

CH19 : Les ondes progressives

Enjeu : les besoins en télécommunication n'ont cessé d'accroître depuis un siècle. Les systèmes actuels sont de plus en plus communicants et des ordres doivent être envoyés sur des distances plus ou moins longues.

Problématique : les ondes permettent de répondre à ses besoins. Quelles sont les différentes catégories d'ondes ? Et quelles sont les lois qui les régissent ?

Objectifs :

A l'issue de la leçon, l'étudiant doit :

A l'issue de la leçon, l'étudiant doit :		
19.1	Savoir définir ce qu'est une onde	
19.2	Savoir définir les différents types d'ondes (progressives, stationnaires, longitudinales, transversales)	
19.3	Savoir définir les différentes caractéristiques d'une onde	
19.4	Savoir utiliser la relation reliant la célérité, la longueur d'onde et la fréquence d'une onde.	
19.5	Savoir utiliser les lois de Snell-Descartes pour tracer un rayon réfléchi et un rayon réfracté.	
19.6	Connaître le principe de la transmission d'information par fibre optique	
19.7	Savoir tracer les rayons traversant une lentille mince	
19.8	Savoir citer deux phénomènes sortant du domaine de l'optique géométrique mais expliqués par l'optique ondulatoire.	

1. Qu'est-ce qu'une onde ?

On appelle onde, le phénomène physique correspondant à la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation réversible des propriétés physiques locales.

Exemple : une pierre tombant à la surface d'un lac, crée une succession de ronds qui s'agrandissent. Au bout d'un certain temps, les ronds disparaissent et la surface de l'eau reprend son état initial.

Une onde transporte de l'énergie, mais pas de matière : les ronds sont des déformations de la surface, mais l'eau ne se déplace pas.

Quelques exemples d'onde : les vagues, le son, la vibration d'une corde, la lumière, les ondes radios,...

2. Quelle est la différence entre une onde progressive et une onde stationnaire ?

⇒ **Une onde progressive** est une onde dont la perturbation se déplace dans une ou plusieurs directions.

Exemple : une vague

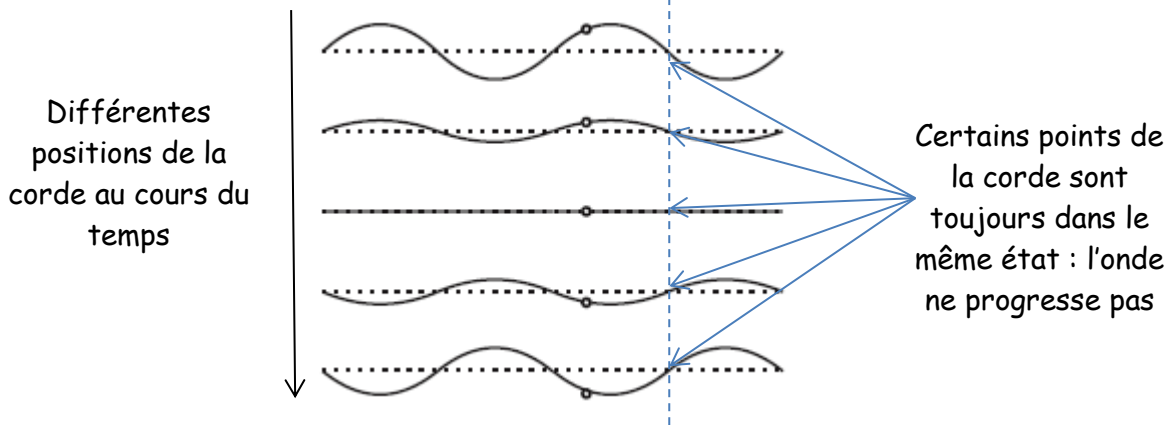


La déformation du niveau de la surface de l'eau se déplace horizontalement.

⇒ **Une onde stationnaire**, est une onde dont les perturbations ne semblent pas progresser : il y a battement.

C'est le résultat de la superposition d'ondes progressives se déplaçant en sens inverse (généralement l'onde et sa réflexion)

Exemple : vibration de la corde d'une guitare.



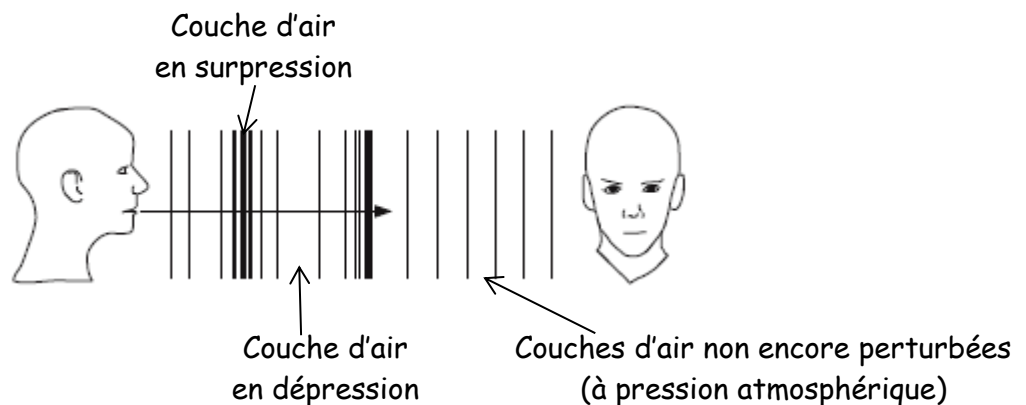
3. Quelle est la différence entre une onde longitudinale et une onde transversale ?

⇒ **Les ondes transversales** sont des ondes dont la perturbation se fait perpendiculairement à la direction de sa propagation.

C'est le cas de la vague. La perturbation est verticale (élévation et baisse du niveau de l'eau) alors que l'onde se déplace horizontalement.

⇒ **Les ondes longitudinales** sont des ondes dont la perturbation se fait le long de la direction de sa propagation.

C'est le cas du son : la perturbation (compression et décompression des couches d'air) se fait le long de la direction de propagation du son.



4. Quelles sont les caractéristiques d'une onde progressive ?

⇒ **Le besoin ou non pour l'onde d'un milieu matériel pour se propager :**

Certaines ondes ont besoin d'un milieu matériel pour se propager : le son (eau, air, métal,...), vague (l'eau)...

D'autres ondes n'en ont pas besoin : les ondes radio et la lumière (et toutes les ondes électromagnétique) peuvent se propager dans le vide.

⇒ **La célérité :**

La célérité correspond à la vitesse de propagation de l'onde. On la note c . On utilise le terme de célérité plutôt que vitesse car il n'y a pas de transport de matière.

La célérité de l'onde dépend du milieu dans lequel elle se propage (même pour une onde qui n'a pas besoin de milieu matériel pour se propager).

Exemples :

Célérité du son : $c=340\text{m.s}^{-1}$ dans l'air ; $c=1440\text{ m.s}^{-1}$ dans l'eau

Célérité de la lumière : $c=3.10^8\text{m.s}^{-1}$ (300 000 km/s) dans l'air ou le vide ; $c=2,25.10^8\text{m.s}^{-1}$ dans l'eau.

⇒ **La fréquence :**

L'onde est un phénomène périodique ; les perturbations se produisent à intervalle de temps régulier.

La fréquence de l'onde correspond au nombre de perturbations par seconde.

Par exemple si un baigneur fixe reçoit une vague toutes les 5 secondes (période de l'onde) la fréquence est $f = \frac{1}{5} = 0,2\text{Hz}$

⇒ **La longueur d'onde :**

L'onde est un phénomène périodique dans le temps : en un point fixe un même niveau de perturbation se reproduit à intervalle de temps régulier

L'onde est également un phénomène périodique dans l'espace : à un instant t, un même niveau de perturbation se produit à intervalle de longueur régulier.

La longueur d'onde correspond à cet intervalle de longueur (cela équivaut à une « période spatiale »).

On la note λ (lettre grecque lambda)

Exemple : La longueur d'onde d'une houle correspond à la distance entre 2 vagues consécutives.

5. Existe-t-il une relation qui relie c, f et λ ?

La longueur d'onde correspond également à la distance parcourue par l'onde en une période.

Or on sait que :

$$Vitesse = \frac{\text{distance}}{\text{durée}}$$

D'où la relation :

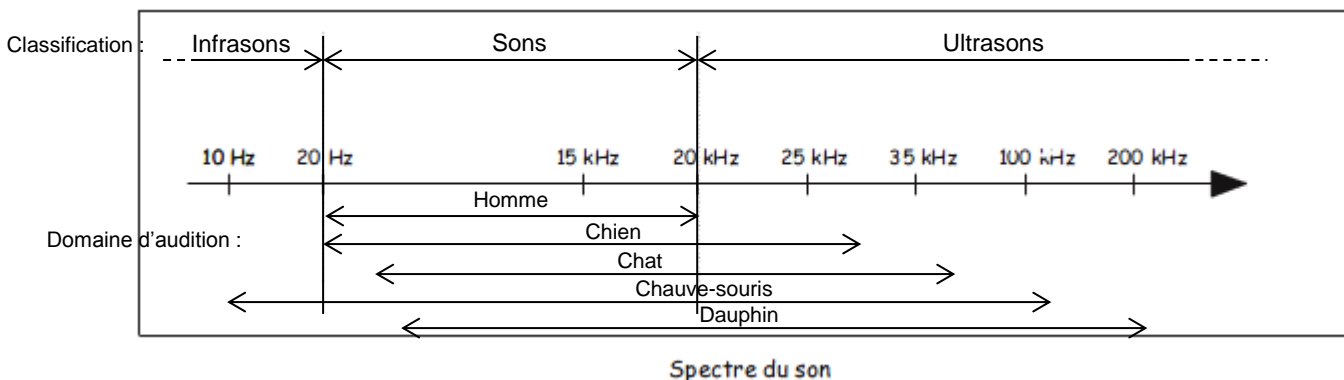
$$c = \frac{\lambda}{T}$$

Sachant que $f = \frac{1}{T}$, on obtient :

$c = \lambda f$ <p>$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad [\text{m}] \quad [\text{Hz}]$</p>

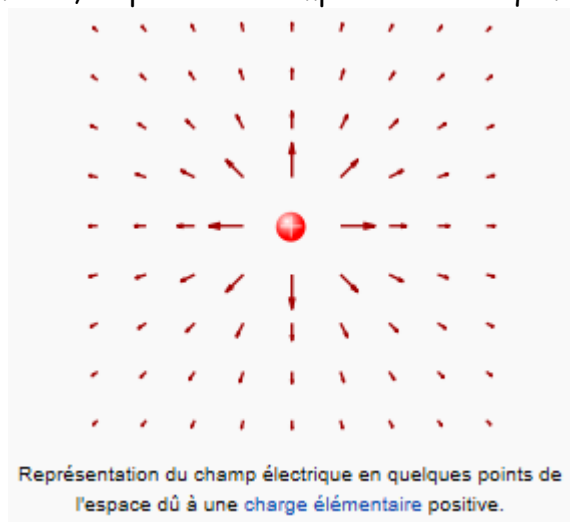
Remarque : cette relation est parfois retenue sous la forme $\lambda = cT$

6. Comment les ondes sonores sont-elles classifiées ?



7. Qu'est-ce qu'un champ électrique ?

Une particule chargée émet un champ électrique, comme un aimant émet un champ magnétique. Si la particule chargée est immobile, on parle de champ électrostatique.



Si une autre particule chargée est placée dans ce champ, elle va subir une force en étant repoussée ou attirée suivant son signe.

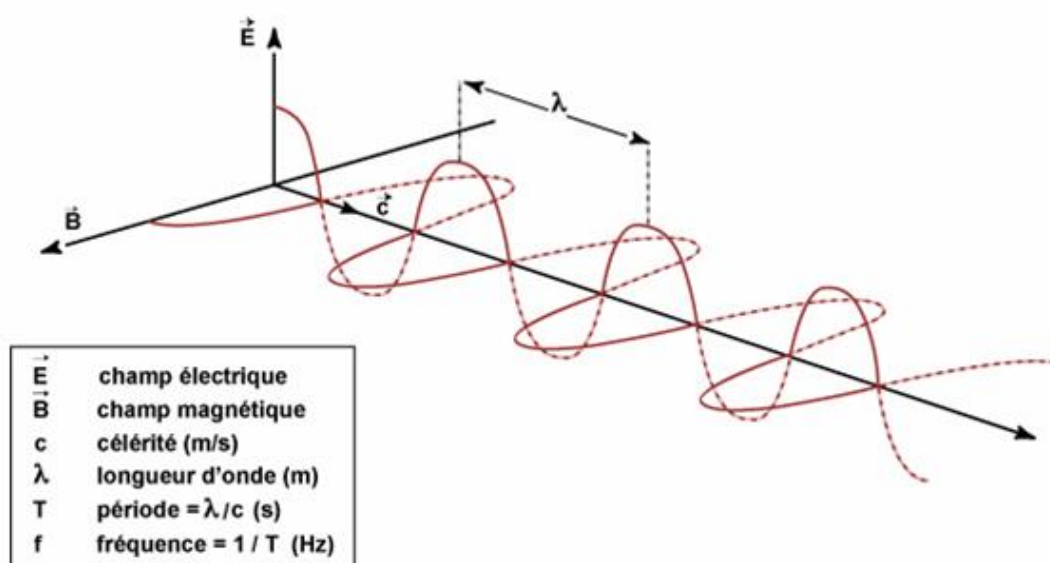
C'est ce champ électrique qui est à l'origine des phénomènes électrostatiques.

Remarque : le champ magnétique engendre une action sur les objets ferreux. Il n'a aucun effet sur une particule chargée au repos. Cependant, une particule chargée en mouvement sera déviée de sa trajectoire.

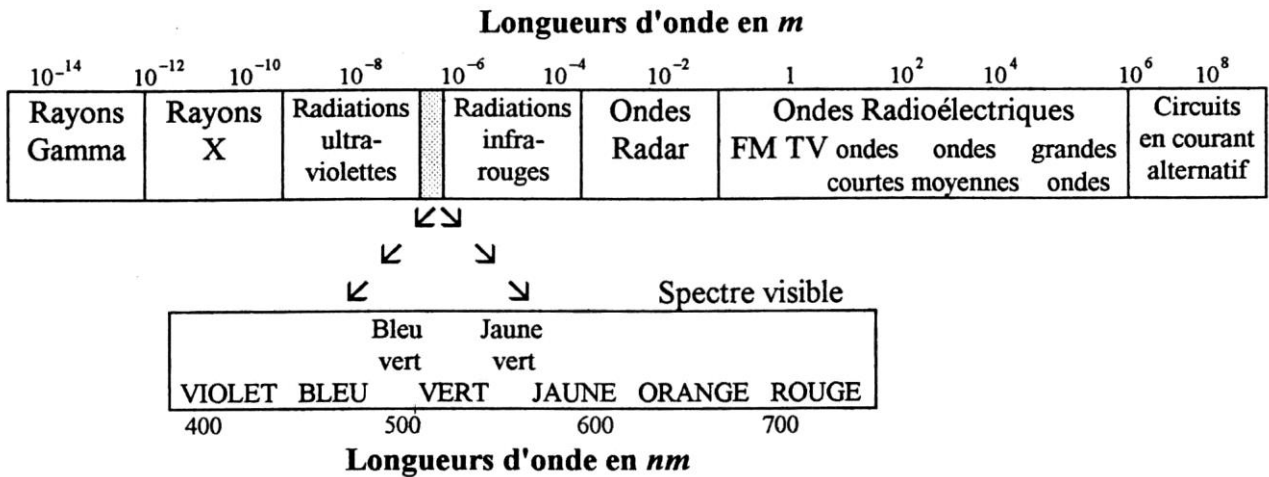
8. Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ?

En sciences physiques, on modélise les rayonnements électromagnétiques par une onde appelée onde électromagnétique.

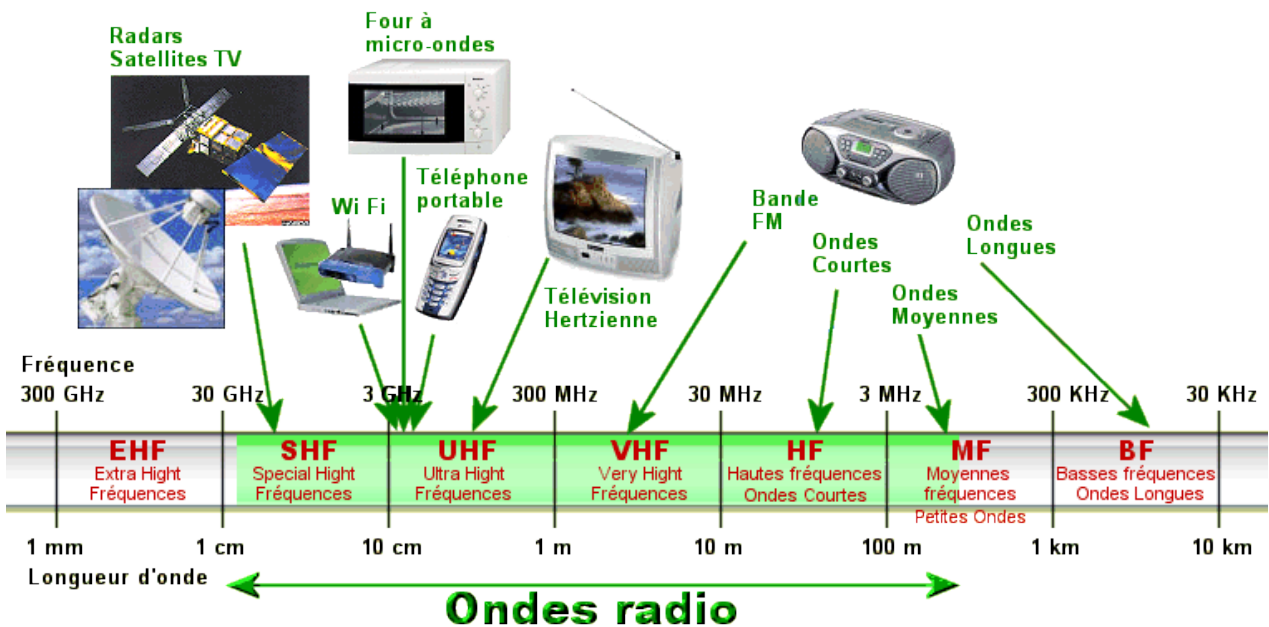
La perturbation de cette onde est double : variation du champ magnétique et variation d'un champ électrique. Ces deux perturbations sont perpendiculaires entre elles mais également à la direction de propagation : c'est une onde transversale.



9. Comment les ondes électromagnétiques sont-elles classifiées ?



11. Comment sont classifiées les ondes radios ?



12. Qu'est-ce que les lois de Snell-Descartes ?

Dans de nombreux cas (son, lumière...) on peut assimiler l'onde à un segment de droite, orienté dans le sens de la propagation.

Lorsque la lumière (ou une onde en général) change de milieu, il y a généralement changement de direction par réflexion seule ou par réflexion et réfraction.

Les Lois de Snell-Descartes permettent de déterminer ces nouvelles directions.

On traitera dans ce chapitre le cas de la lumière, mais ces lois sur la réfraction et la réflexion peuvent être élargies aux ondes progressives se propageant dans une direction.

13. Que disent les lois de Snell-Descartes pour la réflexion ?

Tout rayon lumineux arrivant sur une surface réfléchissante (miroir) subit une déviation appelée réflexion.

- On appelle par :
- **plan d'incidence** le plan contenant l'angle d'incidence et la normale à la surface
 - **angle d'incidence noté i** , l'angle entre le rayon incident et la normale à la surface
 - **angle de réflexion noté i'** , l'angle entre le rayon réfléchi et la normale à la surface

Lois de Descartes pour la réflexion :



1°) **Le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence**

2°) **$i = i'$**

14. Qu'est-ce que l'indice de réfraction d'un milieu ?

A chaque milieu transparent homogène on fait correspondre un nombre, appelé indice de réfraction et noté n_i tel que :

$$n_i = \frac{c_{vide}}{c_{milieu}}$$

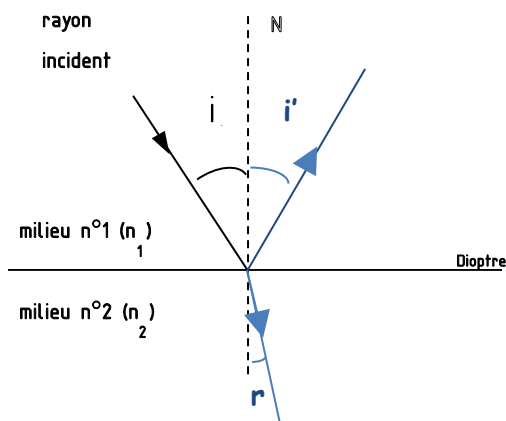
Avec c_{vide} et c_{milieu} les célérités du vide et du milieu.

Remarque : comme $c_{vide} \approx c_{air}$ on a $n_{vide} = 1$ et $n_{air} \approx 1$

15. Que disent les lois de Snell-Descartes pour la réfraction ?

Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu homogène transparent à un autre, il subit une déviation, appelée réfraction.

On appelle par **angle de réfraction** noté r , l'angle entre le rayon réfracté et la normale à la surface



Lois de Descartes pour la réfraction :

1°) **Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence**

2°) **$n_1 \sin i = n_2 \sin r$**

Remarques :

- ☆ Le rayon incident se divise en deux rayons : un rayon réfléchi et un rayon réfracté
- ☆ si $n_2 > n_1$: $r < i$
- ☆ si $n_2 < n_1$: $r > i$

16. Qu'est-ce que l'angle limite ?

L'angle limite, noté i_l , est la valeur de i à partir de laquelle il n'y a plus de réfraction.

On dit alors qu'il y a réflexion totale

En effet, il n'y aura un rayon réfracté que si $r \leq 90^\circ$. On peut en déduire la valeur de l'angle limite i_l :

$$n_1 \sin i_l = n_2 \sin 90^\circ \text{ or } \sin 90^\circ = 1$$

$$\sin i_l = \frac{n_2}{n_1}$$

$$i_l = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Cette angle limite n'existe que si $n_2 \leq n_1$

⇒ Mathématiquement cela se justifie par le fait que la fonction $\arcsin(x)$ est définie sur l'intervalle $[-1;1]$, donc $\frac{n_2}{n_1} \leq 1$.

⇒ Physiquement, cela se justifie par le fait que si $n_2 > n_1$, on a $r < i$ et comme $i \leq 90^\circ$, $r < 90^\circ$ et il n'y a pas d'angle limite.

17. Quel est le principe de fonctionnement d'une fibre optique ?

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière par réflexion : on choisit le matériau tel $n_{\text{matériau}} < n_{\text{air}}$ et on s'arrange pour être au-dessus de l'angle limite.

Le signal lumineux est codé en variation d'intensité. Pour les courtes distances (imagerie et association aux capteurs de température, pression,...) une simple DEL peut jouer le rôle de source émettrice. Pour des réseaux hauts débits et à longue distance, jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres c'est un laser qui est de préférence utilisé.

La fibre optique offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

18. Qu'est-ce qu'une lentille mince ?

Les lentilles minces sont des milieux transparents limités par au moins une calotte sphérique. Il en existe deux sortes :

les lentilles convergentes :

les lentilles divergentes :

Rep. Schématique

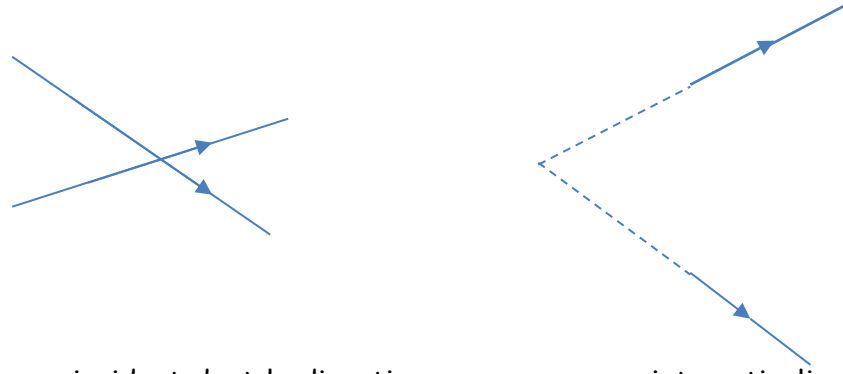
Rep. Schématique

19. Comment tracer les rayons lumineux traversant une lentille ?

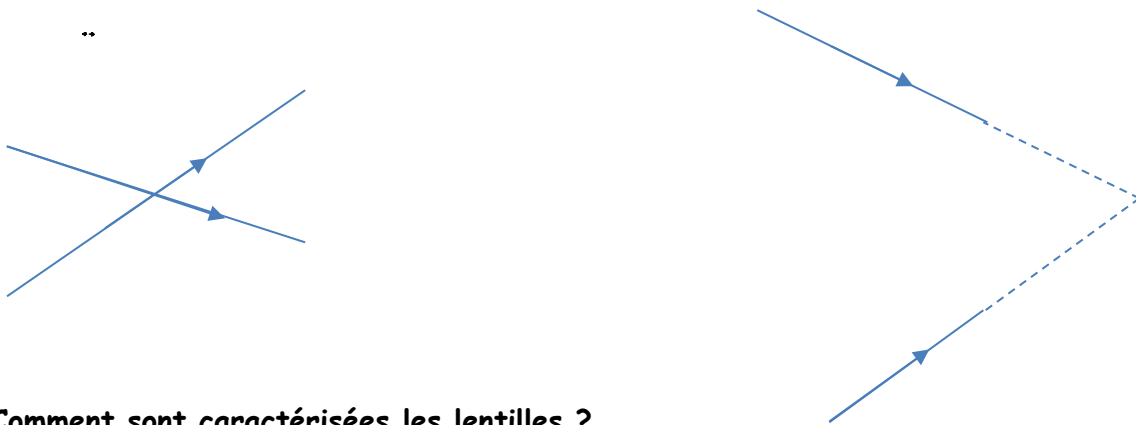
On utilise les propriétés de 3 points particuliers situés sur l'axe optique : le centre optique, le foyer image et le foyer objet.

Centre optique (O) : Tout rayon incident passant par ce point ne subit aucune déviation.

Foyer image (F') : tout rayon incident parallèle à l'axe optique donne un rayon émergent dont la direction passe par un point particulier de l'axe appelé foyer image et noté F'.



Foyer objet (F) : tout rayon incident dont la direction passe par un point particulier de l'axe optique appelé foyer objet et noté F donne un rayon émergent parallèle à l'axe optique.



20. Comment sont caractérisées les lentilles ?

On appelle distance focale d'une lentille, notée f' , la grandeur $\overline{OF'}$ (On a $\overline{OF'} = -\overline{OF}$)

Cette distance varie d'une lentille à une autre, mais c'est la vergence que l'on utilise pour caractériser une lentille

On définit la vergence C d'une lentille par $C = \frac{1}{f'}$ en dioptrie (δ)

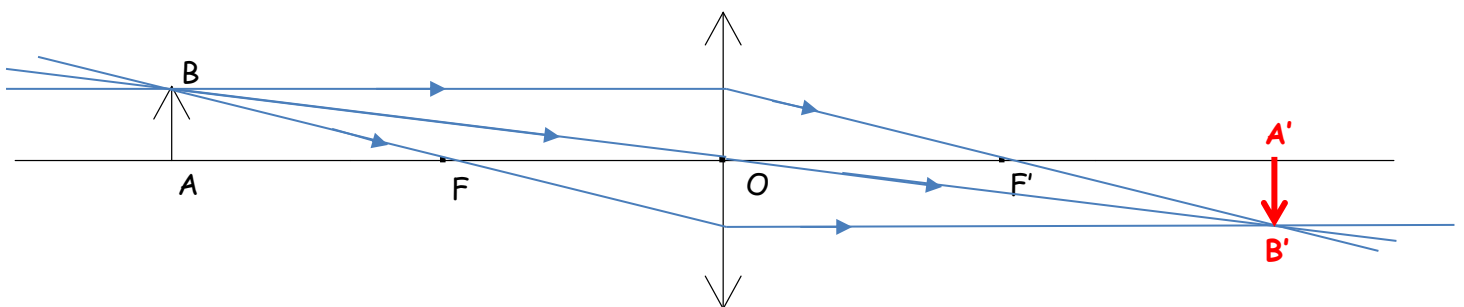
- Remarque :
- Lentille convergente : $C > 0$
 - Lentille divergente : $C < 0$

21. Comment obtient-on l'image d'un objet à travers une lentille ?

On n'étudiera que le cas le plus simple d'un objet réel (situé avant la lentille) et d'une image réelle (située après la lentille et donc observable sur un écran).

Pour obtenir l'image $A'B'$ de l'objet AB ci-dessous, il suffit d'utiliser les règles du paragraphe 19. Le point A' est forcément sur l'axe optique puisqu'un rayon passant par A et O n'est pas dévié.

Reste à déterminer la position de B' :



Pour observer une image nette, il faut placer un écran à la distance OA' de la lentille.

22. Qu'est-ce que l'optique ondulatoire ?

Historiquement, le modèle de l'optique ondulatoire est apparu pour interpréter des phénomènes qui étaient inexplicables par le modèle de l'optique géométrique.

Ces phénomènes sont principalement la diffraction et les interférences.

On peut faire un parallèle avec le modèle de la mécanique relativiste d'Einstein qui est apparu pour expliquer des phénomènes non explicables par la mécanique classique de Newton.

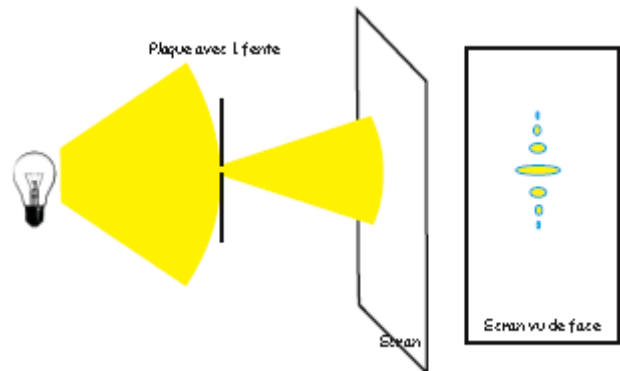
L'optique ondulatoire consiste à étudier les problèmes en considérant la lumière comme une onde électromagnétique.

23. Qu'est-ce que le phénomène de diffraction ?

Le phénomène de diffraction apparaît lorsqu'un faisceau lumineux traversant un trou, ne produit pas un point unique sur l'écran, comme le prévoit l'optique géométrique.

En lieu et place, on observe des taches étalées sur une distance très élargie.

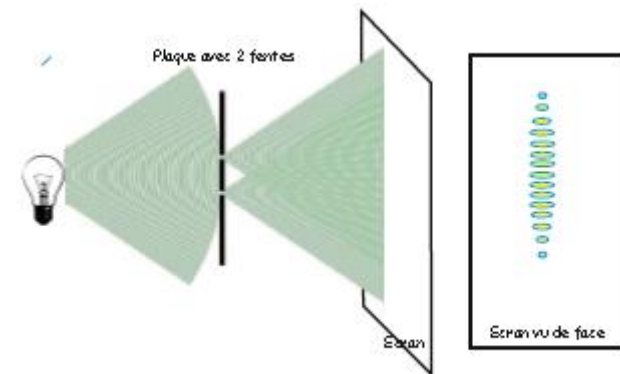
Le phénomène de diffraction se produit pour l'ensemble des ondes pour un trou de dimension proche de la longueur d'onde et une observation (écran) à une distance du trou bien supérieure à la dimension du trou.



24. Qu'est-ce que le phénomène d'interférences ?

Le phénomène d'interférences apparaît lorsqu'un faisceau lumineux traversant une plaque avec 2 fentes, ne produit pas deux taches lumineuses sur l'écran, comme le prévoit l'optique géométrique.

En lieu et place, on observe une alternance de bande sombre et de bande lumineuse



Cela est dû à la superposition des ondes issues des deux fentes sur l'écran.

Pour certains points M de l'écran, ces 2 ondes sont en phases et leurs effets s'additionnent : fort éclaircissement (bande lumineuse).

Pour d'autres points M de l'écran, ces 2 ondes sont en oppositions de phases et leurs effets s'annulent : pas d'éclaircissement (bande sombre).

