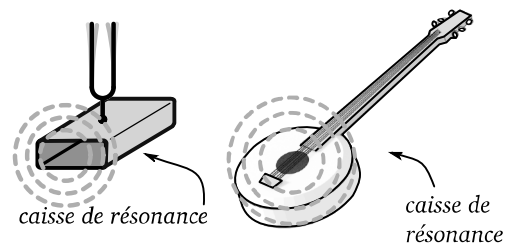


# Ondes et signaux

## Introduction

Pour communiquer l'Être Humain émet et perçoit différents types d'ondes qui pourront transporter des informations : les ondes sonores et les ondes électromagnétiques, dont font partie les ondes lumineuses. La lumière apporte ainsi des informations sur les objets qui nous entourent et en physique, l'optique et la spectroscopie sont les disciplines qui étudient la lumière. Les humains utilisent aussi l'électricité pour transporter de l'énergie et échanger des informations.

**Exemple** Pour bien rendre audible le son émis par un diapason, on le pose sur une surface dure (table en bois) ou sur une boîte creuse. Un instrument à corde (violon, guitare) utilise une caisse en bois qui amplifie le son par résonance. Voir figure 5.2.



## 5.1 Émission et perception d'un son

### 5.1.1 Émission et propagation d'un signal sonore

**Définition** Le son est une perturbation de la pression dans un milieu qui se propage de proche en proche. Pour créer un son, il faut donc créer une surpression, en utilisant par exemple un objet qui vibre comme un diapason ou un fil raide tendu. Voir figure 5.1.

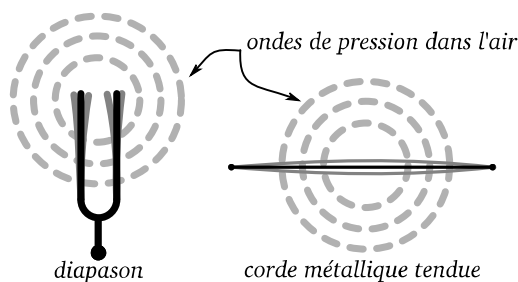


Figure 5.1 – Un diapason ou une corde en acier tendue peuvent produire une onde de pression (son) lors de leur mouvement de vibration.

Figure 5.2 – Le son du diapason est amplifié grâce à une caisse de résonance. La corde métallique d'un instrument de musique est fixée sur une caisse en bois pour que le son émis soit plus fort.

**Définition** Pour que le son puisse se propager, il faut la présence d'un milieu matériel (un gaz, un liquide, un solide). Dans le vide, le son ne peut pas se propager. Voir figure 5.3.

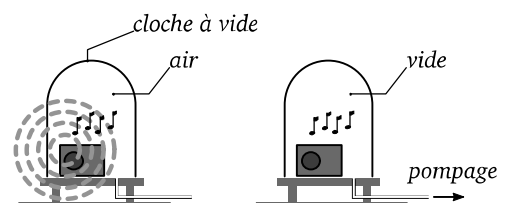


Figure 5.3 – La musique émise par un appareil sous la cloche à vide est perceptible tant que l'air est présent dans la cloche. Dès le pompage mis en route, ce son est de moins en moins audible car l'air ne le transmet plus.

**Définition** Pour que la vibration soit bien transmise à l'air, on peut utiliser une caisse de résonance.

### 5.1.2 Vitesse de propagation du son

**Définition** Dans l'air qui nous entour, la vitesse du son est d'environ  $343 \text{ m.s}^{-1}$ . Cette vitesse varie légèrement en fonction de la température, de l'humidité et de la pression atmosphérique.

**Exemple** La vitesse du son dans l'air  $343 \text{ m.s}^{-1}$  correspond à une vitesse de  $1200 \text{ km.h}^{-1}$ , la vitesse de certains avions militaires.

**Exemple** Pendant un orage, on peut facilement remarquer un décalage entre le flash de l'éclair dû à la foudre et l'arrivée du son du tonnerre. La lumière se propage à  $3.00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ , sa perception est quasi instantanée, alors que le son va mettre une seconde pour parcourir 343 mètres. En comptant les secondes de décalage et en multipliant par 343, on a la distance entre l'éclair et nos oreilles.

### 5.1.3 Signal sonore périodique

**Définition** Un signal sonore est périodique quand il se répète identique à lui même au bout d'une durée  $T$  appelée période, elle s'exprime en seconde (s). Voir figure 5.4

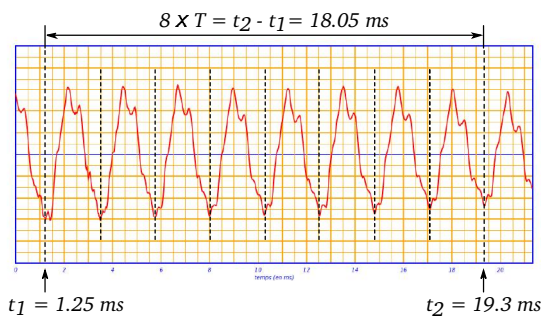


Figure 5.4 – Note d'un piano. On observe la présence d'un motif périodique.

**Exemple** Sur l'enregistrement d'un son de la figure 5.4, on mesure que la durée totale de huit motifs périodique est

$$8 \times T = t_2 - t_1 = 18.05 \text{ ms}$$

Donc pour un seul motif, sa durée est

$$T = \frac{18.05 \text{ ms}}{8} = 2.26 \text{ ms}$$

**Définition** La fréquence d'un son  $f$  est le nombre de fois que le signal se répète à l'identique par seconde, elle s'exprime en Hertz (Hz). Elle est l'inverse de la période  $T$

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

**Exemple** La fréquence de la note de piano de la figure 5.4 est de

$$f = \frac{1}{2.26 \text{ ms}} = \frac{1}{2.26 \times 10^{-3} \text{ s}} = 442 \text{ Hz}$$

ce qui correspond approximativement à la note La3.

**Exemple** Un son de période  $T = 1.4 \text{ ms}$  correspond à un signal sonore de fréquence  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.4 \times 10^{-3}} = 714 \text{ Hz}$ . Une onde radio de fréquence  $f = 108 \text{ MHz}$  correspond à un signal périodique de période  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{108 \times 10^6} = 9.3 \times 10^{-9} = 9.3 \text{ ns}$ .

### 5.1.4 Perception du son

**Définition** Le spectre audible par un être humain s'étend de  $20 \text{ Hz}$  à  $20 \text{ kHz}$ . Les fréquences inférieures à  $20 \text{ Hz}$  correspondent aux *infra sons*, les fréquences supérieures à  $20 \text{ kHz}$  aux *ultra sons*. Voir figure 5.5.

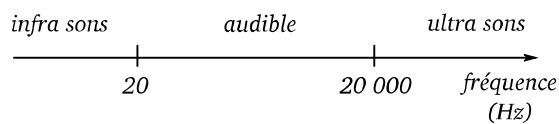


Figure 5.5 – Chez l'être humain, le spectre audible s'étend d'environ  $20 \text{ Hz}$  à  $20 \text{ kHz}$ . Certains animaux ont des spectres auditifs allant des infrasons aux ultrasons.

### 5.1.5 Hauteur et timbre d'un son

**Définition** En acoustique, la hauteur d'un son correspond à sa fréquence  $f$  : un son haut a une fréquence élevée, un son bas a une fréquence faible.

**Exemple** Le tableau 5.1 indique la fréquence correspondant à certaines notes de la gamme tempérée.

**Définition** En acoustique, la forme du signal périodique va donner un timbre différent à des sons ayant même hauteur (ou fréquence). Voir figure 5.6.

### 5.1.6 Intensité sonore et niveau d'intensité sonore

**Définition** L'onde de pression d'un son transporte une certaine puissance, proportionnelle au carré de cette pression. L'intensité du son correspond à la puissance reçue sur une surface de  $1 \text{ m}^2$ . Voir figure 5.7.

Note	Fréquence (Hz)
Do3	262
Do#3	277
Ré3	294
Ré#3	311
Mi3	330
Fa3	349
Fa#3	370
Sol3	392
Sol#3	415
La3	440
La#3	466
Si3	494

Table 5.1 – Notes de musiques et fréquences

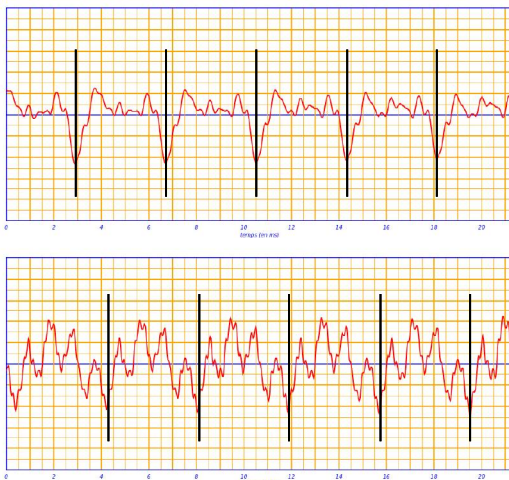


Figure 5.6 – Deux instruments différents jouent la même note, elles ont donc la même période, mais la forme des motifs périodiques est différente, le timbre de chaque l’instrument sera différent

**Définition** Le niveau d’intensité sonore est une échelle non linéaire qui permet de comparer la puissance d’un son par rapport à la puissance d’un son à peine audible.

- Si on multiplie par 2 l’intensité acoustique, on ajoute 3 dB au niveau d’intensité acoustique
- Si on multiplie par 10 l’intensité acoustique, on ajoute 10 dB au niveau d’intensité acoustique

Voir figure 5.8.

**Définition** Le niveau d’intensité sonore doit être contrôlé dans l’environnement des humains car il peut induire à terme des risques de surdité totale ou partielle. C’est également un facteur accidentogène à cause de la fatigue induite par un environnement bruyant.

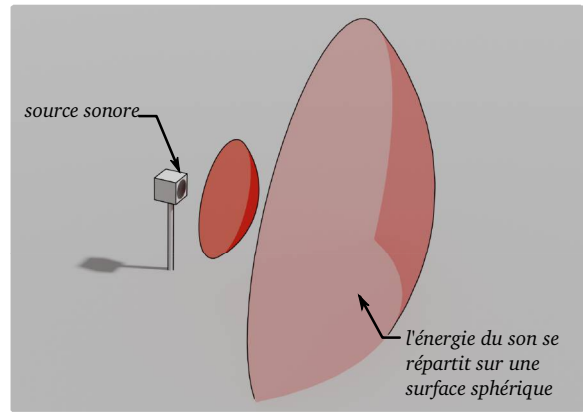


Figure 5.7 – La puissance transportée par une onde sonore (une énergie par seconde) se répartit sur une surface de plus en plus grande en s’éloignant de la source. L’intensité du son décroît.

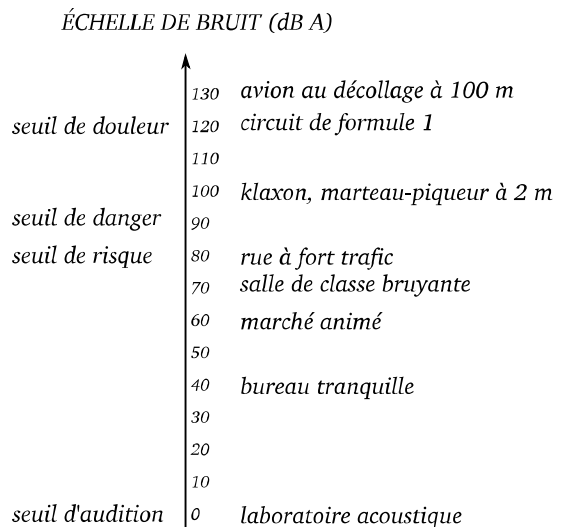


Figure 5.8 – L’échelle de niveaux sonores est exprimée en décibel acoustiques, c’est une échelle non linéaire, si on augmente le niveau de 10 dB, on multiplie par 10 la puissance acoustique émise.

**Exemple** Vous pouvez visiter le site de l’INRS (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et de maladies professionnelles) <sup>1</sup> qui explique la réglementation française concernant les niveaux d’exposition au bruit .

1. <http://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html>

## 5.2 Vision et image

### 5.2.1 Propagation rectiligne de la lumière

**Définition** La lumière se propage *en ligne droite dans un milieu homogène*. Dans l'air ou dans le vide, sa vitesse de propagation est  $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

### 5.2.2 Spectre de la lumière blanche

**Définition** La lumière blanche peut se décomposer en un ensemble de lumières colorées qui délimitent le spectre visible par les humains. Ces couleurs sont caractérisées par leur *longueur d'onde*, notée  $\lambda$  («lambda») qui s'exprime en mètre. Voir figure 5.9.

Couleur	longueur d'onde (nm)
violet	390 – 450
bleu-cyan	450 – 490
vert	490 – 580
jaune	580 – 600
orange	600 – 620
rouge	620 – 770

Table 5.2 – Longueurs d'ondes des bandes colorées du spectre visible

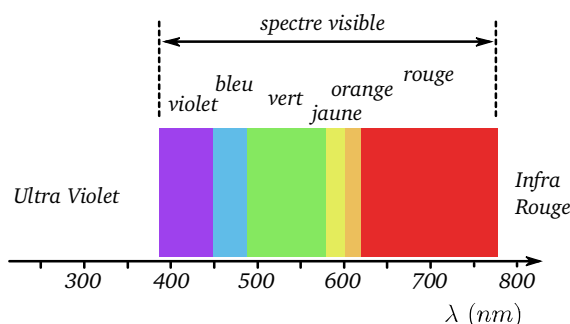


Figure 5.9 – Le spectre visible par les humains va de 390 nm à 770 nm environ. On utilise le sous multiple nano  $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$

### 5.2.3 Rayonnement d'un corps noir

**Définition** Un objet chauffé à haute température va émettre de la lumière dont le spectre est continu. Voir figures 5.10 et 5.11.

### 5.2.4 Spectre de raie d'émission

**Définition** Un gaz à basse pression qui subit une excitation va émettre de la lumière dont le spectre est discontinu et présente des raies lumineuses spécifiques de l'élément chimique constituant le gaz. Voir figure 5.12 et 5.13.

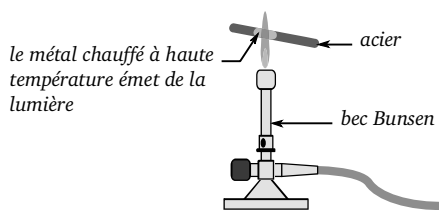


Figure 5.10 – Un morceau d'acier chauffé à haute température va émettre de la lumière.

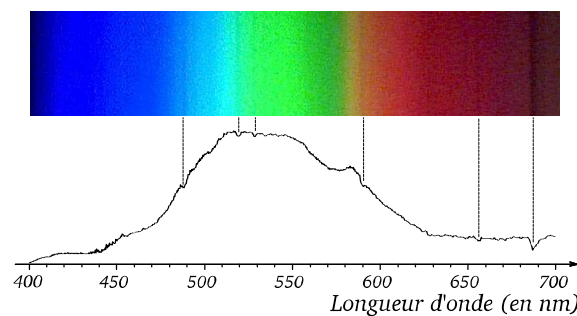


Figure 5.11 – Spectre visible de la lumière du jour, c'est un spectre continu, avec un maximum d'émission dans le vert typique d'un corps noir à 5700 °C, le Soleil. On observe aussi la présence de raies sombres, les raies d'absorption de Fraunhofer, caractéristiques de la présence de certains éléments dans le Soleil et l'atmosphère terrestre.

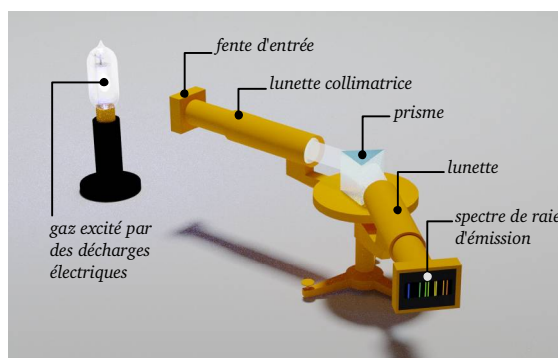


Figure 5.12 – On observe une ampoule de gaz où on provoque des décharges électriques. La lumière émise par le gaz est analysée avec un spectromètre

### 5.2.5 Réflexion et réfraction

**Définition** La réflexion d'un rayon lumineux sur une surface se fait avec le même angle que l'angle d'incidence. Voir figure 5.14.

**Définition** Quand un rayon lumineux traverse une surface qui sépare deux milieux différents, il y a un changement de direction du rayon lumineux, c'est le

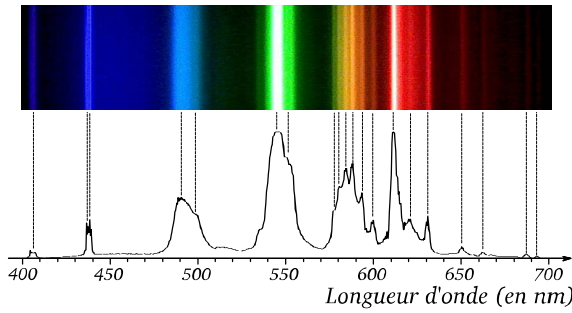


Figure 5.13 – Spectre visible de la lumière émise par

serve la présence de raies d'émissions lumineuses dont certaines sont caractéristiques des vapeurs du mercure.

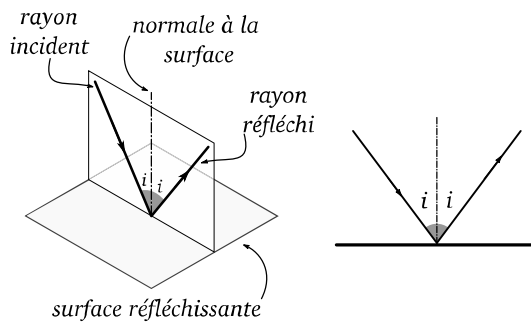


Figure 5.14 – L'angle de réflexion et l'angle d'incidence sont identiques. Ils se mesurent par rapport à la normale à la surface réfléchissante.

phénomène de diffraction de la lumière. Il est décrit par la loi de Snell-Descartes

$$n_1 \times \sin i = n_2 \times \sin r$$

Voir figure 5.15.

**Valeurs d'indices de réfraction** Le tableau 5.3 donne quelques valeurs approchées d'indices de réfraction de milieux transparents.

Milieu	Indice (sans unité)
vide	1.00000
air	1.00003
eau	1.33
éthanol	1.36
verre (Flint)	1.62
verre (Crown)	1.52
Silice (quartz)	1.46
PMMA (plastique)	1.49
diamant	2.42

Table 5.3 – Indices de réfraction de quelques milieux

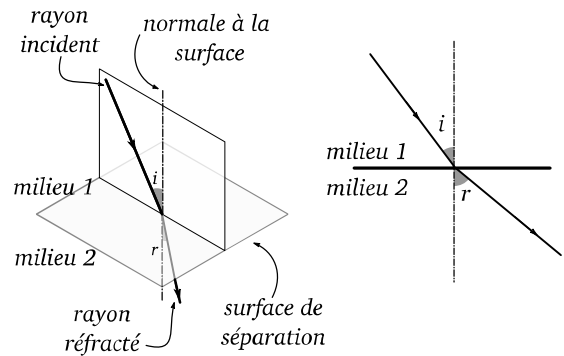


Figure 5.15 – La réfraction est le changement de direction de propagation d'un rayon lumineux quand il change de milieu. Les angles d'incidence  $i$  et de réfraction  $r$  sont liés aux indices optiques  $n_1$  et  $n_2$  des deux milieux grâce à la loi de Snell-Descartes.

**Exemple** Un rayon lumineux passe de l'eau à l'air. L'angle d'incidence est  $i = 23^\circ$ . Calculons l'angle de réfraction  $r$  avec lequel le rayon lumineux émerge de l'eau.

Le milieu incident est l'eau donc l'indice de réfraction  $n_1 = 1.33$ . Le milieu réfractant est l'air donc  $n_2 = 1.00$ .

On écrit la loi de Snell Descartes et on isole ensuite l'angle  $r$  qui est l'inconnue à calculer.

$$\begin{aligned} n_1 \times \sin i &= n_2 \times \sin r \\ 1.33 \times \sin 23^\circ &= 1.00 \times \sin r \\ \sin r &= \frac{1.33 \times 0.391}{1.00} \\ \sin r &= 0.520 \\ r &= \sin^{-1} 0.520 \\ r &= 31.3^\circ \end{aligned}$$

Le rayon lumineux sort de l'eau avec un angle de  $31.3^\circ$  par rapport à la normale à la surface.

### 5.2.6 Dispersion de la lumière

**Définition** Un prisme est un objet en verre qui utilise le phénomène de réfraction de la lumière pour décomposer un mélange de radiation lumineuses, car le phénomène dépend de la longueur d'onde de la lumière traversant le prisme. La lumière bleue est la plus déviée par un prisme, la déviation se faisant du côté de la base du prisme. Voir figure 5.16.

**Définition** La spectroscopie permet d'avoir des informations notamment sur la composition chimique de la source émettrice de lumière. C'est une technique d'analyse fondamentale en science. Voir figure 5.12.



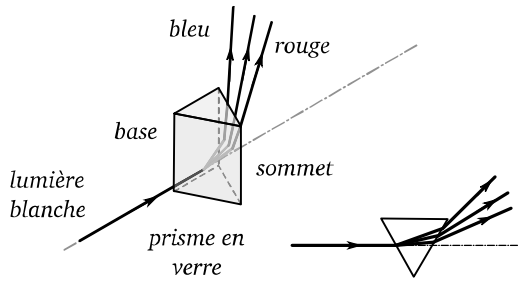


Figure 5.16 – Un prisme décompose la lumière en déviant les rayons lumineux selon leur couleur. La lumière bleue est plus déviée que la lumière rouge. La déviation se fait du côté de la base du prisme. L'ordre des couleurs est celui de l'arc en ciel.

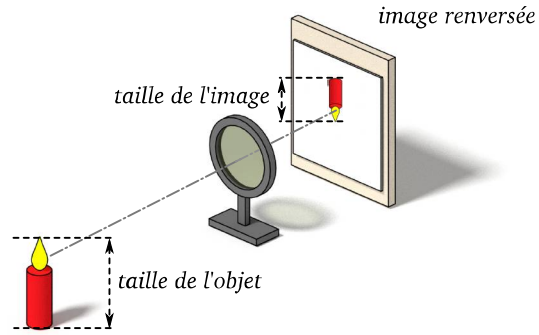


Figure 5.18 – Le grandissement est le rapport entre la taille de l'image et la taille de l'objet. Le grandissement est négatif si l'image est renversée.

### 5.2.7 Lentille mince convergente

**Définition** Une lentille mince convergente est caractérisée par sa distance focale  $f$  qui permet de définir la position des foyers images  $F'$  et foyer objet  $F$ . Voir figure 5.17.

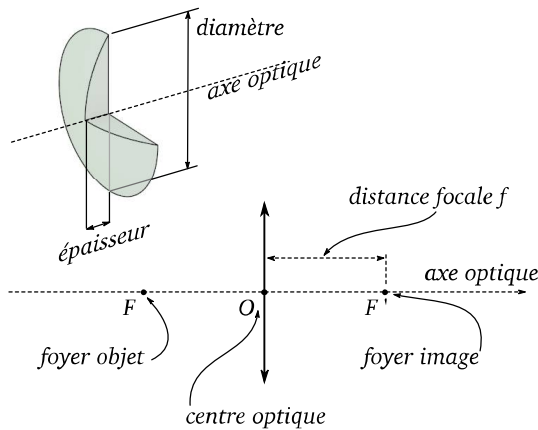


Figure 5.17 – Une lentille mince convergente est un objet qui permet de concentrer les rayons lumineux. Elle est caractérisée par son axe optique, sa distance focale  $f'$  qui permet de placer ses foyers objet  $F$  et image  $F'$  par rapport à son centre optique  $O$ .

**Définition** Une lentille mince peut former une image réelle d'un objet en la projetant sur un écran, voir figure 5.18. Cette image sera inversée et plus ou moins grande. On précisera alors le grandissement

$$G = \frac{\text{taille image}}{\text{taille objet}}$$

**Définition** On peut prédire la position de l'image connaissant les caractéristiques géométriques de la

lentille et la position de l'objet grâce à une construction géométrique. Voir figure 5.19.

### 5.2.8 Modèle simplifié de l'œil

**Définition** On modélise le fonctionnement optique de l'œil comme étant une lentille de focale variable qui projette l'image d'un objet sur la rétine, il est équipé d'un diaphragme (l'iris) qui laisse entrer plus ou moins de lumière pour éviter l'éblouissement. L'œil ne se déforme pas, pour accommoder, c'est le cristallin qui se déforme pour modifier sa focale. Voir figure 5.20.

## 5.3 Signaux et capteurs

### 5.3.1 Circuit électrique

**Circuit** Un circuit électrique contient en général

- un ou plusieurs générateurs de courant ou de tension
- des récepteurs (lampe, moteur électrique, appareil électronique)
- ces dispositifs sont obligatoirement reliés par au moins deux câbles électriques.

Voir figure 5.21.

**Potentiel électrique** La différence de potentiel entre deux bornes du générateur va mettre en mouvement les charges électriques présentes dans le circuit

- de la borne + vers la borne – pour les charges positives
- de la borne – vers la borne + pour les charges négatives

En traversant un dipôle du circuit, il y a une perte de potentiel, qui est plus faible à la sortie du dipôle. On symbolise la différence de potentiel  $U_{AB} = V_A - V_b$

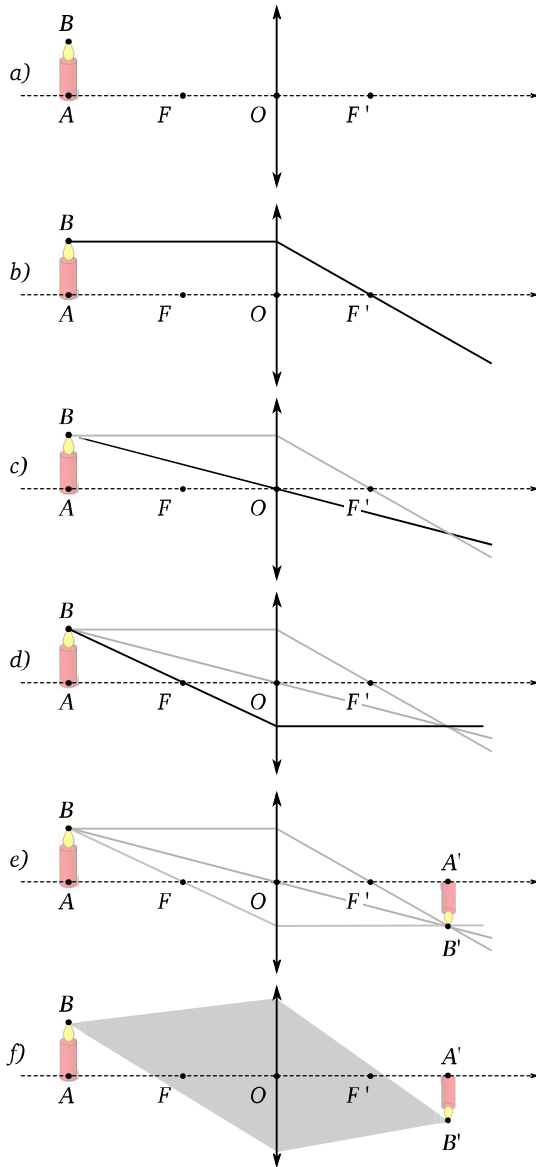


Figure 5.19 – On considère un point B sur un objet dont on veut construire l'image (a). Depuis ce point, on trace un rayon parallèle à l'axe optique qui passe ensuite par le foyer image après traversée de la lentille (b). Puis on trace un rayon passant par le centre optique O qui n'est pas dévié (c). On trace un rayon passant par le foyer objet F et qui sort de la lentille parallèle à l'axe optique (d). Ces trois rayons se croisent en un point B' image de B (e). Tous les rayons quittant le point objet B et traversant la lentille convergeront vers le point image B', voir la zone grise sur (f).

à l'aide d'une flèche dessinée à côté du dipôle. Voir figure 5.22.

**Courant électrique** Le courant électrique est le déplacement des charges électriques positives et négatives dans le circuit. Par convention, on in-

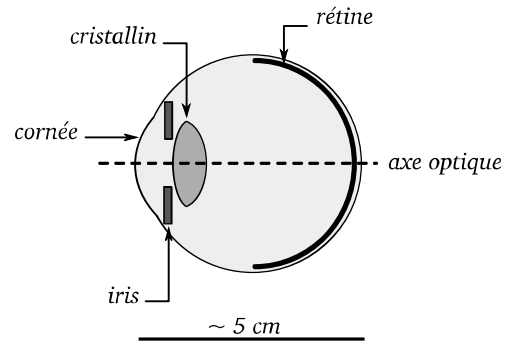


Figure 5.20 – La lumière qui passe à travers la cornée et le cristallin converge sur la rétine. Le cristallin est une lentille déformable qui permet l'accommodation. La rétine est couverte de cellules nerveuses sensibles à la lumière (cônes et bâtonnets) sur laquelle se projette l'image des objets observés.

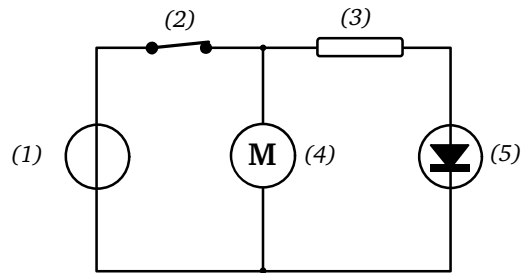


Figure 5.21 – Ce circuit électrique se compose d'une source de tension (1), qui alimente un moteur (4) quand on ferme l'interrupteur (2). Quand le moteur est sous tension, une diode lumineuse s'allume (5) et le courant dans cette diode est limité par une résistance électrique (3).

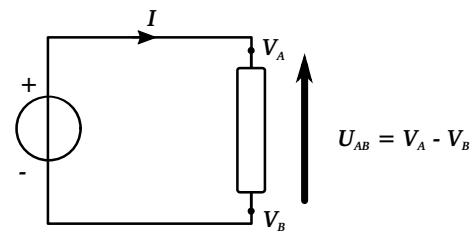


Figure 5.22 – Aux bornes A et B d'un dipôle, les potentiels  $V_A$  et  $V_B$  peuvent être différents et il y a une différence de potentiel  $U_{AB} = V_A - V_B$  schématisée par une flèche à côté du dipôle. Le courant électrique  $I$  circule de la borne + du générateur vers la borne -. Il représente le déplacement des charges électriques positives.

dique seulement le déplacement des charges positives dans le circuit à l'aide d'une flèche dessinée sur une branche du circuit. Voir figure 5.22.

### 5.3.2 Mesures électriques

**Intensité du courant** L'intensité du courant se mesure en Ampère (A) à l'aide d'un ampèremètre qui doit être traversé par le courant. Les contrôleurs universels possèdent ainsi deux bornes, l'une pour l'entrée du courant (rouge, avec le symbole A) et une pour la sortie du courant (noire) avec le symbole COM. Pour placer un ampèremètre dans un circuit, il faut ouvrir le circuit pour brancher cet appareil, cela doit se faire avec l'alimentation électrique coupée. Voir figure 5.23.

**Différence de potentiel** La différence de potentiel se mesure en Volt (V) à l'aide d'un voltmètre muni de deux câbles, l'un relié à une borne de référence (COM), l'autre relié à la borne V (rouge). On mesure la différence de potentiel entre ces deux bornes. Voir figure 5.23.

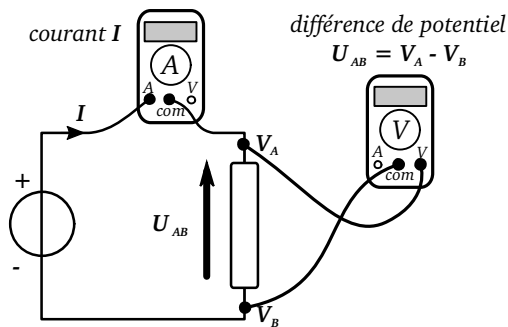


Figure 5.23 – Un contrôleur universel mesure l'intensité  $I$  du courant électrique, un autre contrôleur universel mesure la différence de potentiel  $U_{AB}$  au borne d'un dipôle.

### 5.3.3 Loi des nœuds

**Définition** Dans un circuit électrique, le courant doit se conserver, tous les courants qui entrent dans un nœud doivent être égaux à tous les courants qui quittent ce nœud.

**Exemples** Dans le circuit de la figure 5.24, d'après la loi des nœuds, on pourra écrire

- au nœud A, on a  $I_1 = I_2 + I_3$
- au nœud C, on a  $0 = I_5 + I_6 + I_7$
- au nœud B, on a  $I_2 = I_4$
- dans la branche ABC, on a  $I_6 = -I_4$
- dans la branche du générateur, on a  $I_1 = I_7$

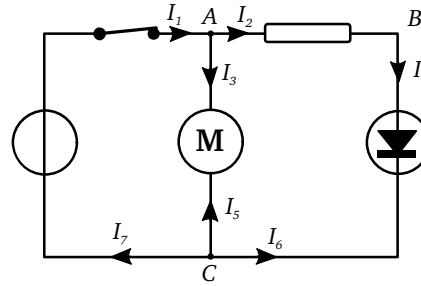


Figure 5.24 – La loi des nœuds signifie que le courant doit se conserver dans un circuit électrique.

### 5.3.4 Loi des mailles

**Définition** Dans une maille (ou boucle) d'un circuit électrique, après avoir défini arbitrairement un sens de parcours de la boucle, la somme des différences de potentiel est nulle. On comptera positivement une différence de potentielle dont la flèche est dans le sens du parcours, négativement dans le cas contraire.

**Exemples** Dans le circuit de la figure 5.25, en choisissant de tourner dans les boucles dans le sens des aiguilles d'une montre, d'après la loi des mailles, on pourra écrire

- pour la maille DACD on écrit  $U_{AD} + U_{CA} - U_{CD} = 0 \text{ V}$
- pour la maille DABCD on écrit  $U_{AD} - U_{AC} - U_{BC} - U_{CD} = 0 \text{ V}$
- pour la maille ABCA on écrit  $-U_{AC} - U_{BC} - U_{CA} = 0 \text{ V}$

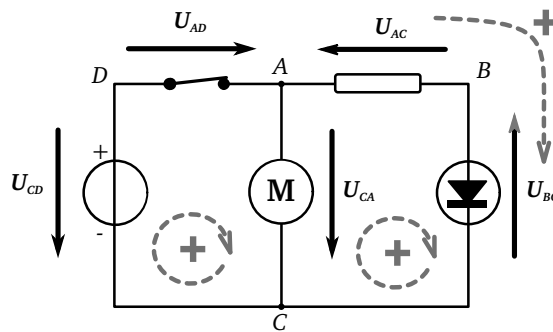


Figure 5.25 – La loi des mailles signifie que la somme des différences de potentiels dans une maille est nulle.

### 5.3.5 Caractéristique tension $U$ et courant $I$ d'un dipôle

**Définition** La caractéristique courant-tension d'un dipôle est un graphique expérimental qui représente la relation entre l'intensité du courant traversant



le dipôle et la tension au borne de ce dipôle. Voir schéma 5.26.

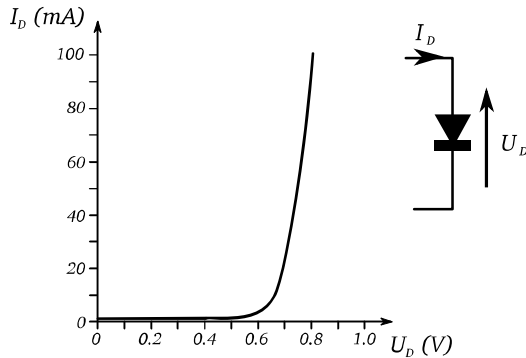


Figure 5.26 – Caractéristique courant-tension d'une diode. C'est un dipôle qui ne laisse circuler le courant que dans un seul sens. Il peut émettre de la lumière (LED) ou la détecter (photodiode).

**Définition** Si on dispose de la caractéristique courant-tension d'un dipôle, on peut trouver son point de fonctionnement, c'est à dire la valeur de  $I$  qui le traversera pour une tension  $U$  à ses bornes.

**Définition** La caractéristique d'un dipôle ohmique est

$$U_{AB} = R \times I$$

avec

- $U_{AB}$  en volt (V)
- $I$  en ampère (A), orienté de A vers B
- $R$  en Ohms  $\Omega$

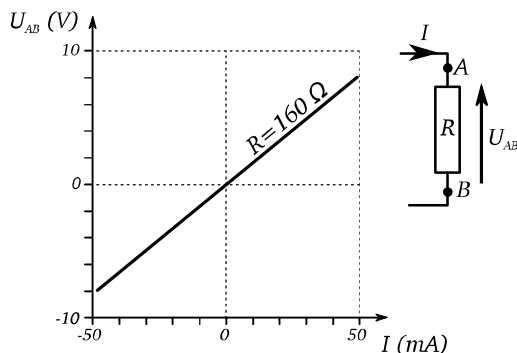


Figure 5.27 – Caractéristique courant-tension d'une résistance, la tension  $U_{AB}$  est proportionnelle au courant  $I$  par le facteur  $R$ . On ne peut pas cependant avoir n'importe quelle valeur pour les tensions et les courants, la résistance chauffe et peut être détruite.

### 5.3.6 Capteurs électriques

**Définition** Un capteur électrique fournit une tension électrique ou un courant dont la valeur dépend d'une grandeur physique que l'on cherche à mesurer, comme la température, la pression, l'intensité lumineuse. On retrouve ces capteurs dans des thermostats, des détecteurs de lumière, des jauges de déformation (sciences de l'ingénieur), etc. ...

#### Exemples

- La photorésistance (LDR *light-dependent resistor*) a une résistance électrique qui décroît avec l'augmentation de l'intensité lumineuse reçue.
- La thermistance a une résistance électrique qui décroît ou croît avec l'augmentation de la température du composant (il existe deux types de thermistances).
- La sonde au platine (PT100 ou PT1000) a une résistance électrique qui dépend de la température du composant.

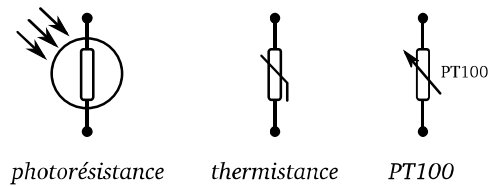


Figure 5.28 – Symboles électriques de différents capteurs résistifs.