Chapitre 1

Généralités (Rappel mathématique)

Introduction :

Le mot *physique est un mot grec* « physis » qui signifie NATURE. Donc la physique est l'étude des phénomènes naturels. Posons-nous une question : qu'est-ce que ça veut dire « un phénomène naturel ? » La réponse est claire; sont les phénomènes qui se font d'une façon spontanée. Les propriétés essentielles de tels phénomènes c'est que ; sont des phénomènes universels et éternels. Ils se répètent le long de l'histoire. Exemple : tous les corps (massiques <> des gaz) tombent sur terre. Le feu brûle les feuilles.

Mais ; est ce que tous les phénomènes naturels rentrent dans le cadre de la science Physique : la réponse c'est tout à fait évidente c'est « non ». Exemple : l'amour, la haine, la tristesse, …sont des phénomènes naturels mais ne peuvent pas être étudiés physiquement (par les lois physiques). Posons-nous une autre question : quels types de phénomènes naturels qui sont étudiables par la physique. La réponse : sont les phénomènes observables (mesurables). En d'autres termes : sont les phénomènes décrits par des grandeurs ayant des unités de mesure. Exemple : la masse volumique, l'énergie, la force, la puissance, …sont des grandeurs physiques puisqu'ils ont des unités de mesure. Par ailleurs, la densité est une grandeur sans unité !! Mais c'est un rapport entre deux masses volumiques (donc il est d'origine physique). Le grand problème c'est que quelques sciences utilisent des unités de mesure propre à la décipline elle-même. Par exemple, l'informatique est une discipline qui possède des unités de mesure de l'information tels que : « byte, pixel, … » mais l'informatique ne peut être considérée « comme science physique).

Donc encore la question se repose une autre fois ➔ Qu'est ce qui ce que la physique ?

Enfin, la physique est l'étude de la matière et de l'énergie.

Cette dernière définition « l'étude de la matière et de l'énergie » reste trop vaste puisque « toutes les choses qui nous entourent sont de la matière et tout évènement dedans requiert de l'énergie).

En outre, la physique comme toute discipline ; suit des traditions fondées par des savants traçant les directives et les démarchent à suivre pour une telle étude. La physique commence par des modèles conduisant à des lois mathématiques qui reflètent un phénomène naturel (loi physique). Ces lois doivent être confrontées avec la réalité (doivent être comparées avec l’expérience et validées). Feynman dit : « toute théorie n’est pas susceptible à être vérifiée expérimentalement ne peut rentrer dans la physique »

« *La physique est la science qui essaie de comprendre, de modéliser, voire d'expliquer les phénomènes naturels de l'univers. Elle correspond à l'étude du monde qui nous entoure sous toutes ses formes, des lois de sa variation et de son évolution. La physique développe des représentations du monde expérimentalement vérifiables dans un domaine de définition donné. Elle produit donc plusieurs lectures du monde, chacune n'étant considérée comme précise que jusqu'à un certain point. La modélisation des systèmes physiques peut inclure ou non les processus chimiques et biologiques* » [1].

I. LES UNITES DE MESURES

"L'homme est la mesure de toutes choses" - Protagoras (sophiste grec, 485-411 *av. JC*)

I.1. Histoire de la mesure :

« Jusqu'au XVIIIème siècle il n'existait aucun système de mesure unifié. Malgré les tentatives de Charlemagne et de nombreux rois après lui, visant à réduire le nombre de mesures existantes, la France comptait parmi les pays les plus inventifs et les plus chaotiques dans ce domaine. En 1795, il existait en France plus de sept cents unités de mesure différentes.

Nombre d'entre elles étaient empruntées à la morphologie humaine. Leur nom en conservait fréquemment le souvenir : le doigt, la palme, le pied, la coudée, le pas, la brasse, ou encore la toise, dont le nom latin tensa - de brachia - désigne l'étendue des bras. Ces unités de mesures n'étaient pas fixes : elles variaient d'une ville à l'autre, d'une corporation à l'autre, mais aussi selon la nature de l'objet mesuré. Ainsi, par exemple, la superficie des planchers s'exprimait en pieds carrés et celle des tapis en aunes carrées.

Les mesures de volume et celles de longueur n'avaient aucun lien entre elles. Pour chaque unité de mesure les multiples et sous multiples s'échelonnaient de façon aléatoire, ce qui rendait tout calcul extrêmement laborieux. Pour comprendre les difficultés qu'entraînaient de tels systèmes, il convient de considérer le mode actuel de la mesure du temps, survivance de l'ancien système de subdivisions. Dans ce système, tout calcul implique une conversion préalable.

Source d'erreurs et de fraudes lors des transactions commerciales, cette situation portait aussi préjudice au développement des sciences. A mesure que l'industrie et le commerce *prenaient de l'ampleur, la nécessité d'une harmonisation se faisait de plus en plus pressante»* [2]

Les unités de base du Système international sont les sept unités de mesure indépendantes (ou unités fondamentales) du Système international à partir desquelles sont obtenues par analyse dimensionnelle toutes les autres unités, dites unités dérivées.

Ces unités sont supposées indépendantes dans la mesure où elles permettent de mesurer des grandeurs physiques indépendantes. Cependant, la définition d'une unité peut faire appel à celle d'autres unités.

Les définitions des unités de base du Système international utilisent des phénomènes physiques reproductibles.

Grandeur physique	**Symbol de la dimension**	**Nom de l'unité**	**Symbol de l'unité**
Longueur	L	mètre	m
masse	m	Kilo gramme	kg
Temps	t	seconde	s
Courant électrique	I	Ampère	A
Température	T	Kelvin	K
Quantité de matière	n	Mole	mol
Intensité lumineuse	J	candela	cd

Plus deux autres grandeurs supplémentaires :

Grandeur physique	**Symbol de la dimension**	**Nom de l'unité**	**Symbol de l'unité**
Angle plan	α ou θ ou φ …etc	radian	rd
Angle solide	Ω	stéradian	sr

I.2. LES UNITES DERIVEES

« Une unité dérivée est une unité de mesure qui combine plusieurs unités fondamentales (sous la forme d'un produit de puissances de plusieurs de ces unités de base). On peut l'exprimer à l'aide des unités de base ou bien par un nom et un symbole propres » [3].

La partie suivante peut être trouvée dans la référence [4]

« Par souci de commodité, certaines unités dérivées ont reçu un nom spécial et un symbole particulier. Ces noms et symboles peuvent eux-mêmes être utilisés pour exprimer d'autres unités dérivées. Les noms spéciaux et les symboles particuliers permettent d'exprimer, sous une forme condensée, des unités fréquemment utilisées.

Le tableau suivant donne des unités dérivées fréquemment utilisées en physique et qui ont un nom spécifique :

Grandeur dérivée	Unité	SI
Fréquence	Hertz (Hz)	S^{-1}
Force	Newton (N)	$m.Kg.S^{-2}$
Pression	Pascal (Pa (=$N.m^{-2}$))	$m^{-1}.Kg.S^{-2}$
Différence de potentiel électrique	Volt (V (=$W.A^{-1}$))	$m^{2}.kg.S^{-3}.A^{-1}$

Enfin voici quelques exemples d'unités dérivées mais qui n'ont pas reçu de nom spécifique :

Grandeur dérivée	Unité	SI
Viscosité	Pascal. Seconde (Pa.S)	$m^{-1}.Kg.S^{-1}$
Tension superficielle	Newton par mètre (N/m)	$Kg.S^{-2}$
Champ électrique	Volt par mètre (V/m)	$m.Kg.S^{-3}.A^{-1}$

Enfin il existe aussi des unités en dehors du SI dont la valeur en unité SI est obtenue expérimentalement comme par exemple :

Nom	Symbole	Valeur en unités SI
Electronvolt	eV	1 eV = 1,06021773349.10-19 J
Unité de masse atomique	u	1 u = 1,660540210.10-27 Kg
Unité astronomique	ua	1 ua = 1,4959787069130.1011 m

Pour en finir avec les conventions, des préfixes des multiples et sous-multiples décimaux des unités SI ont été définis :

Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Facteur
10^{24}	Yotta	Y	10^{-1}	Déci	d
10^{21}	Zetta	Z	10^{-2}	Centi	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Milli	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Micro	µ
10^{12}	Téra	T	10^{-9}	Nano	n
10^{9}	Giga	G	10^{-12}	Pico	p
10^{6}	Méga	M	10^{-15}	Femto	f
10^{3}	Kilo	K	10^{-18}	Atto	a
10^{2}	Hécto	h	10^{-21}	Zepto	z
10^{1}	Déca	da	10^{-24}	yocto	y

» [4]

Analyse dimensionnelle

Dans la réalité, n'importe quelle grandeur ne peut sortir des unités fondamentales (kg, m, s, A, …). L'unité d'une telle grandeur peut être écrite sous la forme d'un produit de puissance de ces unités fondamentales.

Si on désigne par G une telle grandeur et si on désigne par [G] son unité de mesure alors :

$$[G] = m^{n1} s^{n2} kg^{n3} A^{n4} mol^{n5} K^{n6} cd^{n7} \qquad (1)$$

Avec n1, n2,….,n7 des nombres entier (positif ou négatif ou nul

Donc toute grandeur n'est pas écrite sous la forme de (1) ne peut rentrer dans le SI

Exemples :

1. Le volume d'une sphère de rayon r, $V=4/3.\pi.r^3$ si on effectue une analyse dimensionnelle dans le système international on obtient ce qui suit :

$V=4/3.\pi.r^3 \Rightarrow [V]=[4\pi/3].[r]^3$

Puisque l'unité d'un nombre est 1 (n1=n2=,…=n7=0) et r est en mètre donc $[V]=m^3$

2. Le litre est-il une unité du système internationale ?

Réponse : $1l=10^{-3}m^3$ il y'a un facteur de 10^{-3} qui est différent de 1 donc on ne peut l'écrire sous la forme des produit en puissance des unités fondamentales (1) donc le litre n'appartient pas au SI.

Homogénéité d'un résultat

« Par souci de clarté, on doit conduire tous les calculs sous forme littérale en conservant les symboles des différentes grandeurs physiques. On ne réalise d'application numérique que lorsque le calcul littéral est terminé. Ceci permet de juger l'homogénéité d'une formule.

Il faut en effet se rappeler le principe suivant :

Tout résultat non homogène est nécessairement faux

Par contre, un résultat homogène n'est pas forcément le bon.

Règles d'homogénéité

 On ne peut additionner que des termes homogènes ;

 L'argument d'une fonction mathématique transcendante (exp, ln, cos, sin, tan. . .) est nécessairement sans dimension ;

 On doit éviter de remplacer le symbole d'une grandeur par sa valeur numérique ;

 Un vecteur ne peut être ajouté qu'à un vecteur et non à un scalaire »[4]

II. LES ERREURS DE MESURE

Cette partie peut être trouvée intégralement dans le site web la référence [5] :

II.1 Introduction

Les seules mesures dont la valeur est parfaitement connue sont les grandeurs étalons puisque leur valeur est fixée par convention. La valeur de toute autre mesure ne peut être connue qu'après traitement par une chaîne de mesure. L'écart entre la valeur mesurée et la valeur exacte est l'erreur de mesure. L'erreur de mesure ne peut être donc qu'estimée, cependant une conception rigoureuse de la chaîne de mesure et du choix des instruments de mesure permet de réduire l'erreur de mesure et donc l'incertitude sur la valeur vraie.

II.2 Nature des erreurs

II.2.1 Les erreurs systématiques

Ce sont des erreurs reproductibles reliées à leur cause par une loi physique, donc succeptible d'être éliminées par des corrections convenables. Parmi ces erreurs, on cite :

- Erreur de zéro (offset),

- L'erreur d'échelle (gain) : c'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée,

- L'erreur de linéarité : la caractéristique n'est pas une droite,

- L'erreur due au phénomène d'hystérésis : lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente,

- L'erreur de mobilité : cette erreur est souvent due à une numérisation du signal.

II. 2.2 Les erreurs aléatoires

Ce sont des erreurs non reproductibles, qui obéissent à des lois statistiques.

II. 2.3 Les erreurs accidentelles

Elles résultent d'une fausse manœuvre, d'un mauvais emploi ou de disfonctionnement de l'appareil. Elles ne sont généralement pas prises en compte dans la détermination de la mesure.

II. 3. Caractéristiques des instruments de mesure

II.3.1 Gamme de mesure- étendue de mesure

La gamme de mesure, c'est l'ensemble des valeurs du mesurande pour les quelles un instrument de mesure est supposé fournir une mesure correcte.

L'étendue de mesure correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure.

Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée pleine échelle.

II.3.2 Courbe d'étalonnage

Elle est propre à chaque appareil. Elle permet de transformer la mesure brute en mesure corrigée. Elle est obtenue en soumettant l'instrument à une valeur vraie de la grandeur à mesurer, fournie par un appareil étalon, et en lisant avec précision la mesure brute qu'il donne.

II.3.3 Classe de précision

La classe de précision est donnée par le constructeur, elle exprime l'imperfection des appareils de mesure.

La classe de précision d'un appareil de mesure correspond à la valeur en % du rapport entre la plus grande erreur possible sur l'étendue de mesure :

$$classe\,(\%) = 100.\frac{plus\ grande\ erreur\ possible}{étendue\ de\ mesure}.$$

Lorsque l'appareil de mesure est un appareil numérique, on définit la résolution par la formule suivante :

$$\boxed{résolution = \frac{étendue\ de\ mesure}{nombre\ de\ points\ de\ la\ mesure}}$$

II.3.4 Rapidité, temps de réponse

C'est l'aptitude d'un instrument de mesure à suivre les variations de la grandeur à mesurer. Dans le cas d'un échelon de la grandeur entraînant la croissance de la mesure, on définit le temps de réponse a 10% : c'est le temps nécessaire pour que la mesure croisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à rester entre 90 % et 110 % de la variation totale.

II.3.5 Bande passante

La bande passante est de la bande de fréquence pour laquelle le gain de l'instrument de mesure est compris entre deux valeurs.

Par convention, le signal continu a une fréquence nulle.

II.3.6 Grandeur d'influence et compensation

On appelle grandeur d'influence, toutes les grandeurs physiques autres que la grandeur à mesurer, susceptibles de perturber la mesure. Généralement, la température est la grandeur d'influence qui le plus souvent rencontré.

II.4 Les incertitudes de mesures

On appelle incertitude de mesure DX, la limite supérieure de la valeur absolue l'écart entre la valeur mesurée et la valeur exacte de la mesure. En pratique, on ne peut qu'estimer cette incertitude. On distingue deux types d'incertitudes : **incertitude absolue DX**, qui s'exprime en même unité que la grandeur mesurée et **l'incertitude relative** $\frac{\Delta X}{X}$ qui s'exprime généralement en pourcentage (%).

II.4.1 Incertitude absolue instrumentale

L'incertitude instrumentale est l'incertitude due à l'appareil de mesure. Elle est fonction de la précision de l'appareil et elle est présentée de la manière suivante :

D (Symbole de la grandeur mesurée**), exemple : DU, DI, DP, DR** ou d'une manière générale **DX** avec X : symbole de la grandeur mesurée.

Cette incertitude instrumentale est donnée par les expressions suivantes :

$$\Delta X_{inst} = \frac{classe.calibre}{100}$$ pour un appareil à déviation

Pour les appareils à affichage numérique, les constructeurs fournissent une indication qui nous permet de calculer l'incertitude totale sur la mesure.

L'incertitude est très souvent donnée de la manière suivante :

$\boxed{\Delta X = y\% + z.unités}$

Avec :

- y% représente un premier terme proportionnelle à la lecture X.

y%= classe (%) * lecture ou bien $\boxed{y = \frac{Classe}{100}.lecture}$

- z est donné par le constructeur, il est défini comme étant le rapport entre le calibre utilisé et le nombre de point de l'appareil multiplié par la résolution de l'appareil.

$$\boxed{z = \frac{Calibre\ de\ de\ l'appareil}{nombre\ de\ points} * unité\ de\ résolution}$$

Remarque : Pour les appareils à déviation, il n'est pas tenu de calculer l'incertitude sur la lecture, car d'après la norme NFC 42100, cette incertitude est déjà prise en considération dans la classe de précision de l'appareil.

II. 4.2 Incertitude absolue de la méthode

Cette incertitude sera calculer lorsqu'il y a plus qu'une manière de branchement des appareils de mesure. Cette incertitude est notée ΔX_{meth}.

II. 4.3 Incertitude absolue totale

C'est la somme de l'incertitude instrumentale avec celle de méthode. Cette incertitude est notée $\Delta X_{tot} = \Delta X_{inst} + \Delta X_{meth}$.

II. 5 Calcul de l'incertitude absolue instrumentale sur un résultat de mesure

La grandeur mesurée s'obtient par la mesure de deux ou plusieurs grandeurs

II. 5.1 Règles de calcul générales

Supposons que des mesures ont donné des valeurs x, y et z avec des incertitudes absolues instrumentales DX, DY et DZ. Considérons la fonction f(x, y, z) dont on veut calculer DF.

1ère étape : on exprime la différentielle

$$df = \frac{\partial f}{\partial x}.dx + \frac{\partial f}{\partial y}.dy + \frac{\partial f}{\partial z}.dz$$

2ème étape : on calcule DF, en faisant une majoration de df :

$$\Delta f = \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right|.\Delta x + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|.\Delta y + \left|\frac{\partial f}{\partial z}\right|.\Delta z$$

Lorsque la fonction f se présente sous forme d'un produit ou d'un quotient, on est conduit à des calculs un peu plus simples en utilisant la différentielle logarithmique.

Exemple : $f(x,y) = \frac{x+y}{xy}$

1ère étape : on exprime la différentielle

$$df = \frac{\partial f}{\partial x}.dx + \frac{\partial f}{\partial y}.dy$$

$$= \frac{y^2}{(x+y)^2}.dx + \frac{x^2}{(x+y)^2}.dy$$

2ème étape : on calcule Df

$$\Delta f = \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right|.\Delta x + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|.\Delta y$$

$$= \frac{y^2}{(x+y)^2}.\Delta x + \frac{x^2}{(x+y)^2}.\Delta y$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{y}{(x+y)}.\frac{\Delta x}{x} + \frac{x}{(x+y)}.\frac{\Delta y}{y}$$

II. 5.2 Règles de calcul particulières

$$*Somme : f(x,y) = x+y \Rightarrow df = dx+dy \Rightarrow \Delta f = \Delta x + \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x+y}$$

$$*Différence : f(x,y) = x-y \Rightarrow df = dx-dy \Rightarrow \Delta f = \Delta x + \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x-y}$$

$$*\mathrm{Pr}oduit : f(x,y) = x.y \Rightarrow df = y.dx + x.dy \Rightarrow \Delta f = y.\Delta x + x.\Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

$$*Quotient:\ f(x,y)=\frac{x}{y}\Rightarrow df=\frac{1}{y}.dx+\frac{-x}{y^2}dy\Rightarrow\Delta f=\frac{1}{y}.\Delta x+\frac{x}{y^2}\Delta y\Rightarrow\frac{\Delta f}{f}=\frac{\Delta x}{x}+\frac{\Delta y}{y}$$

Conclusion :

Dans le cas d'une somme ou une différence, les incertitudes absolues s'ajoutent.

Dans le cas d'un produit ou d'un quotient les incertitudes relatives s'ajoutent.

II. 6 Présentation d'un résultat de mesure et chiffres significatives

II. 6.1 Chiffres significatifs

Les chiffres qui veulent vraiment dire quelques choses sont dits significatifs, se sont eux qui servent à écrire un nombre, au-delà de ces chiffres, la précision qu'apporterait d'autres chiffres serait illusoire.

On rappelle que tous les zéros à gauche d'un nombre ne sont pas significatifs, par contre les zéros à droite d'un nombre sont significatifs.

II. 6.2 Présentation d'un résultat de mesure

On peut écrire un résultat de mesure de deux manières différentes, en utilisant l'incertitude absolue ou l'incertitude relative, tout en respectant le nombre de chiffres significatifs.

$$X=(X_{mes}\pm\Delta X_{tot})\,unit\acute{e}\ demesure$$

$$X=(X_{mes}(unit\acute{e}\ demesure)\pm\frac{\Delta X_{tot}}{X}(\%))$$

II. 7 Conclusion

En général, un résultat de mesure donné avec 3 chiffres significatifs suffit pour les mesures ordinaires en électricité.

Il est conseiller d'effectuer les calculs intermédiaires avec un nombre de chiffres significatifs plus élevé pour éviter les arrondis de calcul , par contre, il faut arrondir le résultat final au même nombre de chiffres significatifs que celui adopté lors de la mesure initiale.

Une incertitude est donnée avec au plus deux chiffres significatifs et n'est jamais écrite avec une précision plus grande que le résultat » [5].

REFERENCE :

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Physique, 15.03.2020 à 16 :00

[2] https://metrologie-francaise.lne.fr/fr/metrologie/histoire-des-unites 15.03.2020 à 16 :00

[3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Unité_dérivée 15.03.2020 à 16 :00

[4] A. Aksas (SNV, université de Bejaia) ce document peut être téléchargé à partir :

https://www.google.com/search?q=A.Aksas+physique&oq=A.Aksas+physique&aqs=chrome.

.69i57.10319j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8

[5] https://www.technologuepro.com/mesure/chapitre-3-les-erreurs-de-mesure.htm

Université Bordj Bou Arreridj
Faculté : des Sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers
Département : Agronomie
Module : physique pour la 1ère année SNV

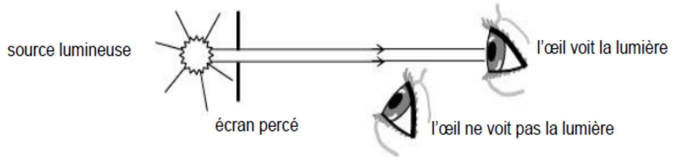
Chapitre 2 : OPTIQUE

Remarque importante : *Partie 1 et Partie 2 de ce chapitre peuvent être trouvées intégralement dans la référence [1] de l'auteur :*
Olivier CAUDRELIER, Email ***:*** ***oc.polyprepas@orange.fr***
Et même pour être télécharger du site :
http://www.poly-prepas.com/images/files/cours%20ls1%20optique%202010-2011%20i-prepa.pdf

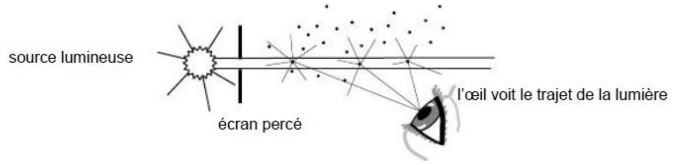
« Partie 1 : Propagation de la lumière [1]

1. Conditions de visibilité d'un objet

Un objet ne peut être vu que s'il émet de la lumière (ou s'il est éclairé) et que celle-ci pénètre dans l'œil.



Parfois, l'œil situé hors du trajet de la lumière aperçoit ce trajet grâce aux fines particules en suspension dans l'air ; ces particules éclairées diffusent la lumière qu'elles reçoivent, devenant autant de points lumineux.



2. Modèle du rayon lumineux en optique géométrique

Nous avons vu que la lumière présentait une double nature : ondulatoire et corpusculaire ; l'optique géométrique s'affranchit de cette dualité et considère la lumière uniquement en termes de rayons lumineux : sous cette approximation théorique (géométrique), on suppose donc que, dans les milieux transparents et homogènes, la lumière se propage suivant des lignes droites issues de la source. Ces lignes droites sont alors appelées : rayons lumineux

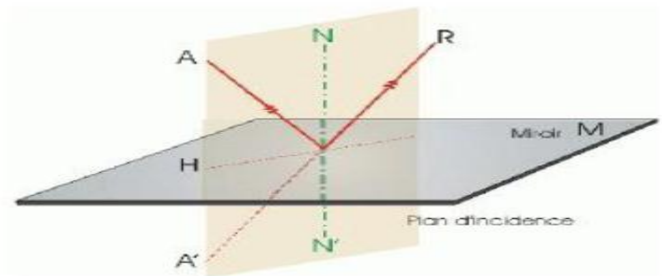
Remarque :

Les rayons lumineux sont les directions de propagation de la lumière, ils n'ont pas de réalité physique (en particulier, ce ne sont pas les trajectoires des photons) limite du modèle : lorsque la lumière rencontre des obstacles de petites dimensions, il y a diffraction, les rayons lumineux ne se propagent plus en ligne droite limite du modèle : lorsque le milieu n'est pas homogène (traversée de milieux d'indice de réfraction différents par exemple), des autres phénomènes (tels les mirages) apparaissent lorsque deux rayons lumineux se rencontrent, ils n'interagissent pas

3. Le miroir plan et lois de la réflexion : Un miroir plan est une surface parfaitement réfléchissante.

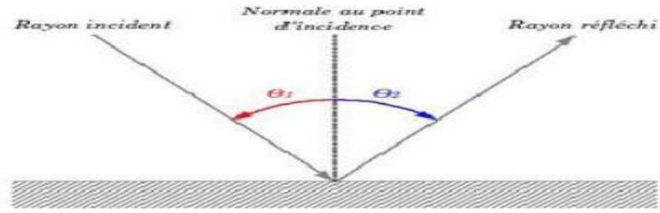
· 1ère Loi de Descartes relative à la réflexion :

Rayon incident et rayon réfléchi sont dans le même plan, appelé : plan d'incidence

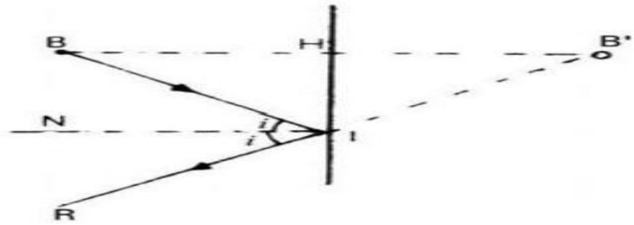


2ème Loi de Descartes relative à la réflexion :

L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion :

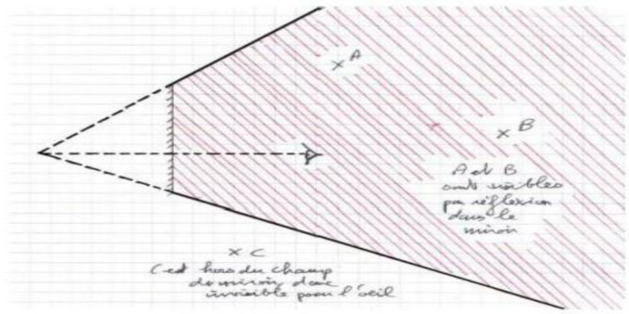


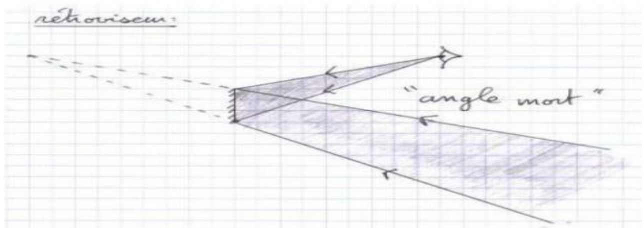
Méthode de construction du rayon réfléchi :
Construire B’, le symétrique de B par rapport au miroir ; le rayon incident issu de B vient frapper le miroir en I, on trace alors la droite issue de B’ passant par I : la portion réelle IR correspond au rayon réfléchi



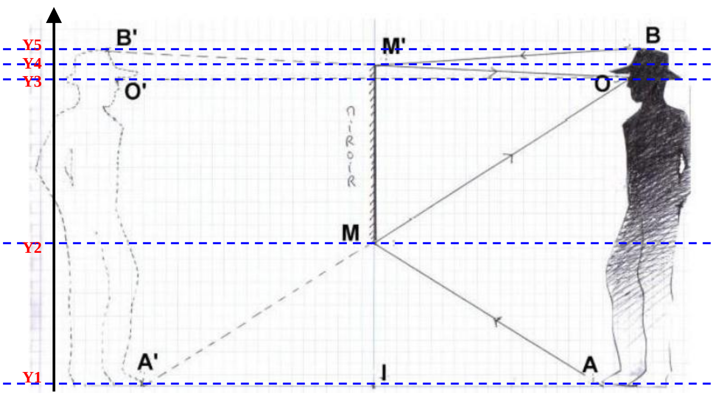
Champ du miroir :

Point-objet : point d’où partent les rayons lumineux qui arrivent sur le miroir
Point-image : point symétrique du point-objet par rapport au plan du miroir ; c’est un point fictif, virtuel, qui se trouve derrière le miroir
Champ du miroir : portion de l’espace visible par réflexion dans le miroir ; il dépend de la taille du miroir et de la position de l’œil.
Pour tracer le champ d’un miroir il faut construire l’image de l’oeil dans le miroir, puis tracer les rayons qui arrivent à cette image en s’appuyant sur les contours du miroir





Exercice-type : « se regarder dans le miroir »
Un homme de hauteur AB se regarde dans un miroir placé à la distance AI ; son oeil est à la distance AO du sol.
Quelle est la hauteur MM’ du miroir et à quelle distance du sol IM doit-on le placer pour se voir en entier ?



Conclusion : pour que l’homme voie son pied et sa tête (avec chapeau) le miroir doit :

- Taille minimale=taille individu /2

- Hauteur minimale du miroir par rapport au sol=distance œil-pied /2

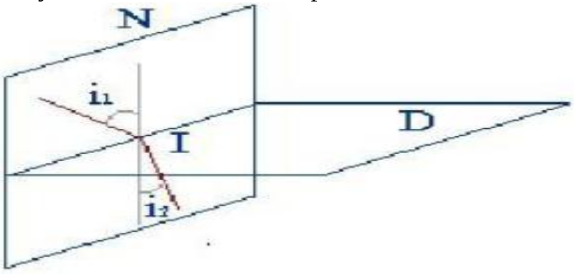
4. Dioptre plan et lois de la réfraction :

Un dioptre plan est une surface plane délimitant 2 milieux transparents d'indice de réfraction n1 et n2

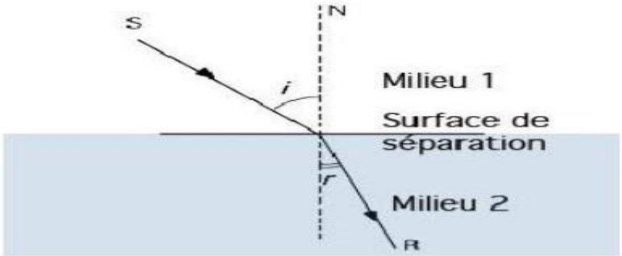
a) Lois de la réfraction :

· 1ère Loi de Snell-Descartes :

Le rayon réfracté reste dans le plan d'incidence



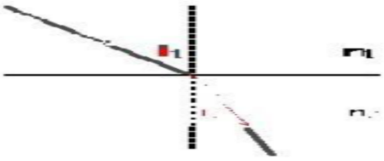
2ème Loi de Snell-Descartes : $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$



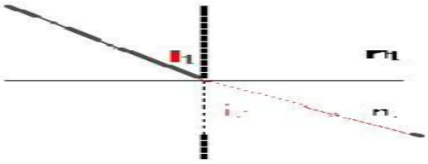
Exemple : Un rayon lumineux arrive avec un angle d'incidence $i_1 = 27°$ sur un dioptre séparant deux milieux $n_1 = 1,2$ et $n_2 = 1,4$. Quel est l'angle de réfraction ? (réponse : $i_2 = 22,9°$)

b) réfringence :

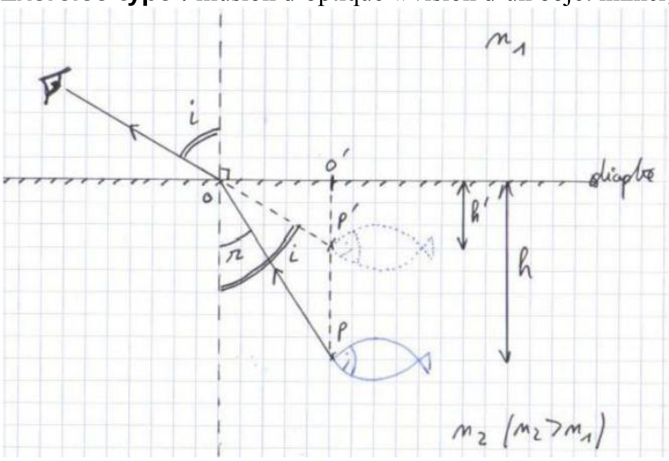
·si $n_1 < n_2$, le milieu 1 est dit moins réfringent que le milieu 2, et on a : $i_1 > i_2$



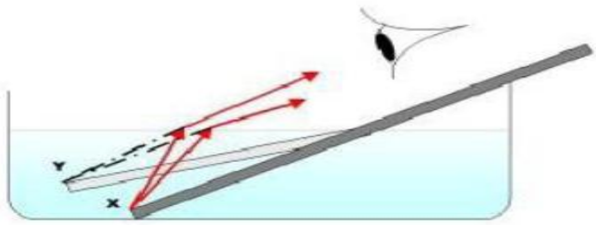
si $n_1 > n_2$, le milieu 2 est dit moins réfringent que le milieu 1, et on a : $i_1 > i_2$



Exercice-type : illusion d'optique « vision d'un objet immergé »



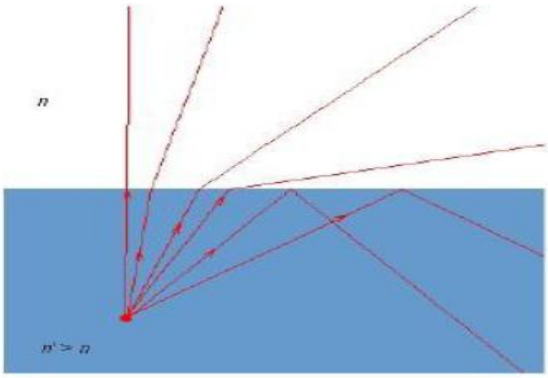
Autre exemple : l'expérience du « bâton brisé »



c) Réflexion totale :

Lorsque la lumière passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent (de l'eau vers l'air par exemple), l'angle réfracté s'écarte de la normale.

Plus l'angle incident augmente, plus l'angle réfracté augmente, et moins le faisceau transmis (réfracté) est intense : il perd de l'énergie alors que le rayon réfléchi en gagne.



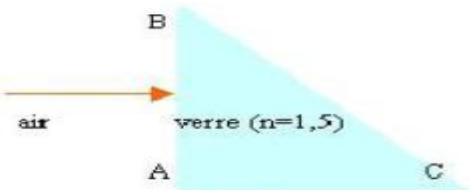
Réflexion totale : il existe un angle limite d'incidence pour lequel tous les rayons sont réfléchis et plus aucune lumière n'est réfractée.

Cet angle limite correspond à l'angle d'incidence pour lequel l'angle de réfraction r vaut 90°.

D'après les lois de Descartes

n2sin(r)=n2=n1sin(i)➔**i=arc sin(n2/n1)**

Exemple : quel est l'angle critique (limite) de la lumière qui se propage dans du verre (nverre = 1,5) ?



$n1= n_{verre}=1{,}5$ et $n2 = n_{air}=1$, i=arc sin(n2/n1)=41.8°

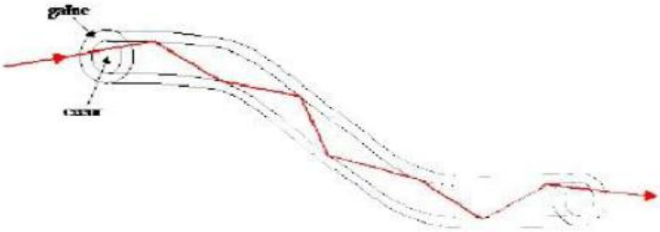
Remarque :

Pour tout angle d'incidence supérieur à l'angle limite, la réflexion totale a lieu : 100% de l'énergie incidente est réfléchie

Application :

- éclat d'un diamant : l'indice d'un diamant étant élevé, la lumière est piégée à l'intérieur par réflexion totale
- périscope, jumelles
- fibre optique : la fibre optique se compose d'un cœur en verre optique d'indice de réfraction élevé et d'une enveloppe en verre d'indice de réfraction faible. Les rayons lumineux qui entrent par une extrémité dans la fibre sont guidés dans le cœur par réflexion totale tout au long de la fibre malgré les courbures infligées, et ressortent à l'autre extrémité.

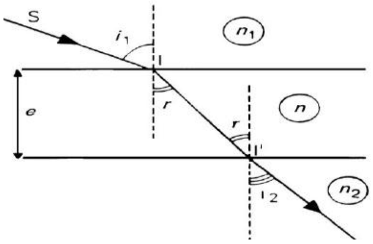
La fibre optique est utile dans le transport d'informations, de lumière. Ce dernier cas est fort utile à de nombreuses personnes : les archéologues : observation d'un tumulus sans y accéder ; les médecins : endoscopies



A l'inverse, la lumière passant d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent (par exemple de l'air dans l'eau) peut pénétrer sous n'importe quel angle d'incidence : il n'existe alors p

e) Lame à faces parallèles :

Une lame à faces parallèles est constituée de deux dioptres plans parallèles entre eux. On note e : l'épaisseur de la lame.



angle d'entrée = angle de sortie

$$i_1 = i_2$$

2.6 Réfraction dans des milieux non-homogènes

Dans certains cas, la lumière se propage dans des milieux dont l'indice de réfraction varie rapidement (milieux non-homogènes). La lumière est donc déviée au fur et à mesure de sa propagation, et non ponctuellement comme dans le cas des dioptres.

Pour comprendre la progression des rayons lumineux dans ces milieux, nous considérerons une succession de milieux homogènes et isotropes d'indices différents (figure 8). A chaque changement d'indice, le rayon lumineux est dévié, pouvant éventuellement atteindre l'angle limite de réfraction et ne produire qu'un rayon réfléchi.

Ce phénomène est à l'origine des mirages : les rayons lumineux sont déviés au voisinage du sol du fait d'une variation de l'indice de réfraction. L'observateur reçoit donc des rayons lumineux qui proviennent d'un objet qui n'est pas face à lui, bien qu'il le "voit" devant lui.

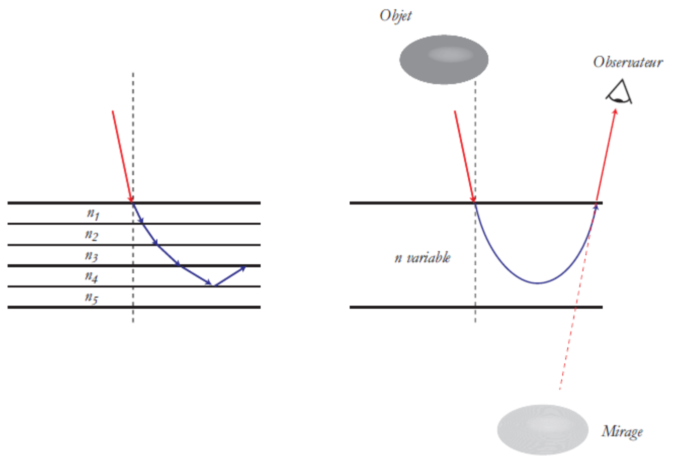


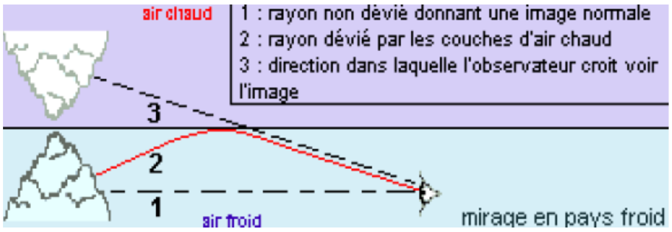
FIGURE – Propagation dans des milieux non homogènes

® *Mirage chaud :*

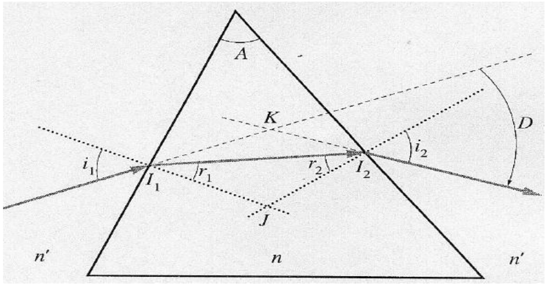
Lorsque la température du sol est différente de celle de l'atmosphère, il existe au voisinage du sol une couche d'air dans laquelle l'indice de réfraction varie rapidement, entraînant pour les rayons lumineux une courbure qui déforme l'image des objets situés au ras du sol. Si le sol est chaud, la courbure est dirigée vers le haut et les objets se doublent d'une image renversée laissant croire à un reflet sur un plan d'eau alors qu'en fait c'est le ciel qui donne cet effet.

® *Mirage froid :*

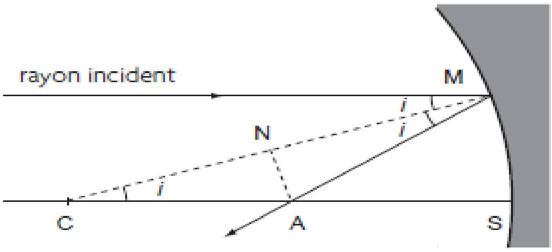
Dans les régions polaires, où le sol est très froid, les rayons lumineux sont courbés vers le bas, ce qui fait qu'un objet situé au sol semble flotter en l'air. Ce phénomène rend possible la vision d'objets situés au-delà de l'horizon.

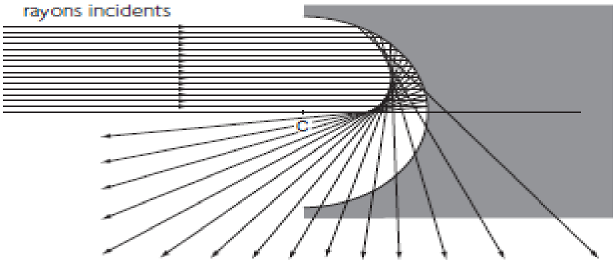


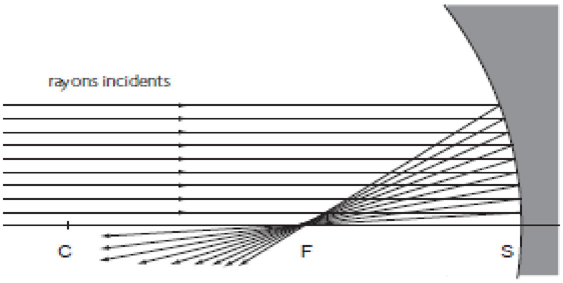
Prisme : Soit un prisme d'indice n et d'angle au sommet A. **Angle de déviation D=i1+i2-A**



Miroir sphérique







Lorsque l'on considère des rayons lumineux proches de l'axe optique, l'angle i est faible et les rayons parallèles convergent tous vers un unique point F, qui constitue par définition le foyer image : CF' = R/2 »

« Partie 2 : Les lentilles [1]

4.1 Définitions

– Lentille

Une lentille est un milieu homogène, isotrope, transparent, dont au moins l'une des faces n'est pas plane
On peut interpréter une lentille comme une somme de différents prismes.

– Lentille mince

Une lentille est dite mince lorsque son épaisseur est faible comparée au rayon de courbure de ses faces
Dans le cadre des conditions de GAUSS, les lentilles minces sphériques réalisent un stigmatisme et un aplanétisme approchés.

– Centre optique

On désigne par centre optique le point de l'axe optique au centre de la lentille : c'est l'axe passant par les deux centres des dioptres formant la lentille. On le note O.

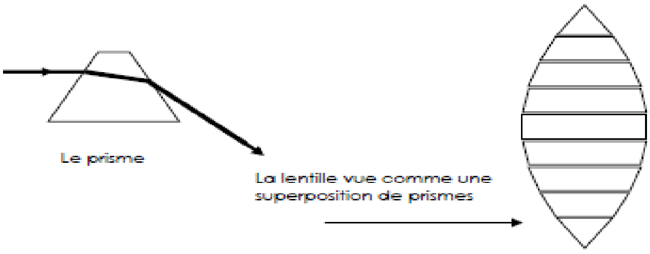
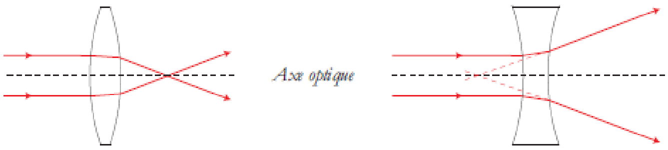


Figure – Une lentille comme plusieurs prismes

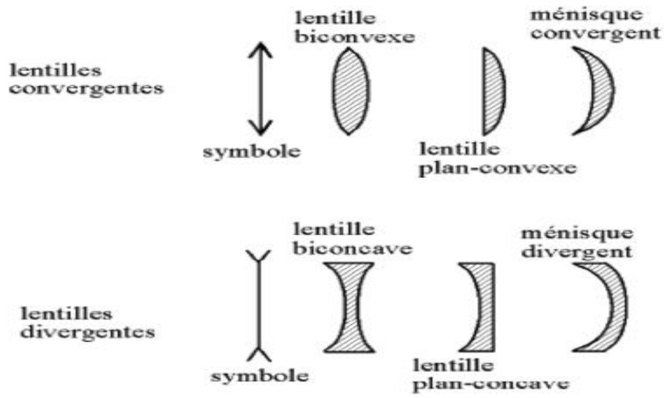
4.2 Types de lentilles

Il existe deux types de lentilles optiques : les lentilles convergentes et les lentilles divergentes.
Les lentilles convergentes transforment un faisceau de rayons parallèles en un faisceau qui converge vers un point en aval de la lentilles; les lentilles divergentes transforment un faisceau de rayons parallèles en un faisceau qui converge vers un point en amont de la lentille



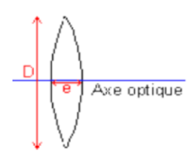
Convergente *divergente*

Ces deux types de lentilles se décomposent en plusieurs sous-types selon la forme de leurs deux faces.
Cependant, chaque sous-type est schématisé de la même manière.

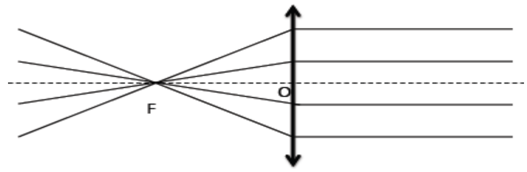


4.3 Propriétés des lentilles convergentes

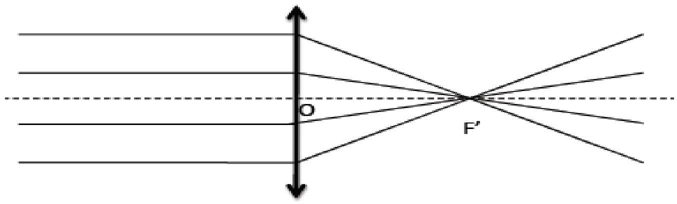
4.3.1 Distances focales, plan focaux et foyers d'une lentille mince convergente

	Une lentille est un système optique formé de deux ou plusieurs dioptres, dont l'un au moins est sphérique (le ou les autres peuvent être plans). Une lentille est dite mince si son épaisseur e est négligeable devant son diamètre D : **e << D**

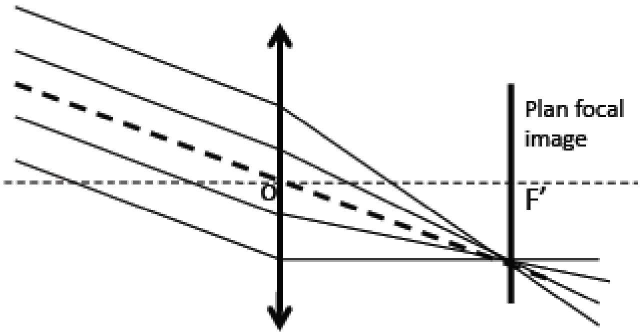
- "Distance focale objet" : OF. Tous les rayons qui passent par F ("foyer objet") ressortent parallèles.



- "Distance focale image" : OF'. Tous les rayons qui arrivent parallèles passent par F' ("foyer image")



"Plan focal image". Tous rayons qui arrivent parallèles se croisent sur le plan focal image.
"Plan focal objet". Tous rayons qui se croisent dans le plan focal objet repartent parallèles entres eux.

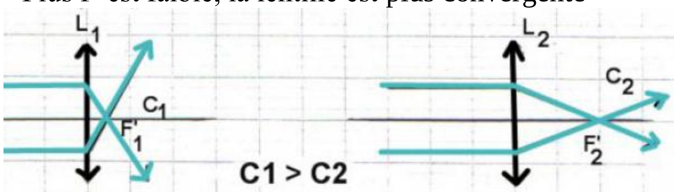


a) Caractéristiques d'une lentille mince convergente :
Un système optique centré possède une symétrie de révolution autour d'un axe appelé **axe optique** D.
Une lentille possède un tel axe. On appelle **centre optique O** (ou sommet S) le point de cet axe situé au milieu de la lentille
F' : foyer-image, c'est le point de convergence d'un faisceau parallèle à l'axe optique
Þ **distance focale image :** $f' = \overline{OF'} \geq 0$ **(pour lentille convergente)** plan focal-image : plan perpendiculaire à l'axe optique D et passant par F' ; les points du plan focalobjet sont appelés foyers secondaires
F : foyer-objet ; en vertu du principe de retour inverse de la lumière, le foyer principal objet (F) a pour image un point placé à l'infini sur l'axe optique ; autrement dit, un rayon passant par le foyer principal objet F émerge du système parallèlement à l'axe optique
Þ distance focale objet $f = \overline{OF} \leq 0$ (pour lentille convergente) plan focal-objet : plan perpendiculaire à l'axe optique D et passant par F
Vergence C : grandeur qui sert à caractériser les capacités de focalisation d'un système.

$$On\ a : C = \frac{1}{f'}$$

$C\ en\ dioptries\ \delta\ ,\ f'est\ en\ m$

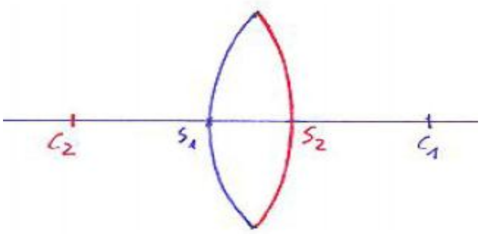
· Plus C est grande, la lentille est plus convergente
· Plus f' est faible, la lentille est plus convergente



La vergence d'une lentille mince peut se calculer par

$$C = (n-1).\left(\frac{1}{S_1C_1} - \frac{1}{S_2C_2}\right)$$

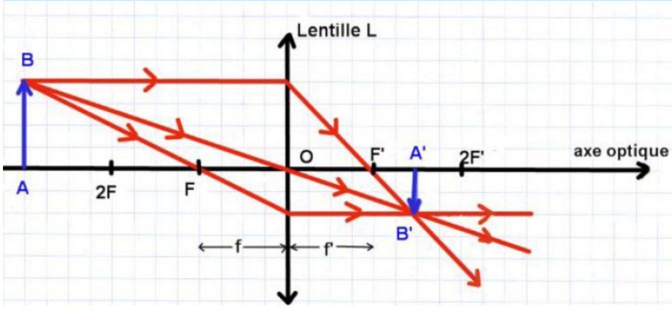
· avec n : indice de réfraction du milieu transparent constituant la lentille
· S_1C_1 : rayon de courbure du dioptre sphérique de centre optique S_1
· S_2C_2 : rayon de courbure du dioptre sphérique de centre optique S_2



marche des rayons :

- *tout rayon passant par le centre optique O n'est pas dévié*
- *tout rayon passant par F émerge parallèlement à l'axe optique Δ*
- *tout rayon parallèle à l'axe optique Δ passe par F'*

remarque : deux rayons suffisent pour les tracés



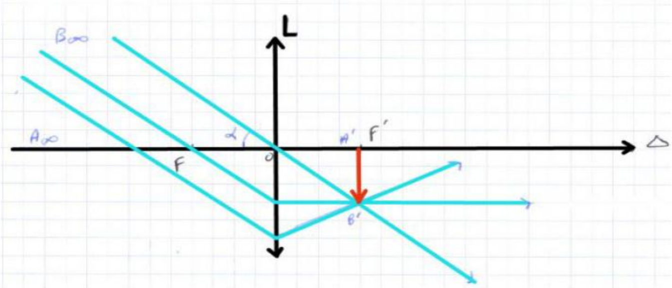
Conditions de Gauss : la plupart des systèmes optiques présentent des défauts (aberrations), ils ne sont pas rigoureusement stigmatiques ; des images de bonne qualité (c-à-d rigoureusement stigmatiques, nettes), sont obtenues pour des rayons lumineux vérifiant les conditions de Gauss :

- les rayons sont peu inclinés par rapport à l'axe optique (≤ 1°): dans ces conditions, on a : tan a = a et sin a = a
- les rayons sont proches de l'axe optique (par comparaison à la taille des instruments d'optique)

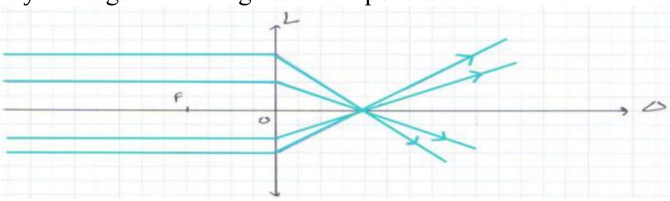
Construction d'une image donnée par une lentille mince convergente :

✓ **cas 1 : objet réel à l'infini (> 50 m) : l'image est réelle et renversée (c'est le fonctionnement de l'oeil et de l'appareil photo)**

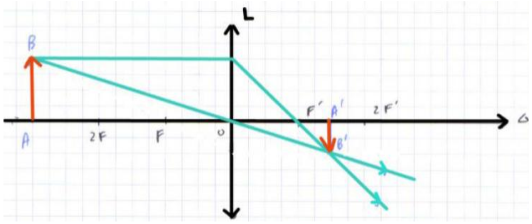
L'image d'un objet à l'infini se forme dans le plan-focal image (F')



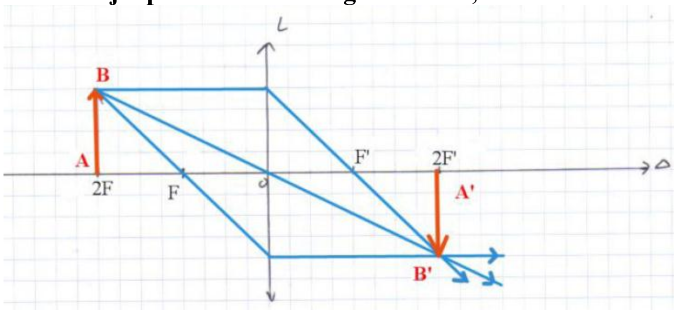
Plus les rayons venant de l'infini sont parallèles, plus l'image formée dans le plan-focal image se rapproche du foyer-image F' : l'image est alors ponctuelle



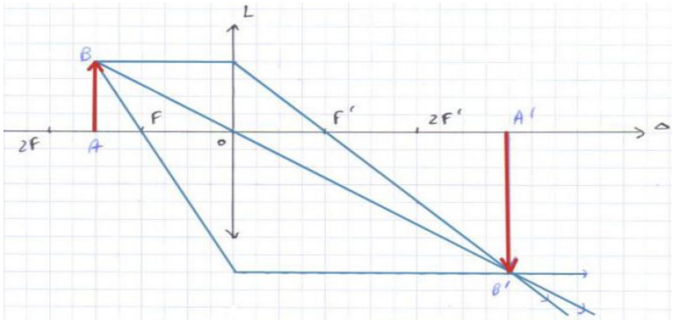
cas 2 : objet entre l'infini et 2F : l'image est réelle, renversée, et plus petite que l'objet : L'image s'éloigne du plan-focal image et devient plus grande, mais encore inférieure à l'objet AB



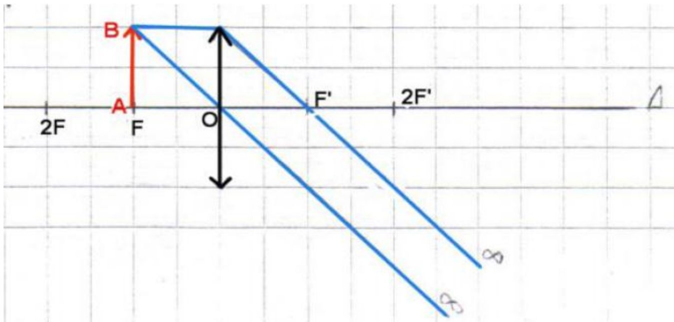
cas 3 : objet placé à 2F : l'image est à 2F', elle est de même taille que l'objet et renversée



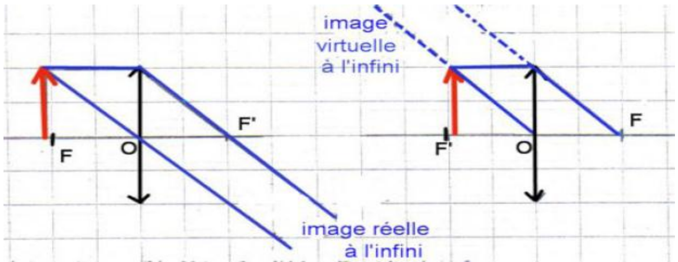
cas 4 : objet entre 2F et F : image réelle, renversée, agrandie : L'image est au-delà de 2F' et peut être reçue sur un écran



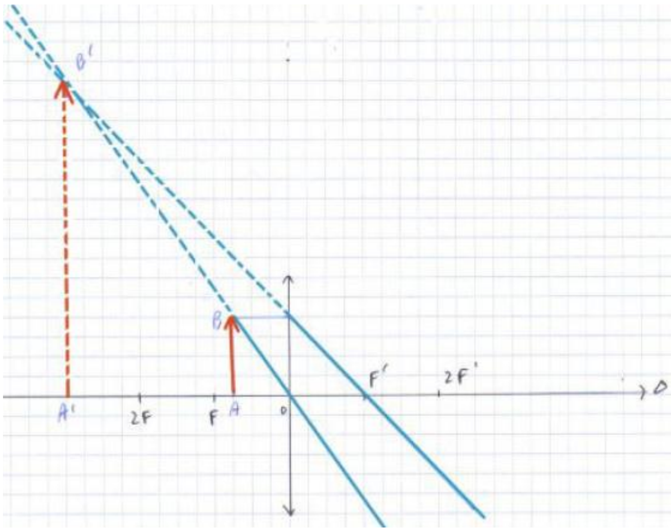
cas 5 : objet au foyer F : image rejetée à l'infini : l'image n'est plus clairement observable sur un écran, on voit seulement une tache lumineuse floue



Remarque importante : discontinuité quand l'objet traverse le foyer-objet
® L'image passe de l'infini réel à droite à l'infini virtuel à gauche
® Dans les deux cas : un immense flou

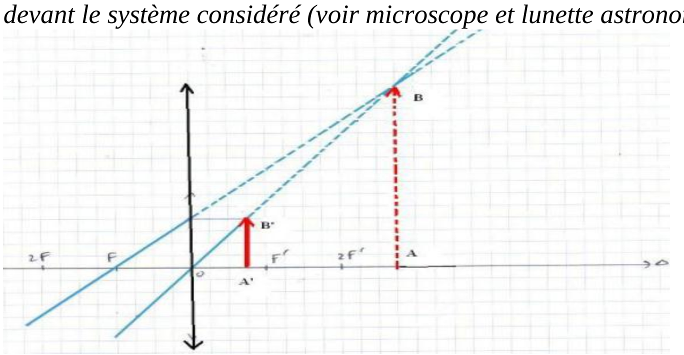


cas 6 : objet entre F et 0 : image virtuelle, agrandie, et à l'endroit : L'image se forme derrière la lentille, c'est le principe de la ***LOUPE*** ; on ne peut recevoir l'image sur un écran, par contre on peut la voir ou la photographier



cas 7 : objet virtuel (derrière O) : image réelle, droite, et réduite

Remarque : un objet virtuel pour un système optique correspond en fait à l'image d'un dispositif optique placé devant le système considéré (voir microscope et lunette astronomique)



Déplacement de l'objet et de l'image :

· Lors du déplacement de l'objet de l'infini jusqu'à F : l'image se déplace de F' jusqu'à l'infini (infini à droite)
· Quand l'objet se déplace de F à 0 : l'image se déplace de l'infini (infini à gauche) jusqu'à la lentille

Relations de conjugaison et de grandissement :

Valeur algébrique : Pour savoir l'image se trouve à droite ou à gauche du système, et en-dessous ou au-dessus, on doit algébriser les distances

Si le point A est avant O ou en-dessous de O : $\overline{OA} < 0 \quad et\ \overline{OA} = -OA$

Si le point A est après O ou au-dessus de O : $\overline{OA'} > 0 \quad et\ \overline{OA'} = OA'$

a) relation de conjugaison : Þ *pour trouver la position de l'image*

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{f'}{\overline{OA} \times f'} + \frac{\overline{OA}}{f' \times \overline{OA}}$$

$$d'où : \quad \overline{OA'} = \frac{f' \times \overline{OA}}{f' + \overline{OA}}$$

b) formules de grandissement : Þ *pour trouver la taille de l'image*

Lorsque l'objet AB et son image A'B' sont à des distances finies de la lentille, on a le grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

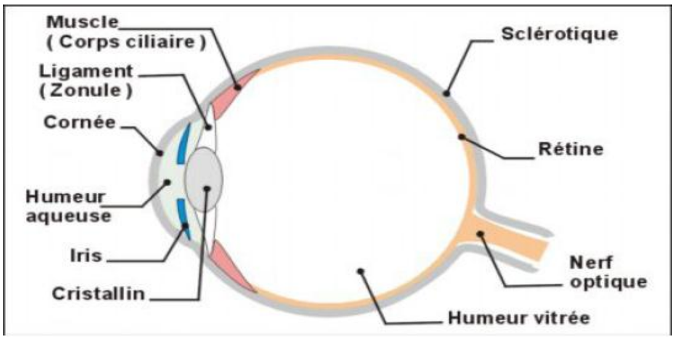
· si $\gamma > 0$: l'image est droite
· si $\gamma < 0$: l'image est renversée
· si $-1 < \gamma < 1$; image réduite
· si $\gamma < -1$ ou $\gamma > 1$: image agrandie »[1]

Remarque : *Partie3 peut être trouvée intégralement dans la référence [2]:*
http://www.poly-prepas.com/images/files/Document%20(3).pdf

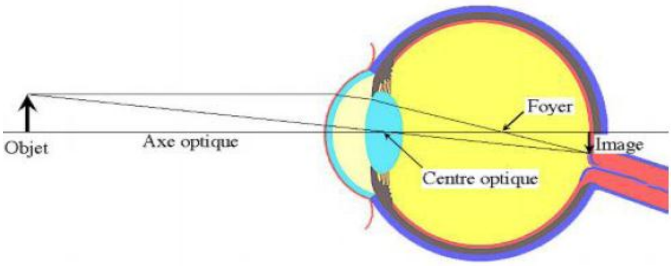
Partie 3 : L'œil et la vision :

L'œil est un organe récepteur de lumière, il fonctionne comme une lentille convergente et donne d'un objet une image réelle et renversée

a) description anatomique :



. l'iris est un diaphragme percé d'une ouverture (la pupille) permettant de contrôler la quantité de lumière pénétrant dans l'œil.
· **le cristallin** : corps transparent (1,39 < n < 1,63) servant de lentille ; sa forme et sa distance focale sont contrôlées par les muscles ciliaires dont la tension ou le relâchement bombe plus ou moins le cristallin
· **la rétine :** écran constitué de cellules sensibles à la lumière (cônes et bâtonnets) où se forment les images (réelles et renversées). L'ensemble {rétine – nerf optique} code cette image sous forme d'influx nerveux et le transmet au cerveau qui l'inter



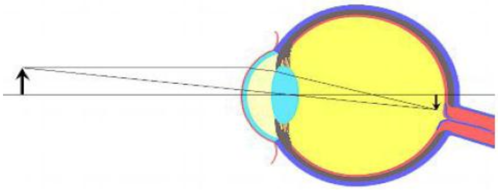
b) accommodation :
L'œil ne voit une image nette que si celle-ci se forme sur la rétine
· pour les objets situés à l'infini (plus de 50 m), l'image se forme normalement sur la rétine : l'œil n'accommode pas, les muscles sont relâchés, l'œil est au repos ; le point le plus éloigné donnant une image nette sur la rétine sans accommodation est le **Punctum Remotum (PR)** ;
. pour un œil emmétrope (adulte normal), le Punctum Remotum est situé à l'infini et la vergence du cristallin est alors de 60 δ
· pour les objets proches, les muscles ciliaires ajustent la courbure du cristallin (qui devient alors plus ou moins bombé) afin que l'image se maintienne sur la rétine (remarque : une fois la courbure ajustée, les muscles se relâchent de nouveau)
· à partir d'une certaine distance, l'objet reste flou malgré les efforts que fournit l'oeil ; la mise au point devient impossible à partir de cette **distance minimale (d_m)** de vision distincte.
Cette limite net-flou est caractérisée par un point : le P**unctum Proximum (PP)** ; au PP l'œil accommode au maximum, pour un œil emmétrope PP = d_m = 25 cm et C = 64 δ
(remarque : le PP est un point, d_m est une distance, ils signifient cependant quasiment la même chose)
c) le pouvoir séparateur de l'œil :
Au maximum d'accommodation, c'est-à-dire au PP, si deux points sont écartés d'un angle inférieur à 3.10^{-4} rad, l'œil ne peut plus les séparer et n'en voit qu'un seul.
Au Punctum Proximum, deux points séparés d'une distance h présentent une séparation angulaire $\alpha \approx \tan\alpha \approx h/d_m$
Donc : $h = \alpha . d_m = 3.10^{-4} \times 0,25 = 0,1\ mm = (^1/_{10})^e\ mm$
Ainsi, au maximum d'accomodation, les détails les plus fins qui puissent être observés à l'œil nu sont de l'ordre du **1/10^e^ de mm (0,1 mm), ce qui correspond à un angle de 3.10^{-4} rad**

d) défauts de l'œil :

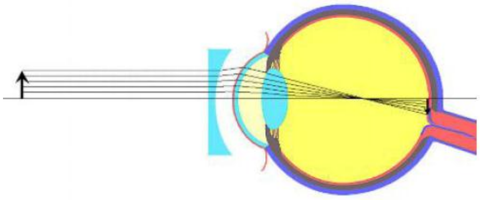
Le champ de vision de l'œil normal (emmétrope) s'étend normalement de dm = 25 cm à l'infini ∞ ; l'effort d'accomodation de l'œil diminue lorsque la distance augmente : à dm, l'accomodation est maximale, à l'∞ l'œil observe sans accomodation et sans fatigue.

Ø Myopie :

L'œil voit bien de près, puis de plus en plus flou au fur et à mesure que l'objet s'éloigne ; l'œil est trop long et/ou le cristallin trop convergent, l'image d'un objet éloigné se forme ***avant la rétine*** : la projection de cet objet sur la rétine donne donc une tache floue.

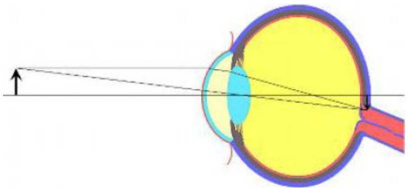


La correction de la myopie s'effectue au moyen de verres correcteurs divergents, par exemple des verres dont l'une face est plus concave que l'autre.



Ø Hypermétropie :

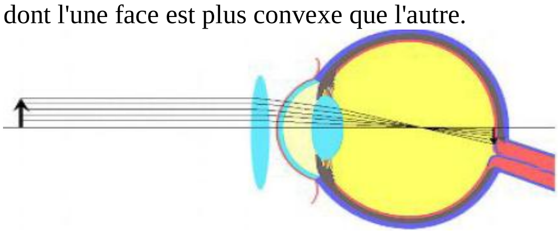
L'œil hypermétrope ne peut discerner nettement les objets rapprochés ; l'œil est trop court et/ou le cristallin est trop peu convergent : l'image des objets rapprochés se forme sur un plan ***derrière la rétine.*** Sur la rétine se forme donc une tache floue circulaire



® si le sujet est jeune, le cristallin est capable de se déformer suffisamment pour compenser l'insuffisance dioptrique de l'œil, et l'image peut être ramenée sur la rétine. L'objet est vu net, mais l'effort constant (et inconscient) d'accomodation occasionne des maux de tête.

® Si le cristallin ne peut fournir l'effort d'accommodation nécessaire, l'image ne peut être ramenée sur la rétine : l'objet est vu flou

La correction de l'hypermétropie s'effectue au moyen de verres correcteurs convergents, par exemple des verres dont l'une face est plus convexe que l'autre.



Ø presbytie :

Avec l'âge, principalement après 45 ans, la rigidification progressive du cristallin produit une diminution progressive des capacités d'accomodation : les enfants peuvent lire de plus près que les adultes, et les vieilles personnes ne peuvent plus voir net de près.

La **presbytie** doit être compensée par des verres correcteurs convergents.

(Remarques : la presbytie ne compense en rien la myopie, car un myope presbyte voit toujours net de près, mais sa vision éloignée est défectueuse.

A partir de 60 ans, l'accomodation peut devenir nulle, et deux types de verres correcteurs s'avèrent nécessaires: des verres convergents pour la vision rapprochée et des verres divergents pour la vision éloignée, souvent intégrés dans une même paire de lunettes aux verres progressifs)

Ø astigmatisme :

L'astigmatisme est une vision trouble provoquée par une cornée dont le profil évoque celui d'un ballon de rugby: elle est plus courbée dans un axe et trop aplatie dans un autre. Par conséquent la lumière se focalise sur la rétine dans des plans différents et l'image n'est jamais nette. La vue est floue tant de loin que de près.

Références

[1] http://www.poly-prepas.com/images/files/cours%20ls1%20optique%202010-2011%20i-prepa.pdf,

17.03.2020 à 17 :00h

[2] http://www.poly-prepas.com/images/files/Document%20(3).pdf

17.03.2020 à 17 :00h