

CAHIER DE VACANCES EN PHYSIQUE MPII

M. Claus rentrée 2022-23

Listes d'ouvrages consultés par les étudiants :

Physique tout-en-un MPSI-MP2I

Physique-Chimie MP2I – ellipse

Super manuel de physique – Tout le semestre ½

Les thèmes ici évoqués sont abordés et approfondis tout au long du premier semestre.

I. MECANIQUE

Quelques prérequis autour des vecteurs :

- « Visualiser » rapidement, via le cercle trigonométrique, que :

$$\cos(0) = 1, \cos(\pm\pi) = -1, \cos\left(\pm\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

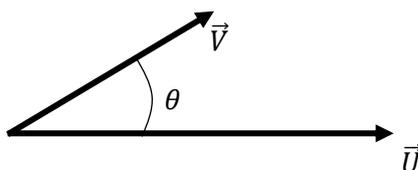
$$\sin(0) = 0, \sin(\pm\pi) = 0, \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1, \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) = \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = -1$$

- **Produit scalaire entre deux vecteurs \vec{U} et \vec{V} :**

Par définition, le produit scalaire entre deux vecteurs est tel que :

$$\vec{U} \cdot \vec{V} = \|\vec{U}\| \cdot \|\vec{V}\| \cdot \cos\theta \quad \text{où } \|\vec{U}\| \text{ et } \|\vec{V}\| \text{ sont les normes des vecteurs } \vec{U} \text{ et } \vec{V}.$$

Remarque : le résultat est un scalaire et non un vecteur.



Si les vecteurs sont orthogonaux, $\vec{U} \cdot \vec{V} = 0$ puisque $\theta = \pi/2$.

Si $\vec{U} = \vec{V}$ alors $\theta = 0$ d'où $\vec{U} \cdot \vec{V} = \|\vec{U}\|^2$ puisque $\vec{U} = \vec{V}$ implique que $\|\vec{U}\| = \|\vec{V}\|$.

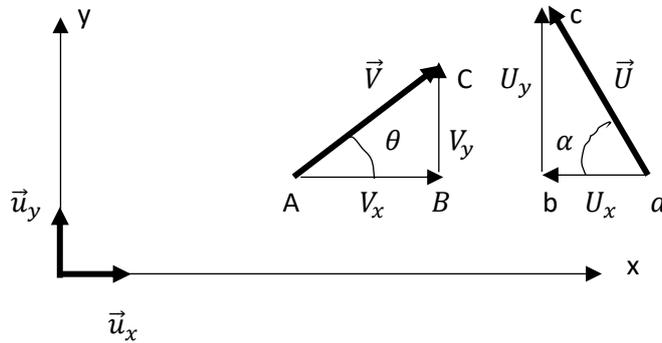
Que penser de $\vec{u}_x \cdot \vec{u}_x$ ou encore $\vec{u}_x \cdot \vec{u}_y$ en figure ci-dessous où les vecteurs \vec{u}_x et \vec{u}_y sont unitaires (au sens où leur norme vaut 1) ?

On a que $\vec{u}_x \cdot \vec{u}_x = \|\vec{u}_x\| \cdot \|\vec{u}_x\| \cdot \cos(0) = 1.1.1 = 1$

et $\vec{u}_x \cdot \vec{u}_y = \|\vec{u}_x\| \cdot \|\vec{u}_y\| \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1.1.0 = 0$

- **Composantes de vecteur et projection de vecteur sur un axe :**

Exemple :



Les vecteurs \vec{u}_x et \vec{u}_y sont unitaires (au sens où leur norme vaut 1) et sans unité.

On a que :

$$\vec{V} = \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = V_x \cdot \vec{u}_x + V_y \cdot \vec{u}_y$$

où $V_x = V \cos \theta$ et $V_y = V \sin \theta$ (il suffit de se reporter à la définition d'un cosinus ou d'un sinus ...)

avec $V = \|\vec{V}\| > 0$ norme du vecteur \vec{V} et θ un angle géométrique (positif).

Ici, V_x, V_y sont les composantes du vecteur \vec{V} dans la base des vecteurs unitaires \vec{u}_x et \vec{u}_y .

Soit à poser $\vec{V} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix}$

Enfin, $\vec{V} \cdot \vec{u}_x = (V_x \cdot \vec{u}_x + V_y \cdot \vec{u}_y) \cdot \vec{u}_x = V_x \cdot \vec{u}_x \cdot \vec{u}_x + V_y \cdot \vec{u}_y \cdot \vec{u}_x = V_x \cdot 1 + V_y \cdot 0 = V_x$

est la projection du vecteur \vec{V} sur l'axe Ox.

Pour le second vecteur \vec{U} , avec α un angle géométrique (positif), on a encore que :

$$\vec{U} = \overrightarrow{ac} = \overrightarrow{ab} + \overrightarrow{bc} = U_x \cdot \vec{u}_x + U_y \cdot \vec{u}_y$$

avec $U_x = -U \cos \alpha$ car $U_x < 0$, $U_y = U \sin \alpha$ et $U = \|\vec{U}\| > 0$.

En effet, les vecteurs \overrightarrow{ab} et \vec{u}_x pointent en sens inverse d'où $U_x < 0$.

- **Si deux vecteurs sont égaux, alors leurs composantes sont égales :**

$$\vec{V} = \vec{U} \text{ d'où } \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix} \text{ soit } V_x = U_x \text{ et } V_y = U_y$$

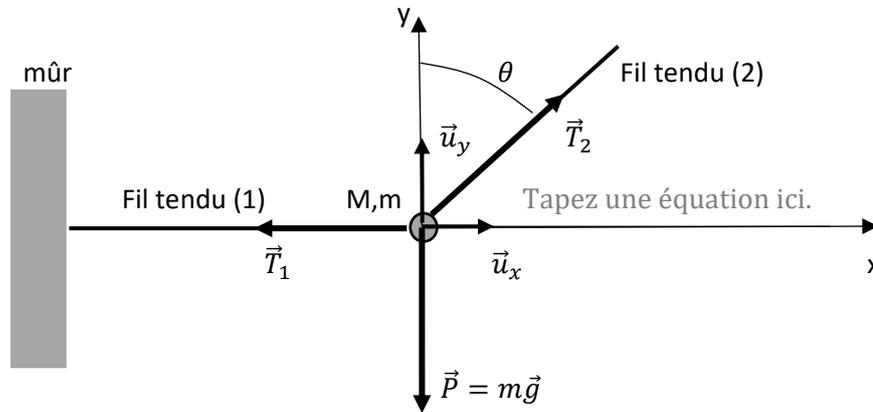
voire $V_z = U_z$ si l'on opère en 3 dimensions.

Applications en mécanique :

1. Exemple en statique :

On rappelle que la somme des vecteurs forces agissant sur un système (au repos) est nulle : $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$

Soit la situation ci-dessous :



\vec{g} est le vecteur champ de pesanteur, de norme $g \approx 9.81 m \cdot s^{-2}$.

Les fils tendus reliés à la masse m (assimilée à un point matériel) en M sont de masse négligeable. Le fil tendu (1) est horizontal et fixé au mûr. Une main tend l'autre fil et peut modifier l'angle θ .

a. Pour la masse située en M et au repos, montrer, en traduisant l'égalité entre les vecteurs $\sum_i \vec{F}_i$ et $\vec{0}$ et donc aussi celle de leurs composantes respectives dans le repère (xOy) , que :

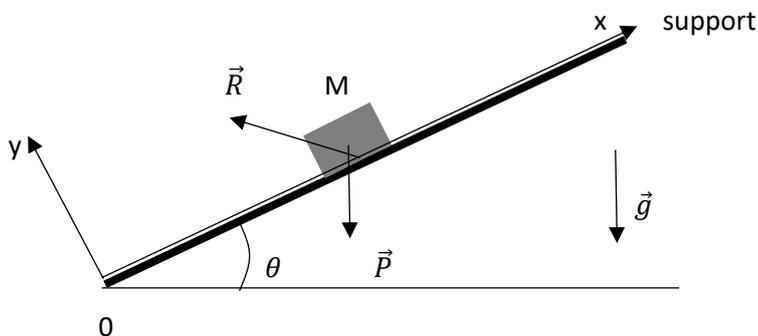
$$T_1 = mg \cdot \tan \theta \text{ où } T_1 = \|\vec{T}_1\|$$

b. Pouvait-on prévoir, sans calcul, que $T_1 \rightarrow 0$ lorsque $\theta \rightarrow 0$ et $T_1 \rightarrow \infty$ lorsque $\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}$.

2. Exemple en dynamique :

On rappelle que, pour une masse m assimilée à un point matériel M , on a que, relativement au référentiel du laboratoire (supposé Galiléen) et ici composé des axes Ox et Oy (figure ci-dessous), $m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$ où \vec{a} est le vecteur accélération de la masse.

On observe le cas ci-dessous d'une masse M initialement en $x = 0$ et alors animée d'une vitesse initiale v_0 dans le sens des abscisses x croissantes le long du support. Par la suite, on la repère par son abscisse $x(t)$ sur le support. On a également représenté les différentes forces agissant sur M :



- Réaction \vec{R} du support sur M, où $\vec{R} = R_t \vec{u}_x + R_n \cdot \vec{u}_y$ avec $|R_t| = \mu R_n$ où μ est une constante positive.
Remarque : en l'absence de frottements contre la surface du support, on a que $R_t = 0$ et donc que $\vec{R} = R_n \cdot \vec{u}_y$ est perpendiculaire au support.

- Le poids $\vec{P} = m\vec{g}$
- Les frottements dus à l'air sont négligés.

a. Eléments en cinématique :

Formuler les vecteurs position \overrightarrow{OM} , vitesse $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$ et accélération $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2}$ de la masse M à l'aide de $x(t)$ et \vec{u}_x .

b. Montrer, en formulant les différents vecteurs dans la base $(0, \vec{u}_x, \vec{u}_y)$ et en formulant l'égalité des vecteurs $(m\vec{a})$ et $(\sum_i \vec{F}_i)$ et donc l'égalité de leurs composantes, que :

$$m\ddot{x} = -\mu R_n - mg \sin\theta$$

$$0 = R_n - mg \cos\theta$$

Caractériser la nature du mouvement.

c. En déduire, durant la phase du mouvement où l'abscisse de la masse augmente, que :

$$v(t) = \dot{x}(t) = -g(\mu \cos\theta + \sin\theta) \cdot t + v_0$$

et en déduire l'expression de $x(t)$.

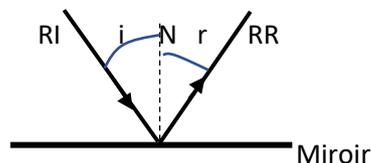
d. Dans le cas où le support est horizontal, montrer que la distance maximale parcourue par la masse est telle que $x_{max} = \frac{v_0^2}{2\mu g}$.

Vérifier l'homogénéité de la relation établie au e. et commenter le cas où $\mu \rightarrow 0$.

II. OPTIQUE GEOMETRIQUE :

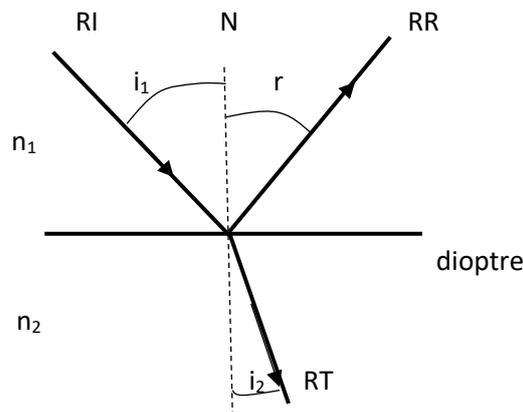
Quelques prérequis autour des lois de la réflexion/réfraction de la lumière de Snell-Descartes :

- **Miroir plan :**



Le rayon incident (RI) est totalement réfléchi par le miroir en traversant la normale N (perpendiculaire au plan du miroir). Le rayon réfléchi (RR) satisfait à $i = r$ tout en étant dans le plan d'incidence, plan défini par les directions données par le rayon incident RI et la normale N au miroir.

- **Dioptré plan**, à savoir l'interface séparant deux milieux transparents (et donc non absorbants) d'indices optiques n_1 et n_2 différents :



En général, on observe que le rayon incident (RI) tombant sur le dioptre donne lieu à un rayon réfléchi (RR) et un rayon transmis ou réfracté (RT) (tout en traversant la normale N au dioptre) situés dans le plan d'incidence défini par RI et N. Autrement-dit, les trois rayons se trouvent dans le plan d'incidence. La puissance de l'onde incidente est distribuée dans les ondes réfléchie et réfracté.

Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et réfraction :

$$i_1 = r$$

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (*)$$

On rappelle que l'indice optique n pour un milieu transparent est défini au travers du rapport $n = c / v$ où c est la célérité de la lumière dans le vide (soit $c \approx 3.10^8$ m/s) et v la célérité de la lumière dans le milieu transparent d'indice n .

Ayant que $v \leq c$, on aura que $n \geq 1$.

- Quel est l'indice du vide ?
- Pour l'air, on se contente souvent de poser $n \approx 1$.

1. Phénomène de réflexion totale :

a. Comparer l'angle i_2 à l'angle i_1 lorsque $n_2 > n_1$. On dit alors que le second milieu est plus réfringent que le premier.

b. De-même, comparer l'angle i_2 à l'angle i_1 lorsque $n_2 < n_1$. On dit que le second milieu est moins réfringent que le premier.

c. Dans le cas où $n_2 < n_1$, montrer que $\sin i_2$ dans la relation (*) risque de devenir supérieur à 1 pour un angle d'incidence i_1 supérieur à un angle critique i_{1c} que l'on formulera en fonction des indices optiques.

Il est clair qu'on ne peut avoir $\sin i_2 > 1$. Aussi, le rayon réfracté n'existe-t-il plus !

C'est le phénomène dit de réflexion totale où toute l'énergie véhiculée par le faisceau incident se retrouve finalement dans le faisceau réfléchi.

Déterminer i_{1c} dans le cas de l'interface verre/air sachant que $n_{\text{verre}} \approx 1.6$ et $n_{\text{air}} \approx 1$.

d. Effet de mirage : étude simplifiée

A proximité du sol chaud, par exemple dans un désert ou bien le bitume en été, l'indice optique de l'air est plus faible (car l'air y est alors moins dense) qu'en altitude.



En décomposant l'air en une succession de strates horizontales de faible épaisseur et d'indice optique uniforme, l'indice variant légèrement d'une strate à la suivante, interpréter, en faisant un schéma, l'effet de mirage, effet à travers lequel on croit voir de l'eau au loin dans le désert ou sur une route.

2. Phénomène de dispersion de la lumière :

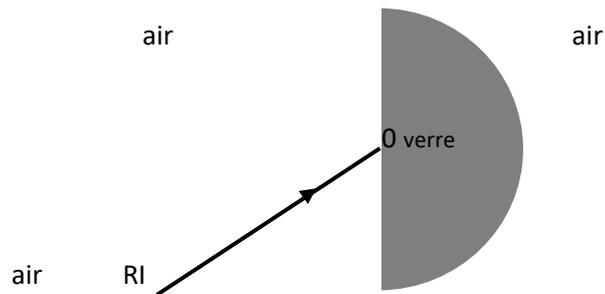
Tracer les rayons successivement réfractés par les dioptres air-verre puis verre-air sur le schéma ci-dessous. Peut-il y avoir une réflexion totale ?

Qu'en déduire sachant qu'un rayon « bleu » est davantage dévié en sortie du disque en verre qu'un rayon « rouge » ? Que verrait-on en sortie en envoyant de la lumière blanche en entrée ?

Comment appelle-t-on ce phénomène ? Où le rencontre-t-on encore, même au quotidien ?

Quelles applications peut-on en faire ?

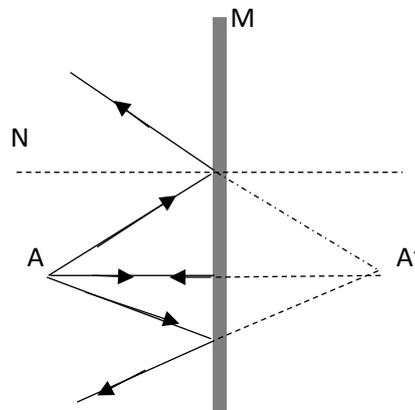
On assimilera l'indice de l'air à celui du vide.



3. Formation des images :

Quelques prérequis :

- Image à travers un miroir M plan :



La source ponctuelle de lumière A envoie un faisceau de lumière en direction du miroir. On constate que tous les rayons réfléchis par M, en les prolongeant en pointillés, semblent provenir de A', symétrique de A par rapport au plan du miroir.

En effet, en se regardant dans un miroir plan, l'image de soi est bien nette (car l'image d'un point objet A est aussi un point image A' et non un ensemble de points allant jusqu'à former une tâche → on dit qu'il y a stigmatisme rigoureux car tout rayon issu de l'objet passe (ici dans son prolongement) par l'image A') et de l'autre côté du miroir.

On ne peut recueillir cette image sur un écran. En effet, les rayons ne passent pas réellement par A' mais uniquement leur prolongement en pointillés. On dit alors que l'image A' est virtuelle.

- **Construction de quelques rayons traversant une lentille mince convergente (L) (qui est de symétrie de révolution autour de l'axe optique) :**

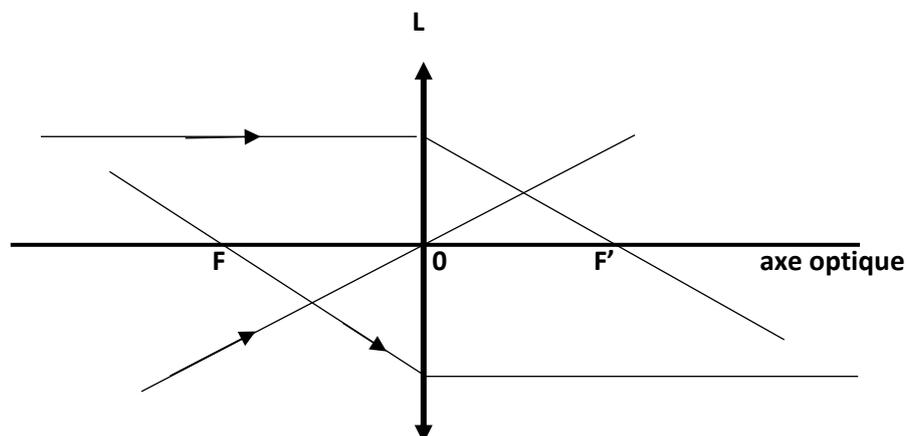
En se plaçant dans les conditions dites de Gauss, on ne considère que des rayons faiblement inclinés par rapport à l'axe optique et proche de l'axe optique (rayons paraxiaux). On a alors que :

Un rayon qui passe par F (foyer objet de L) sort parallèlement à l'axe optique.

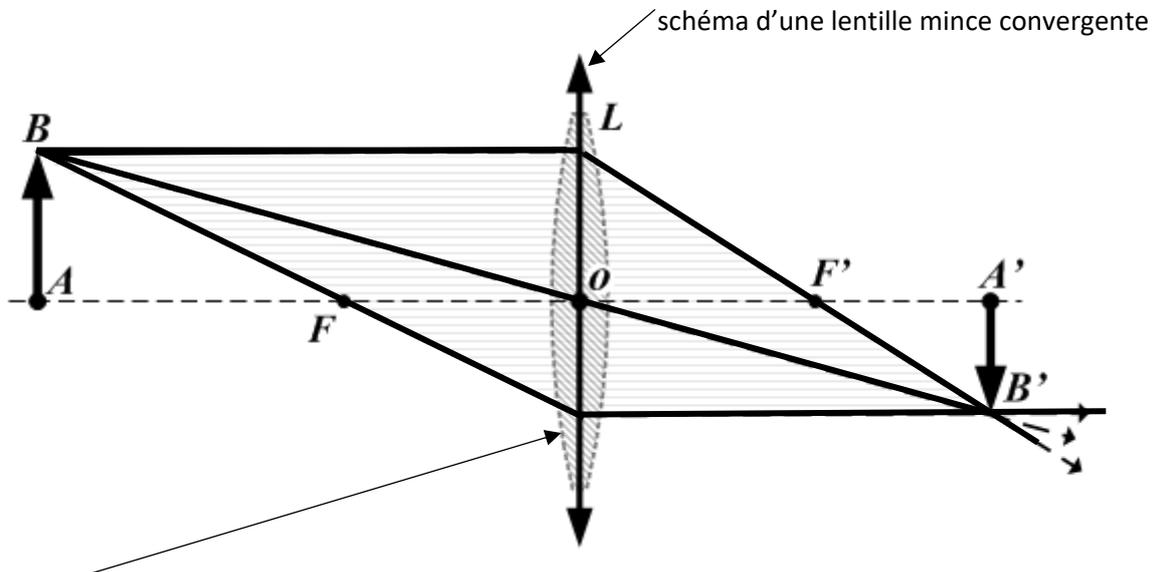
Un rayon qui arrive parallèlement à l'axe optique émerge en passant par F' (foyer image de L).

On a que les distances OF et OF' sont identiques.

Un rayon passant par le centre O de la lentille n'est pas dévié.



Exemple de construction de l'image d'un objet réel (cet objet est éclairé et devient une source secondaire de lumière), objet que l'on place devant la lentille, à travers la lentille convergente :



La lentille mince peut être taillée dans du verre et présente ainsi deux dioptries. Lorsque les bords sont minces, la lentille est convergente (par opposition à une lentille divergente à bords épais).

D'autres rayons, passant par exemple par B (ou A) et respectant les conditions de Gauss, émergeront également de la lentille en passant par B' (ou A'). Si les conditions de Gauss ne sont plus respectées, l'image d'un point n'est plus un point mais une tâche. Le stigmatisme n'est plus rigoureux.

- Caractériser la nature de l'image A'B' (est-elle réelle/virtuelle, droite/renversée, agrandie ?)

S'inspirer de la construction précédente pour situer et caractériser l'image d'un objet réel lorsque :

- AB est en F

- AB est compris entre F et O.

- AB est un objet situé à très grande distance (par exemple deux étoiles, assimilées à deux sources ponctuelles, que l'on voit sous un angle α)

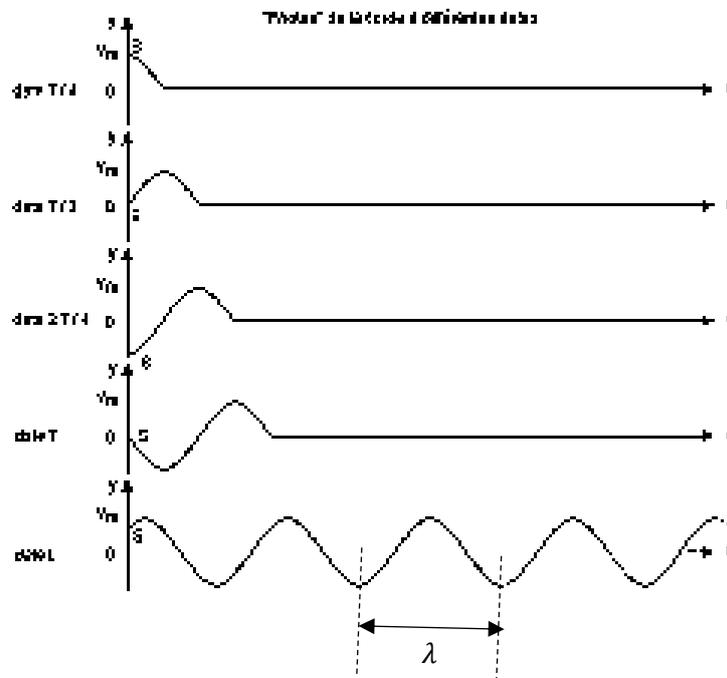
III. ONDES /SIGNALS :

Quelques prérequis :

Longueur d'onde, période et célérité :

En agitant l'extrémité gauche d'une corde tendue, on observe que le mouvement imprimé à cette extrémité se propage en aval de la corde (à condition qu'il n'y ait pas d'atténuation suite à une perte en énergie liée par exemple à des frottements entre la corde vibrante et l'air autour...) à une certaine vitesse ou célérité c (en m/s) et se retrouve en un point en aval d'abscisse x au bout d'une durée $\tau = x/c$ (figures ci-dessous). On a ainsi produit une onde qui, dans cet exemple, se propage le long de la corde. Ce n'est pas la corde qui se propage (en effet, tout point de la corde vibre ici perpendiculairement au sens de propagation (selon l'axe Ox) de l'onde) mais un état de la corde (une crête par exemple).

En conséquence, si le mouvement en $x = 0$ est sinusoïdal, de période T , on observera que, au bout d'une durée T , les points de coordonnées $x = 0$ et $x = c.T$ auront exactement le même mouvement au cours du temps (figure 4).



Si l'on excite suffisamment longtemps l'extrémité gauche, on aura que deux points distants de $c.T = \lambda$ vibreront en phase (figure 5 illustrant l'état de la corde au bout d'une durée supérieure à $4T$).

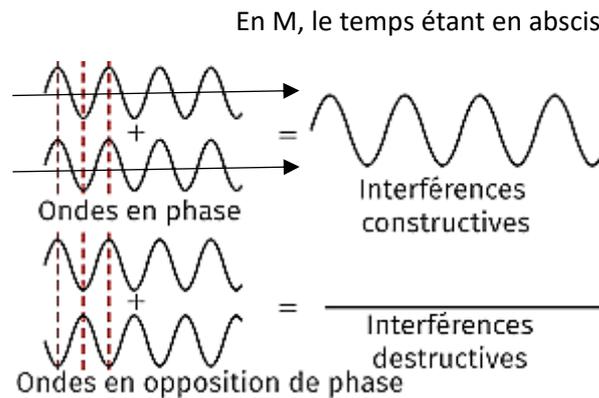
Ici, la grandeur notée λ (en mètre) est appelée longueur d'onde (qui correspond à une période spatiale).

On pourra retenir que $c.T = \lambda$ ou $c = \lambda \nu$ où $\nu(Hz) = \frac{1}{T}$ est la fréquence de l'onde.

Interférences entre deux ondes sinusoïdales issues de deux sources de mêmes amplitudes vibratoires (A) et mêmes fréquences :

En superposant deux ondes de mêmes fréquences, mêmes amplitudes, il arrive que, selon le point M où ces ondes se rencontrent ou interfèrent, la crête de l'une coïncide avec le creux de l'autre au même instant en M. Les deux ondes en M sont alors en opposition de phase. Dans ce cas, l'onde résultante sera nulle et M ne vibre pas au cours du temps. L'état d'interférence est qualifié de destructif.

Si, au contraire, les deux ondes en M vibrent en phase, alors la crête de l'une rencontre celle de l'autre au même instant en M (et donc le creux de l'une sera en regard du creux de l'autre à un autre instant). Le point M vibrera au cours du temps avec une amplitude maximum $2A$. Les interférences sont qualifiées de constructives.



1. Fréquences dans le domaine du visible :

Les longueurs d'onde du spectre visible s'étendent typiquement entre 400nm et 800nm. Sachant que la célérité de la lumière dans le vide est d'environ $3 \cdot 10^8$ m/s, estimer l'ordre de grandeur des fréquences dans le domaine visible.

2. Célérité du son dans l'air :

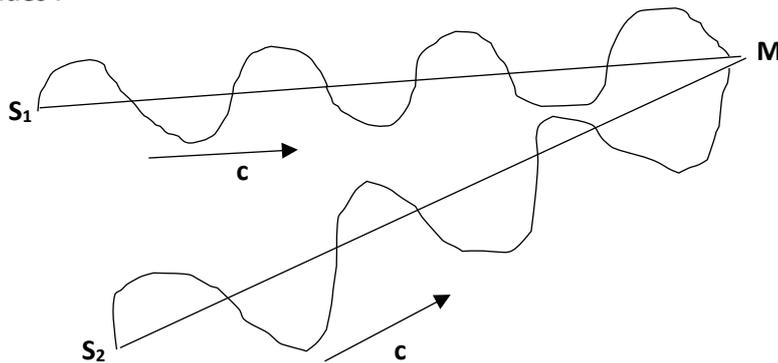
En utilisant un haut-parleur (l'émetteur) alimenté en tension alternative sinusoïdale (tension observable à l'oscilloscope) de fréquence ν et deux micros (récepteurs alignés avec le haut-parleur) on constate que les signaux délivrés par les micros (tensions observables à l'oscilloscope) au cours du temps sont à nouveau en phase lorsque l'on recule le second micro d'une distance D.

Interpréter.

Sachant que $\nu = 1000\text{Hz}$ et $D = 33\text{cm}$, estimer la célérité du son dans l'air.

Peut-on retrouver le résultat précédent en se servant uniquement d'un seul récepteur ?

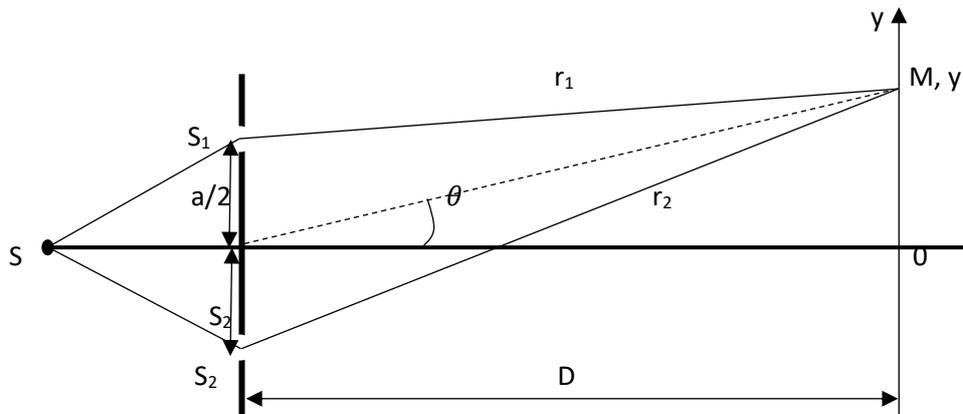
3. Interférences entre deux sources S_1 et S_2 de mêmes fréquences, vibrant en phase et de mêmes amplitudes :



- Où voit-on que les deux sources vibrent en phase avec la même amplitude ?
- Que penser de l'état d'interférences en M sur le schéma ci-dessus ?
- Justifier simplement que les interférences en M sont constructives si p est entier relatif (-2 ou 3 etc...) et destructives si p est demi-entier (-3/2 ou 5/2 etc...) avec p tel que $r_2 - r_1 = p\lambda$ où $r_2 = S_2M$ (distance entre S_2 et M) et $r_1 = S_1M$. On appelle $r_2 - r_1$ la différence de marche.
- Décrire l'état d'interférences en M si les sources vibrent en opposition de phase.

Mesure de longueur d'onde dans le spectre visible ; expérience des trous d'Young

En optique, les deux sources précédentes s'obtiennent en éclairant, à l'aide d'une source de lumière S , deux trous S_1 et S_2 percés dans un écran opaque distants de a et de petits diamètres (afin de bien diffracter la lumière qui leur arrive). La source de lumière S est choisie ponctuelle (il suffit de diaphragmer une source étendue) et quasi-monochromatique (source laser par exemple ou raie verte de la lampe à mercure recueillie à l'aide d'un prisme).



On se place dans les conditions telles que $D \gg (a, |y|)$ si bien que les droites S_2M et S_1M sont quasi-parallèles. Enfin, il apparaît qu'alors $\theta \ll 1$ puisque $|y| \ll D$.

- Pourquoi les sources secondaires S_1 et S_2 ont-elles même fréquence, vibrent-elles en phase et présentent la même amplitude vibratoire ?

- Montrer que le point en $y = 0$ est brillant.

- Montrer que $r_2 - r_1 \approx a \sin \theta \approx ay/D$ (on rappelle que, si $\theta \ll 1$, $\sin \theta \approx \tan \theta$)

(on pourra tracer un cercle de centre M de rayon r_1 , qui passe en S_1 et dont l'intersection avec la droite S_2M est en H ; vérifier alors que $r_2 - r_1 = S_2H$ puis travailler dans le triangle S_1S_2H rectangle en H)

- Sachant que $r_2 - r_1 = p\lambda \approx ay/D$,

déduire que le point brillant suivant sur l'écran se trouve en $y = \lambda D/a$.

- Que penser du point situé en $y = \frac{\lambda D}{2a}$? Peut-on, à l'aide des observations précédentes, mesurer une longueur d'onde dans le spectre visible ?

IV. ELECTRICITE :

Quelques prérequis :

Intensité i_{AB} du courant électrique dans une branche de circuit :

Pendant une durée infinitésimale dt (différence entre deux instants infiniment proches), on observe, tout en comptant dans le sens de A vers B, qu'une quantité de charge δq_{AB} infinitésimale (en coulombs, C) traverse une section droite de la branche du circuit.

On définit alors l'intensité du courant i_{AB} , compté de A vers B, au travers du débit en charges électriques tel que :

$$i_{AB} = \frac{\delta q_{AB}}{dt} \quad (\text{unité: } C \cdot s^{-1} \text{ ou Ampère } A)$$

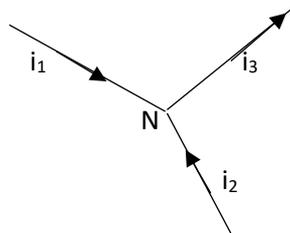
On a que $i_{AB} = -i_{BA}$; en effet, dire qu'il y a 10coulombs qui migrent de A vers B durant 1 seconde revient à dire qu'il y a -10coulombs qui migrent de B vers A durant 1s. On a donc que l'intensité du courant est une grandeur algébrique, au sens qu'elle peut être positive ou bien négative. Tout dépend du sens de comptage.

Remarque : ayant que $\delta q_{AB} = i_{AB}(t) \cdot dt$, on aura, sur une durée d'observation T et en comptant à partir de l'instant t_0 , $q_{AB} = \int_{t_0}^{t_0+T} i_{AB}(t) \cdot dt$

Si $i_{AB}(t)$ est indépendant du temps, soit à poser $i_{AB}(t) = i_{AB} = \text{constante}$, on aura que $q_{AB} = i_{AB} \cdot T$ est la quantité de charge débitée durant T et comptée de A vers B.

Loi des nœuds :

La somme des intensités arrivant en un nœud (N) (il y a au minimum trois courants qui convergent en un nœud) d'un circuit est nulle :



$$i_1 + i_2 + (-i_3) = 0 \quad (-i_3 \text{ pointe bien vers le noeud } N).$$

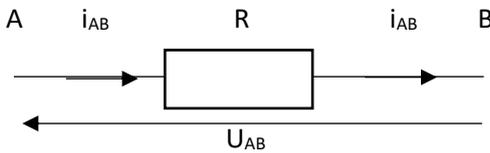
Il faut y comprendre que le débit entrant en charges, donc $i_1 + i_2$, est égal au débit sortant i_3 et qu'il n'y a donc pas d'accumulation en charges en N.

Tension électrique et loi des mailles :

On note U_{AB} la tension (en volts V) aux bornes d'un dipôle (lequel peut être un générateur, une résistance, un condensateur etc...). On a que $U_{BA} = - U_{AB}$, la tension étant également une grandeur algébrique.

La tension est fléchée sur un schéma électrique :

Par exemple, aux bornes d'une résistance R (unité : Ohm, Ω), on a que :



Si R est remplacée par un fil (symbole —————), alors $U_{AB} = 0V$ (car la tension aux bornes d'un fil est négligeable devant les autres tensions en présence)

Dans une branche de circuit, et donc exempte de nœud, telle AB dans l'exemple ci-dessus, on a que i_{AB} y est uniforme (identique en tout point de la branche) (exception faite d'une branche contenant un condensateur...).

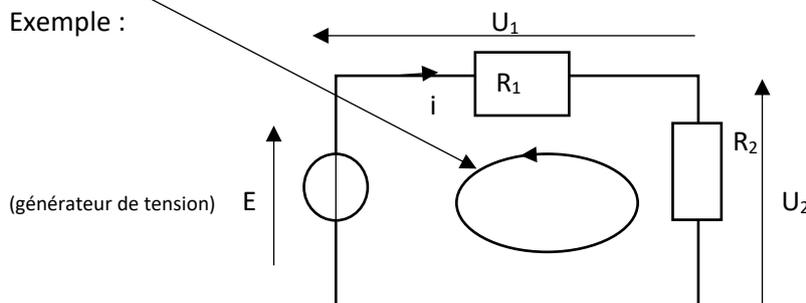
Pour une résistance telle que ci-dessus, et en fléchant l'intensité du courant en sens inverse de la tension (on dit qu'on est en convention récepteur), on a pour loi de fonctionnement (la loi d'Ohm) :

$$U_{AB} = R \cdot i_{AB}$$

Loi des mailles :

Dans une maille d'un circuit, autrement-dit un contour, la somme des tensions fléchées dans le sens de parcours du contour est nulle.

Exemple :

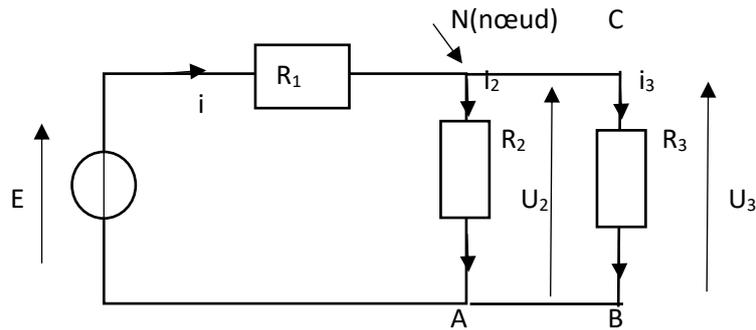


On aura, conformément à la loi des mailles, que $U_2 + U_1 + (-E) = 0$ car $(-E)$ flèche bien dans le sens du parcours de la maille. On peut aussi y voir une sorte de somme de « vecteurs » (certes, la tension n'est pas un vecteur, mais un scalaire) où $E = U_2 + U_1$.

Dans l'exemple précédent,

1. Montrer, en usant des informations précédentes, que $i = \frac{E}{R_1 + R_2}$
 2. En déduire que $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$ et justifier l'appellation « pont diviseur de tension ».
 3. On remplace à présent la résistance R_2 par un interrupteur ouvert dans le circuit ci-dessus. Faire un schéma du circuit et en déduire que $U_2 = E$.
- Quelle opération cela revient-il à faire dans la formule $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$?

On rajoute à présent une troisième résistance R_3 en dérivation (ou en parallèle) avec R_2 (schéma ci-dessous) :



4. Montrer que, dans la maille ABCN, on a $U_3 = U_2$.
5. En déduire, en usant de la loi des nœuds en N , que $i_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} i$ (on a ici un pont diviseur de courant). Commenter ce résultat si l'on remplace R_2 par un interrupteur ouvert ou bien si $R_2 \gg R_3$.
6. Que penser de i_3 si l'on remplace R_2 par un fil ?
7. Dans le cas où $R_3 = R_2 = R$, établir que $U_3 = \frac{\frac{R}{2}}{\frac{R}{2} + R_1} \cdot E$