pour se propager.

☛ La lumière ne se propage pas dans les milieux opaques (bois, pierre...).

⇒ La lumière est une onde **électromagnétique** (correspond à la propagation simultanée d'un champ électrique et un champ magnétique) **sinusoïdale** qui se **propage** dans le **vide** et dans les **milieux transparents** (air, eau, verre...).

2– Caractéristiques d'une onde lumineuse

2.1– Lumière monochromatique et polychromatique :

☛ Lumière **monochromatique** est une onde électromagnétique progressive sinusoïdale de fréquence **unique** (composée d'une seule radiation donc d'une seule couleur). **Exemple** : lumière émise par un laser.

☛ Lumière polychromatique est composée d'un ensemble de lumières **monochromatiques** de fréquences **différentes** (composée de plusieurs radiations donc de plusieurs couleurs). **Exemple** : lumière blanche.

2.2– Célérité de la lumière

Dans le vide et pratiquement dans l'air, toutes les radiations lumineuses se propagent avec la même **célérité** $c = 3.10^8$ m/s, quelque soit leurs fréquences.

Dans les milieux transparents (comme le verre, l'eau ...) la célérité v de la lumière est inférieure à c et change de valeur d'un milieu à un autre.

Exemple : $v_{\text{eau}} = 2,232.10^8 \text{ ms}^{-1}$

On définit l'**indice de réfraction** (ou indice) d'un milieu transparent, pour une longueur d'onde donnée, par la relation :

$$n = \frac{c}{v} \quad \begin{array}{l} \leftarrow (m.s^{-1}) \\ \leftarrow (m.s^{-1}) \end{array}$$

Avec c la vitesse de la lumière dans le vide et v la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu.

Remarque :

- L'indice de milieu est un nombre **sans unité**.
- Il est toujours supérieur à 1 car $c > v$.
- **L'indice de l'air** étant très proche de 1 **est pratiquement le même que dans le vide**.

2.3– Fréquence et longueur d'onde

Une onde lumineuse est une onde progressive sinusoïdale caractérisée par sa longueur d'onde dans le vide λ_0 (exprimée en mètres). Celle-ci est reliée à la période de l'onde T ou à sa fréquence ν par l'intermédiaire de la célérité :

$$c = \frac{\lambda_0}{T} = \lambda_0 \cdot \nu$$

λ_0 : longueur d'onde dans le vide (m) ; T : période (s) ; ν : fréquence (Hz) ; c : célérité (m/s).

Dans les milieux transparents quelconque : $V = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$

λ : longueur d'onde dans le milieu (m) ; T : période (s) ; ν : fréquence (Hz) ; V : célérité dans le milieu (m/s)

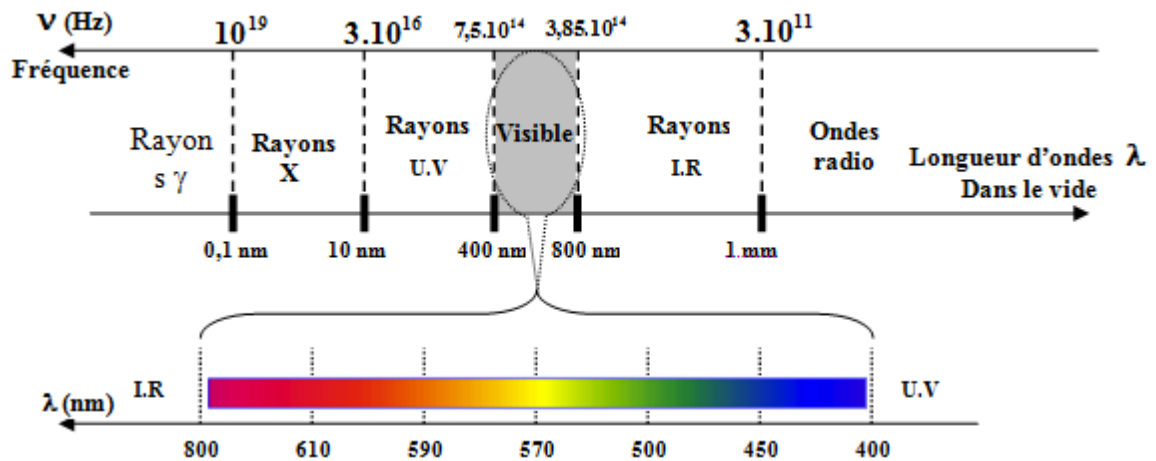
Remarque :

- Lors du **passage** d'une lumière monochromatique **d'un milieu transparent à un autre**, la fréquence **ne change pas** ; par contre, la célérité et la longueur d'onde correspondantes sont **modifiées**.
- La période et la fréquence d'une onde lumineuse sont indépendantes du milieu donc : $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$; λ : longueur d'onde dans le milieu et λ_0 : longueur d'onde dans le vide.

2.4– Domaine des radiations lumineuses

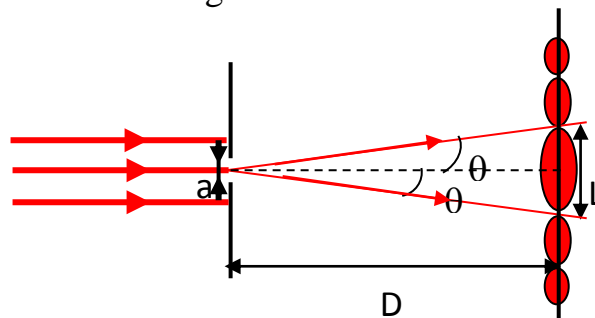
Les valeurs des longueurs d'onde λ des radiations lumineuses nous permettent de les classer en trois domaines différents :

- Si $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$, la radiation appartient au domaine des radiations **visibles** : En effet l'oeil n'est sensible qu'à ce domaine de longueur d'onde, et nous permet de voir toutes les couleurs.
- Si $\lambda < 400 \text{ nm}$, la radiation appartient au domaine des **ultraviolets**.
- Si $\lambda > 800 \text{ nm}$, la radiation appartient au domaine des **infrarouges**.



3– Diffraction d'une onde lumineuse monochromatique

Le phénomène de diffraction est observé lorsque la lumière monochromatique passe par une fente fine étroite de largeur a .



Ce phénomène de diffraction dépend essentiellement de trois facteurs :

1– La largeur de la fente a

Plus la fente est fine et étroite,**plus**..... la lumière s'étale et plus le phénomène de diffraction est important.

2– La longueur d'onde λ

Quand la longueur d'onde de la lumière incidente diminue, la largeur de la tache centrale**diminue**.....

3– La distance D entre la fente et l'écran

Lorsque la distance D augmente, la largeur L de la tache centrale **augmente** aussi.

L'Ecart angulaire :

On appelle écart angulaire θ , l'angle, exprimé en radian, entre la droite passant par le milieu de la tache centrale et celle passant par le milieu de la première zone d'extinction.

Expérimentalement :

$$(\text{rad}) \rightarrow \theta = \frac{\lambda}{a} \leftarrow \begin{matrix} \text{--- (m)} \\ \text{--- (m)} \end{matrix}$$

Graphiquement :

Lors de la diffraction de la lumière, l'angle θ est faible, donc :

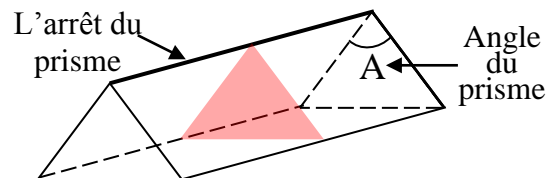
$$\tan \theta \approx \theta = \frac{L}{2D}$$

Remarque :

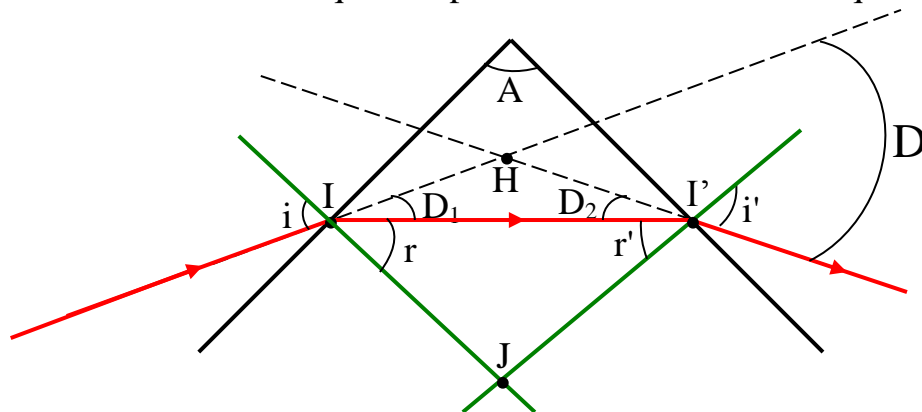
- A la place de la fente, on peut utiliser un fil très fine de diamètre a .
- Si l'**ouverture** est **horizontale**, la **tache** de diffraction est **verticale**, et vice-versa.

4– Phénomène de Dispersion de la lumière par un prisme**4.1– Le prisme**

Un prisme est formé d'un milieu transparent limité par deux faces planes. Il est caractérisé par son angle au sommet A et par son indice de réfraction n .

**4.2– Les relations caractéristiques du prisme**

Les relations caractéristiques du prisme sont au nombre de quatre :



- D'abord, les lois de la réfraction :
 - ☛ Pour la première réfraction, l'angle d'incidence est noté i , l'angle de réfraction r :

$$n_{air} \cdot \sin(i) = n \cdot \sin(r) \quad \textcircled{1}$$

- ☛ Pour la deuxième réfraction, l'angle d'incidence est noté r' , l'angle de réfraction i' :

$$n \cdot \sin(r') = n_{air} \cdot \sin(i') \quad \textcircled{2}$$

- Dans le triangle $AI'I'$: $A + \left(\frac{\pi}{2} - r\right) + \left(\frac{\pi}{2} - r'\right) = \pi$
 $\Rightarrow A = r + r' \quad \textcircled{3}$

- Déviation du rayon lumineux :
 - ✓ par le 1er dioptre : $D_1 = i - r$.
 - ✓ par le seconde dioptre (vers la base) : $D_2 = i' - r'$.
 - ✓ Déviation totale à travers le prisme :

$$D = D_1 + D_2 = i + i' - A$$

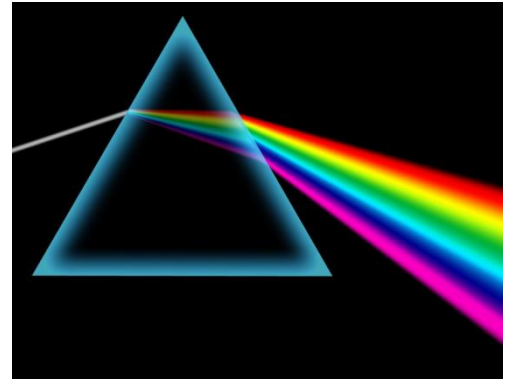
④

4.3– Dispersion de la lumière blanche

La dispersion de la lumière blanche est sa **décomposition** en radiations monochromatiques.

4.4– Interprétation de la dispersion

Le prisme est constitué de deux surfaces de séparation. La première est la surface air-verre, appelée face d'entrée et la seconde est la surface verre-air, appelée face de sortie.



Le rayon lumineux incident subit une première réfraction sur la face d'entrée et une deuxième réfraction sur la face de sortie.

La lumière incidente est blanche elle est constituée d'une somme de **..radiation...** lumineuses qui arrivent avec le même angle d'incidence i .

L'indice du prisme dépend de la fréquence (couleur de radiation) ou de la longueur d'onde. Selon la deuxième loi de la réfraction : $\sin(i) = n \cdot \sin(r)$, le **trajet d'une radiation dépend de l'indice du prisme**.

Chaque radiation possède alors **un angle de réfraction différent** et donc elle est déviée **différemment**.

"On obtient donc le spectre de la lumière blanche"