

Cours de Physique

Classes de 4^e

LAML

Version 2019-2020

Lycée Aline Mayrisch – Département de Physique

Document basé sur les travaux et cours de Y. Reiser (LNW)

Retravaillé par D. Neri et C. Schmitz (LAML)
Mis en page à l'aide de \LaTeX et KOMA-Script

Version du 2 septembre 2019

Table des matières

I. Rappels	5
1. Unités SI, multiples et sous-multiples d'unités	5
1.1. Le Système International d'Unités	5
1.2. Unités SI de base	5
1.3. Unités du volume	5
1.4. Multiples et sous-multiples	6
2. Mesures expérimentales	6
2.1. Tableaux de mesure	6
2.2. Proportionnalité	7
2.3. Incertitudes de mesure (Messungenaugkeit)	8
3. Forces	9
3.1. Les effets d'une force	9
3.2. Principe d'inertie	9
3.3. Représentation d'une force	10
3.4. Unité SI et instrument de mesure d'une force	10
4. Masse	10
4.1. Définition	10
4.2. Symbole, unité SI et instrument de mesure de la masse	11
5. Poids	11
5.1. Définition	11
5.2. Symbole, unité SI et instrument de mesure du poids	11
5.3. Caractéristiques du poids	12
5.4. Relation entre poids et masse	12
5.5. Abus de langage	13
6. Masse volumique	13
6.1. Définition	13
6.2. Unités	14
II. Mécanique des liquides et des gaz	15
1. Pression	15
1.1. La notion de pression	15
1.2. Définition, unités, instrument de mesure	15
1.3. Transmission d'une force pressante	16
1.4. Transmission d'une pression	17
1.5. La presse hydraulique	17
2. La pression hydrostatique	19
2.1. Mise en évidence expérimentale	19

2.2.	La capsule manométrique	20
2.3.	Propriétés de la pression hydrostatique	20
2.4.	Expression de la pression hydrostatique	22
2.5.	Le paradoxe hydrostatique	23
2.6.	Vases communicants	23
3.	La poussée d'Archimède	24
3.1.	Mise en évidence expérimentale	24
3.2.	Le principe d'Archimède	25
3.3.	Corps flottants	28
4.	La pression atmosphérique	30
4.1.	L'atmosphère	30
4.2.	Expériences démontrant l'existence de la pression atmosphérique . . .	32
4.3.	Mesure de la pression atmosphérique	34
5.	Exercices	39
III. Electricité		43
1.	Circuits électriques	43
1.1.	Sources et récepteurs	43
1.2.	Symboles normalisés	43
1.3.	Bornes et pôles	44
1.4.	Circuit électrique simple	44
1.5.	Branchement en série/en parallèle	45
1.6.	Court-circuit	48
2.	Effets du courant électrique	49
2.1.	Effet calorifique	49
2.2.	Effet magnétique	51
2.3.	Effet chimique	54
2.4.	Effet lumineux	55
3.	Charges électriques	57
3.1.	Electrisation par frottement	57
3.2.	Les deux espèces de charges électriques	57
3.3.	Un modèle de l'atome	58
3.4.	Interprétation de l'électrisation	60
3.5.	L'électroscope	62
3.6.	La lampe à lueur	63
3.7.	Charges électriques dans la vie quotidienne	63
4.	Le courant électrique	65
4.1.	La nature du courant électrique	65
4.2.	Sens conventionnel du courant électrique	66
4.3.	Intensité du courant électrique	67
4.4.	mAh / Ah : deux autres unités de la charge électrique	70
4.5.	Lois des intensités en série et en parallèle	71
5.	Exercices	73

I. Rappels

1. Unités SI, multiples et sous-multiples d'unités

1.1. Le Système International d'Unités

Le Système International d'unités, inspiré du système métrique, est le système d'unités le plus largement employé au monde. Il s'agit d'un système d'unités décimal (on passe d'une unité à ses multiples ou sous-multiples à l'aide de puissances de 10) sauf pour la mesure du temps. La Conférence générale des poids et mesures, rassemblant des délégués des États membres de la Convention du Mètre, qui décide de son évolution, tous les quatre ans, à Paris. L'abréviation de « Système International » est SI, quelle que soit la langue utilisée.

1.2. Unités SI de base

grandeur	symbole	unité	
		nom	symbole
longueur	l	mètre	m
temps	t	seconde	s
masse	m	kilogramme	kg
intensité du courant	I	ampère	A
température	T	kelvin	K
quantité de matière	n	mole	mol
intensité lumineuse	I_V	candela	Cd

Tableau I.1. – unités SI de base

1.3. Unités du volume

L'unité SI du volume est le m^3 (mètre-cube).

$$1m^3 = 1000dm^3 ; \quad 1dm^3 = 1000cm^3 ; \quad 1cm^3 = 1000mm^3$$

$$1L = 10dL = 100cL = 1000mL \quad ; \quad 1dm^3 = 1L \quad ; \quad 1cm^3 = 1mL$$

1.4. Multiples et sous-multiples

1.4.1. Multiples

<i>symbole</i>	T	G	M	k	h	da
<i>nom</i>	Tera	Giga	Mega	kilo	hekto	deca
<i>signification</i>	$\cdot 10^{12}$	$\cdot 10^9$	$\cdot 10^6$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^2$	$\cdot 10^1$
	1.000.000.000.000	1.000.000.000	1.000.000	1.000	100	10

Tableau I.2. – Multiples d’unités

1.4.2. Sous-multiples

<i>symbole</i>	d	c	m	μ	n	p
<i>nom</i>	déci	centi	milli	micro	nano	pico
<i>signification</i>	$\cdot 10^{-1}$	$\cdot 10^{-2}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-6}$	$\cdot 10^{-9}$	$\cdot 10^{-12}$
	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1.000}$	$\frac{1}{1.000.000}$	$\frac{1}{1.000.000.000}$	$\frac{1}{1.000.000.000.000}$
	0,1	0,01	0,001	0,000001	0,000000001	0,000000000001

Tableau I.3. – Sous-multiples d’unités

2. Mesures expérimentales

2.1. Tableaux de mesure

En physique, on mesure souvent une grandeur y en fonction d’une grandeur x (exemple : on mesure le poids P de différents corps en fonction de leur masse m). On réalise alors un *tableau de mesures*. L’entête d’un tableau de mesure indique les grandeurs représentées *avec leurs unités!* Chaque ligne en-dessous de l’entête contient un *couple de mesure*.

masse $m(kg)$	poids $P(N)$
0,0	0,00
1,3	12,75
2,6	25,48
3,9	38,29
5,2	51,02

Tableau I.4. – Exemple d’un tableau de mesure

Les valeurs d'une même colonne d'un tableau de mesure doivent toujours être écrites avec un même nombre de chiffres décimaux. On n'ajoute pas les unités aux valeurs comme les unités sont déjà indiquées dans l'entête. Voir I.4.

2.2. Proportionnalité

Si lors d'une mesure d'une grandeur y en fonction d'une grandeur x , on constate que :

- en multipliant x par 2, y est aussi multiplié par 2
- en multipliant x par 3, y est aussi multiplié par 3
- en multipliant x par n , y est aussi multiplié par n (avec n un nombre quelconque),

...alors on dit que x est *proportionnel* à y , et on écrit $x \sim y$.

Si x est proportionnel à y , alors leur rapport est une *constante* : $\frac{y}{x} = \text{constante}$. En plus, la représentation graphique de y en fonction de x est une *droite passant par l'origine*.

Exemple

Dans le tableau I.4, si on multiplie la masse par 2 (p.ex. en passant de 1,3 kg à 2,6 kg), on voit que la valeur mesurée du poids n'est pas exactement doublée. Ceci est probablement une incertitude de mesure, ce qui ne nous empêche donc pas de dire qu'*aux incertitudes de mesure près*, le poids est proportionnel à la masse.

Dans le tableau I.5, nous avons calculé les rapports de ces deux grandeurs.

masse $m(\text{kg})$	poids $P(\text{N})$	$\frac{P}{m} \left(\frac{\text{N}}{\text{kg}} \right)$
0,0	0,00	/
1,3	12,75	9,81
2,6	25,48	9,80
3,9	38,29	9,82
5,2	51,02	9,81

Tableau I.5. – Rapport de deux grandeurs mesurées

On constate qu'*aux incertitudes de mesure près*, les rapports sont *constants*, ce qui confirme que la masse m est *proportionnelle* au poids P .

Remarque : Le rapport de la première ligne ne peut être calculé car la *division par zéro* n'est pas définie en mathématiques !

Réalisons la *représentation graphique* du poids P en fonction de la masse m . Il nous faut donc dresser un graphique dans lequel les valeurs de la masse se trouvent sur l'axe des x et celles du poids sur l'axe des y (y en fonction de x).

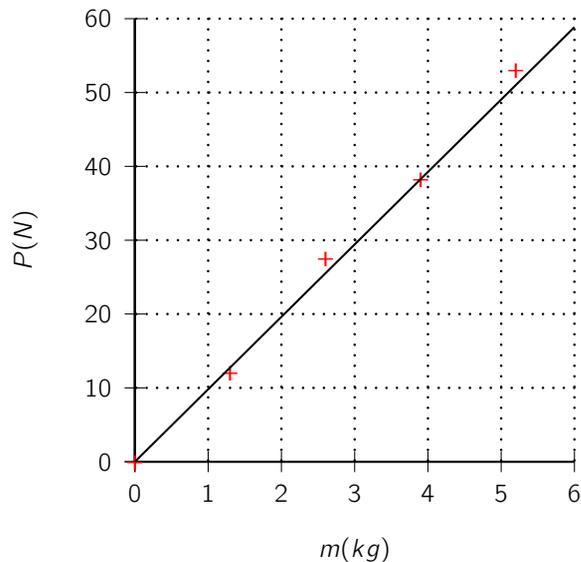


Figure I.1. – Exemple d'un graphique

La proportionnalité entre les deux grandeurs représentées est encore une fois confirmée comme, *aux erreurs expérimentales près*, les points se trouvent sur une *droite passant par l'origine*.

Attention : On ne relie jamais les points par des segments de droite ! Si on voit que les points se trouvent sur une droite, on ajoute cette droite (on l'appelle alors une *droite de régression*) au graphique. Evidemment, si les grandeurs représentées ne sont pas proportionnelles, cela ne fait pas de sens d'ajouter une telle droite.

Avant de faire une représentation graphique, il faut faire un choix judicieux pour les échelles. Dans le graphique de l'exemple, on a choisi $1 \text{ cm} \hat{=} 1 \text{ kg}$ (on lit « 1 cm correspond à 1 kg ») pour l'axe des x et $1 \text{ cm} \hat{=} 10 \text{ N}$ pour l'axe des y .

2.3. Incertitudes de mesure (Messungenauigkeit)

Il est important de savoir que toute mesure ne peut être prise qu'avec une certaine précision. Même avec des instruments de mesure très précis et en effectuant une mesure avec le plus de précaution possible, les valeurs mesurées comportent des incertitudes (on essaye de les *réduire* à un minimum, mais il est impossible de les *éliminer*).

3. Forces

3.1. Les effets d'une force

Une force n'est pas visible, mais on peut voir les *effets d'une force*. Elle peut :

- changer la nature du mouvement d'un corps : **effets dynamiques**
- changer la forme d'un corps : **effet statique**

3.1.1. Effets dynamiques

Il y a *changement de la nature du mouvement* lorsque la valeur de la vitesse change, ou bien lorsque la direction de la vitesse d'un corps change. Exemples :

- un corps, initialement immobile, est mis en mouvement (ex. : fusée qui est lancée)
- un corps, se déplaçant à une vitesse donnée, augmente sa vitesse (ex. : moto qui accélère)
- un corps, se déplaçant à une vitesse donnée, diminue sa vitesse (ex. : train qui décélère)
- un corps, se déplaçant à une vitesse donnée, est arrêté (ex. : voiture qui heurte un arbre)
- un corps en mouvement change de direction (ex. : bille en acier déviée par un aimant)
- un corps en mouvement change de sens (ex. : rebondissement d'une balle)

3.1.2. Effet statique

Les forces peuvent aussi *changer la forme d'un corps*.
ex. : déformation d'une cannette de boisson par une main

3.2. Principe d'inertie

Définition I.1 : Le principe d'inertie

Si un corps n'est soumis à aucune force ou à une ensemble de forces qui se compensent, alors le centre d'inertie (= centre de gravitation) du corps effectue un mouvement rectiligne et uniforme (MRU) : si le corps est au repos, il reste au repos ; si le corps est en mouvement, il continue son mouvement en ligne droite à vitesse constante.

3.3. Représentation d'une force

En physique, une force est représentée par un *vecteur*. Un vecteur possède, tout comme une force, 4 caractéristiques :

- le point d'application : le point où la force s'applique à un corps
- la direction : la ligne/droite d'action de la force
- le sens
- la norme : la grandeur/l'intensité de la force

Attention !

Le symbole \vec{F} d'un vecteur force désigne la force avec ses 4 caractéristiques.

Le symbole F (sans flèche) ne désigne que la norme de la force \vec{F} .

On peut donc bien écrire p.ex. $F = 3,2N$, **mais non** $\vec{F} = 3,2N$.

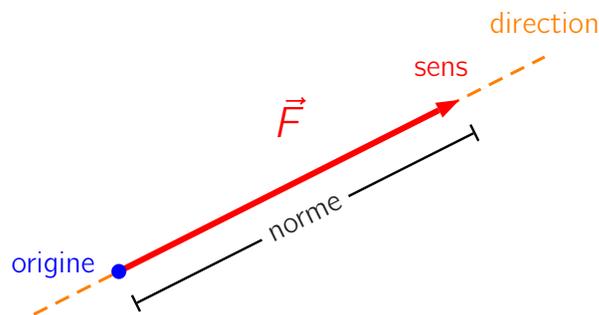


Figure I.2. – Vecteur force

3.4. Unité SI et instrument de mesure d'une force

On peut mesurer une force à l'aide d'un *dynamomètre*. A la base de son principe de fonctionnement est la „Loi de Hooke” : l'allongement d'un ressort est proportionnel à la force appliquée.

L'unité SI de la norme d'une force est le *newton* (N).

4. Masse

4.1. Définition

D'après le point 3, en l'absence de toute force, le mouvement d'un corps ne peut pas être modifié. Il conserve donc son mouvement rectiligne et uniforme (en ligne droite et à vitesse constante). Pour décrire cette propriété, on dit que *tous les corps sont inertes*. En effet, **l'inertie**

(*Trägheit*) est définie comme la propriété d'un corps à s'opposer à un changement de son mouvement. Cependant, un corps qui contient beaucoup de matière est plus inerte qu'un corps qui contient moins de matière. L'inertie est donc en relation avec la masse d'un corps.

Définition 1.2 : Masse

La masse est une mesure de l'inertie d'un corps.

Elle mesure la quantité de matière contenue dans un corps.

La masse d'un corps **ne dépend pas** de l'endroit où l'on se trouve. Elle est la même **partout dans l'Univers**.

4.2. Symbole, unité SI et instrument de mesure de la masse

On mesure une masse à l'aide d'une *balance* et de *masses marquées*.

Le symbole de la masse est m .

L'unité SI de la masse est le *kilogramme (kg)*.

Le kilogramme est la masse du kilogramme-étalon qui est conservé au Bureau des Poids et Mesures à Sèvres près de Paris en France

Conversion d'unités : $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$; $1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$; $1 \text{ mg} = 1000 \mu\text{g}$; $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$

5. Poids

5.1. Définition

Définition 1.3 : Poids

Le poids d'un corps est la **force** avec laquelle la Terre (ou tout autre corps céleste) attire ce corps.

5.2. Symbole, unité SI et instrument de mesure du poids

Comme le poids est une force, il est aussi mesuré par un *dynamomètre*.

De même, son unité SI est le *Newton(N)*.

Le symbole du poids est \vec{P} . (La norme du poids est représentée par le symbole P)

5.3. Caractéristiques du poids

Le poids a les caractéristiques suivantes :

- le point d'application est le *centre de gravité* du corps
- sa direction est *verticale*
- son sens est orienté *vers le centre de la Terre*
- sa norme **dépend** de l'endroit où l'on se trouve et est *proportionnelle à la masse*

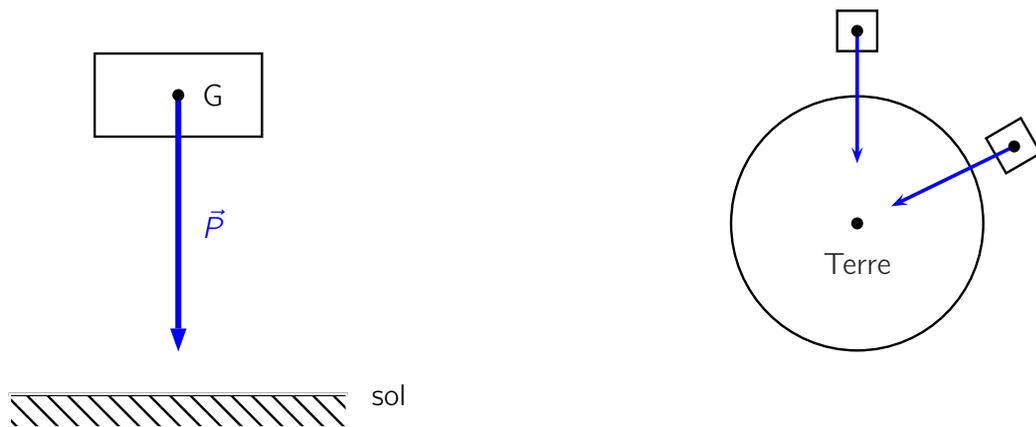


Figure I.3. – Vecteur poids

5.4. Relation entre poids et masse

La norme P du poids d'un corps donné est proportionnelle à sa masse m :

$$P \sim m$$

Le *facteur de proportionnalité* est appelé *intensité de la pesanteur* et est représenté par le symbole g .

L'intensité de pesanteur g renseigne avec quelle intensité de force un corps de masse 1 kg est attiré par le corps céleste près duquel il se trouve.

On a donc :

$$g = \frac{P}{m} \Leftrightarrow P = m \cdot g \Leftrightarrow m = \frac{P}{g}$$

Tout comme le poids, g dépend de l'endroit où l'on se trouve. Comme $g = \frac{P}{m}$, son unité SI est le $\frac{N}{kg}$ (newton par kilogramme).

Le tableau I.6 reprend quelques valeurs courantes de g .

endroit	$g(\frac{N}{kg})$
Terre (équateur)	9,78
Terre (Europe centrale)	9,81
Terre (pôles)	9,83
Lune	1,62
Jupiter	25,9
Mars	3,93

Tableau I.6. – intensité de la pesanteur en différents endroits

Exemple :

Un corps a une masse de 50 kg (cette masse est partout la même!). Son poids sur Terre vaut donc : $P_{\text{Terre}} = m \cdot g_{\text{Terre}} = 50 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 490,5 \text{ N}$. Sur la Lune, son poids vaut : $P_{\text{Lune}} = m \cdot g_{\text{Lune}} = 50 \text{ kg} \cdot 1,62 \text{ N/kg} = 81,0 \text{ N}$

5.5. Abus de langage

Dans la vie quotidienne, on entend souvent dire : « Mon poids vaut 75 kilos ».

Cette phrase contient deux erreurs :

- « kilo » n'est pas une unité mais signifie « 1000 » (v. page 6). L'unité de la masse est le « kilogramme » !
- l'unité du poids est le « newton ».

Correctement, il faudrait donc dire : « Ma masse vaut 75 kilogrammes », ou bien « Mon poids vaut 736 newtons ».

6. Masse volumique

6.1. Définition

Définition I.4 : La masse volumique

La masse volumique ρ d'un corps est égale au quotient de la masse m du corps par son volume V . Elle est une caractéristique de la matière dont est composé ce corps.

Symbole : ρ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \Leftrightarrow \quad m = \rho \cdot V \quad \Leftrightarrow \quad V = \frac{m}{\rho}$$

6.2. Unités

Comme l'unité SI de la masse est le kg , celle du volume le m^3 , l'unité SI de la masse volumique est le $\frac{kg}{m^3}$ (kilogramme par mètre cube).

Autres unités courantes de la masse volumique :

$$\frac{g}{cm^3} \quad / \quad \frac{kg}{L}$$

Conversion :

$$1 \frac{g}{cm^3} = 1000 \frac{g}{dm^3} = 1\,000\,000 \frac{g}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$
$$1 \frac{kg}{l} = 1 \frac{kg}{dm^3} = 1000 \frac{g}{dm^3} = 1 \frac{g}{cm^3}$$

Exemple : La masse volumique de l'or vaut $19,3 \text{ g/cm}^3$. Cela veut dire qu'un volume d'or de 1 cm^3 a une masse de $19,3 \text{ g}$.

La masse volumique de l'eau vaut $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/l}$.

II. Mécanique des liquides et des gaz

1. Pression

1.1. La notion de pression

Une brique posée sur un lit de sable s'enfonce plus ou moins profondément, suivant que la face sur laquelle elle repose est plus petite ou plus grande. En effet, cette brique exerce sur le sable une force égale à son poids. Cette force est dirigée verticalement vers le bas et elle est *répartie* sur toute l'étendue de la surface de contact S . L'effet de cette force dépend de l'aire S sur laquelle elle agit, ce qui nous amène à considérer la force qui s'exerce par unité de surface. Cette **force exercée par unité de surface** détermine précisément la notion de **pression**.

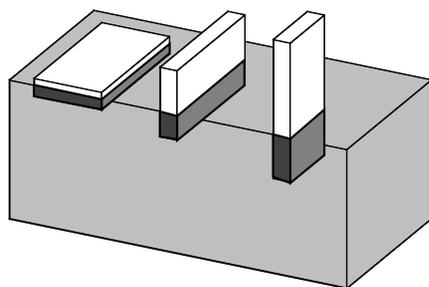


Figure II.1. – Brique posée sur un lit de sable

1.2. Définition, unités, instrument de mesure

Définition II.1 : Pression

Si une force \vec{F} s'exerce perpendiculairement (\perp) et uniformément sur une surface S , on appelle **pression** p la grandeur physique donnée par le quotient de la **force pressante** F par la **surface pressée** S .

$$p = \frac{F}{S}$$

L'unité de la pression est le pascal, défini par $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

Comme $p \sim F$ et $p \sim \frac{1}{S}$, une pression est d'autant plus grande que la norme de la force pressante est plus grande et que la surface pressée est plus petite.

Informations supplémentaires :

Comme l'unité SI de la norme d'une force est le *newton* (N), celle d'une surface le m^2 , il est clair que l'unité SI de la pression doit être le N/m^2 . En l'honneur du physicien français Blaise Pascal (1623-1662), on donne à cette unité le nom **pascal** (symbole : Pa).

$1 Pa$ est la pression créée lorsqu'une force de $1 N$ est répartie sur une surface de $1 m^2$. Une tablette de chocolat d'une masse de $\sim 100 g$, répartie en morceaux sur une table de surface $1 m^2$, exerce donc sur cette table une pression de $1 Pa$. Ceci étant très petit, on utilise souvent les multiples du pascal :

$$\begin{aligned} 1 \text{ kPa} &= 1000 \text{ Pa} , 1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} \\ 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ Pa} = 100.000 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Remarque : **1 mbar** = $10^{-3} \text{ bar} = 10^{-3} \cdot 10^5 \text{ Pa} = 10^2 \text{ Pa} = \mathbf{1 \text{ hPa}}$

Pour mesurer une pression, on utilise un *manomètre*. (Voir figure II.2)



Figure II.2. – Exemple d'un manomètre

1.3. Transmission d'une force pressante

La force \vec{F} exercée du haut sur la tige supérieure est transmise intégralement de la tige au cône, puis au bloc et enfin à la table. Mais alors que la force pressante conserve ses caractéristiques (*ligne d'action, sens, intensité*), chacun des solides «transmetteurs» reçoit une pression qui dépend de la surface pressée (S , S' ou S'') et de la force pressante appliquée à cette surface (ici : la force \vec{F} augmentée du poids des solides intermédiaires placés au-dessus de lui).

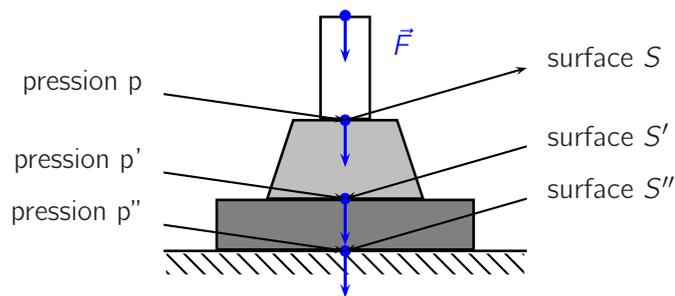


Figure II.3. – Transmission d'une force pressante par un solide

Conclusion : Un solide transmet intégralement la *force pressante* qui s'applique sur lui, alors que la *pression* qu'il transmet est différente de celle qu'il reçoit. Comme $S < S' < S''$, on a $p > p' > p''$.

1.4. Transmission d'une pression

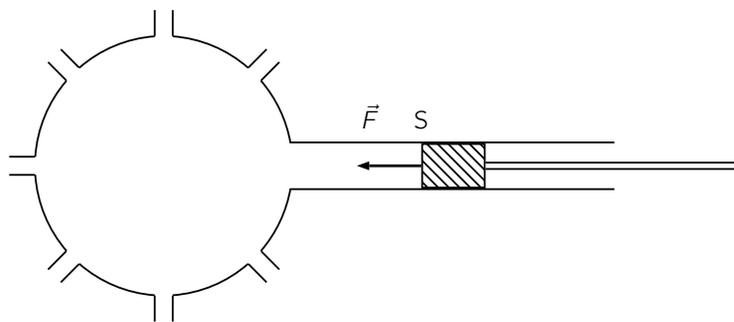


Figure II.4. – Transmission de la pression par un liquide

Considérons l'expérience de la figure II.4. La force \vec{F} exercée par l'intermédiaire du piston (surface S) sur le liquide enfermé produit une pression $p = \frac{F}{S}$ au sein du liquide. **Cette pression est transmise** (par les molécules du liquide) **dans toutes les directions avec la même intensité**. Un tel liquide sous pression se manifeste par une force pressante qu'il exerce sur chaque portion de surface du récipient qui le contient.

Cette **force pressante** est toujours **perpendiculaire** à l'élément de surface sur lequel elle agit (preuve : la direction initiale des jets d'eau est perpendiculaire à la paroi du récipient.)

1.5. La presse hydraulique

Une presse hydraulique utilise de l'huile pour transmettre une pression d'un piston vers un autre. Une force pressante \vec{F}_1 est exercée par un opérateur sur le piston à *petit diamètre*, ce qui

engendre une pression p dans l'huile. (Voir figure II.5)

$$p = \frac{F_1}{S_1}$$

Cette pression est transmise au piston à *grand diamètre*. Ce piston exerce une force pressante \vec{F}_2 vers le haut, de norme :

$$F_2 = p \cdot S_2$$

$$F_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2$$

Finalement :

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

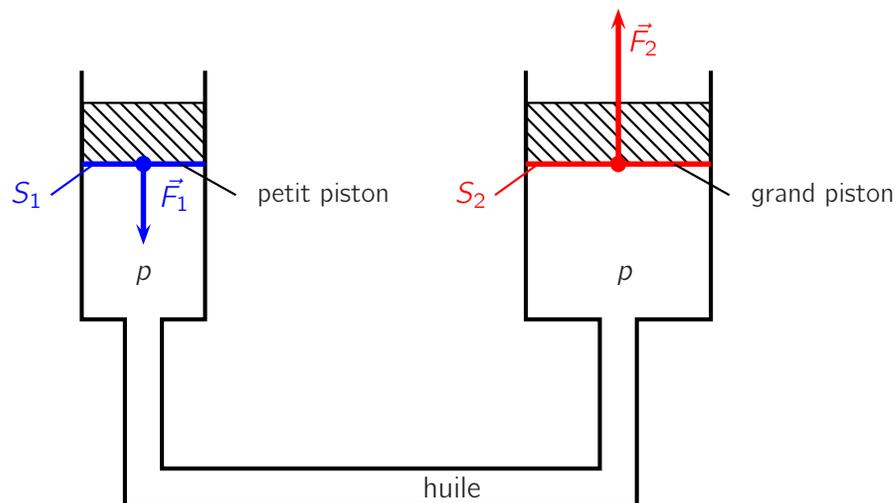


Figure II.5. – Schéma d'une presse hydraulique

La norme de la force utile est donc *amplifiée* par la presse hydraulique par un facteur identique au rapport des surfaces du grand piston par le petit piston.

Applications pratiques : système de freinage des voitures, ponts dans les ateliers de réparation, cric hydraulique ...

2. La pression hydrostatique

Définition II.2 : Pression hydrostatique

On appelle *pression hydrostatique* la pression qui règne au sein d'un liquide en équilibre et qui est due au poids de la colonne de liquide qui s'exerce contre une surface se trouvant à l'intérieur de ce liquide.

2.1. Mise en évidence expérimentale

2.1.1. Existence d'une force pressante sur une surface latérale

La membrane élastique bombée vers l'extérieur indique une *force pressante* (voir figure II.6)

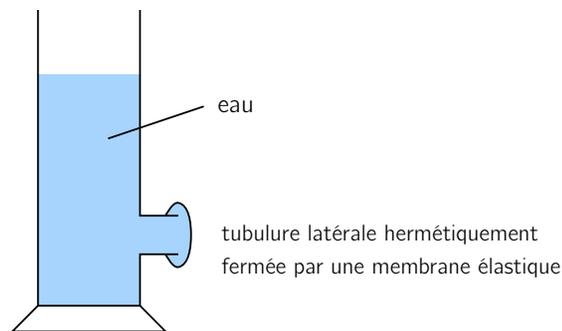


Figure II.6. – Force pressante sur la surface latérale

2.1.2. Existence d'une force pressante à l'intérieur d'un liquide

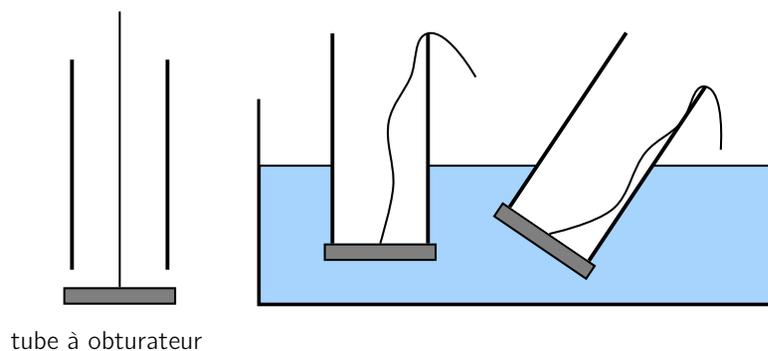


Figure II.7. – Force pressante à l'intérieur d'un liquide

Le fait que l'obturateur reste appliqué contre le tube cylindrique, quelle que soit l'orientation de celui-ci, montre que le liquide exerce sur lui une *force pressante*, constamment dirigée du liquide vers le tube. (voir figure II.7)

Conclusion : Un liquide en équilibre exerce une *force pressante* sur toute portion de surface en contact avec ce liquide.

2.2. La capsule manométrique

Pour mesurer une pression, on peut se servir d'une *capsule manométrique*, raccordée à un *manomètre en U* (voir figure II.8)

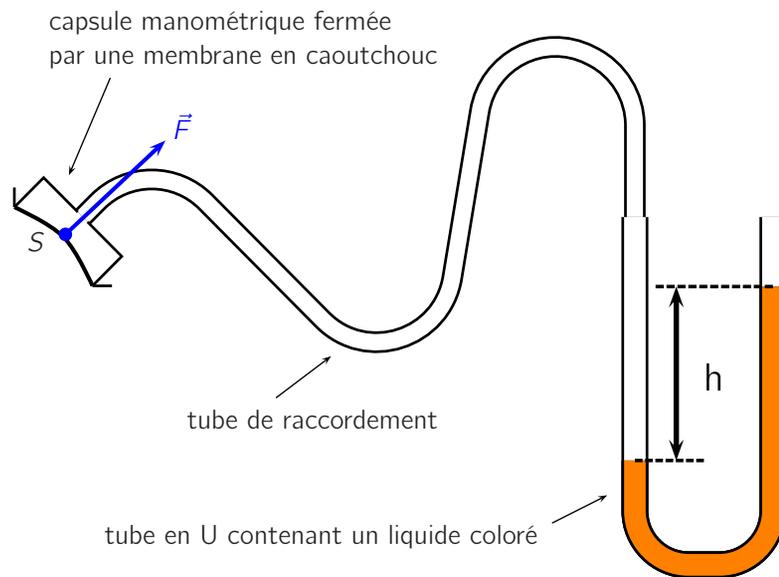


Figure II.8. – Capsule manométrique et manomètre en U

Lorsque des forces pressantes s'exercent sur la membrane en caoutchouc, l'air contenu dans le tube de raccordement est comprimé et provoque une *dénivellation* (h) du liquide dans le tube en U. La pression p est alors proportionnelle à cette dénivellation : $p \sim h$.

2.3. Propriétés de la pression hydrostatique

Plongeons la capsule manométrique dans un récipient rempli d'eau : la dénivellation observée confirme l'existence de la *pression hydrostatique*.

Nous constatons également que la pression hydrostatique :

- augmente progressivement avec la profondeur

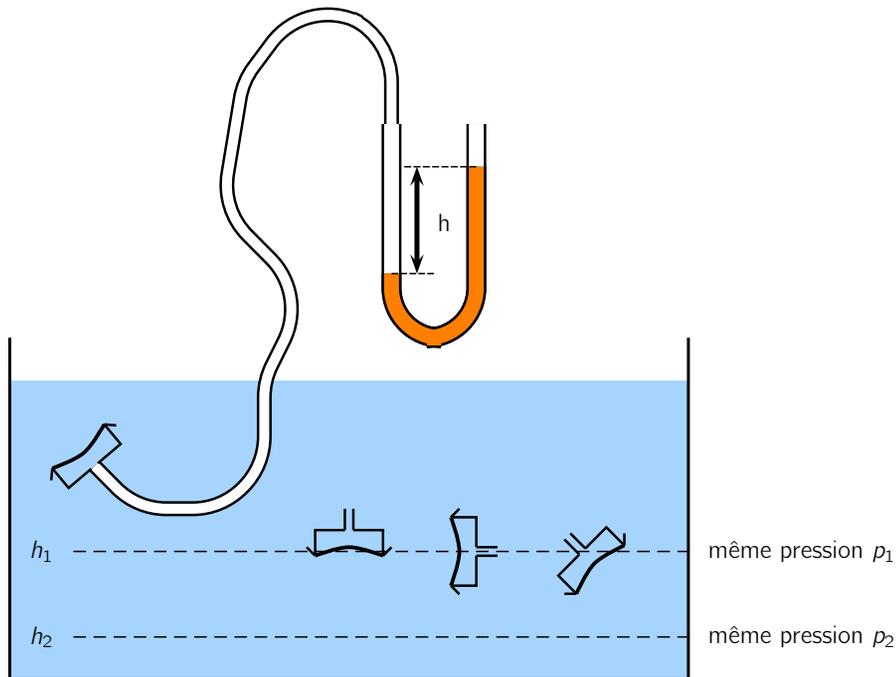


Figure II.9. – mesure de la pression hydrostatique

- est la même en tout point d'un même plan horizontal → *principe fondamental de l'hydrostatique*
- est indépendante de l'orientation de la surface pressée → *principe de Pascal*

Si enfin nous mesurons la pression hydrostatique régnant à la même profondeur dans trois *liquides différents*, à savoir l'eau ($\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3$), l'alcool ($\rho_{\text{alc.}} < \rho_{\text{H}_2\text{O}}$) et la glycérine ($\rho_{\text{glyc.}} > \rho_{\text{H}_2\text{O}}$), nous constatons que *la pression hydrostatique est d'autant plus grande que la **masse volumique** du liquide est plus grande.*

2.4. Expression de la pression hydrostatique

Proposons-nous maintenant de calculer la valeur de la pression hydrostatique dans un liquide donné.

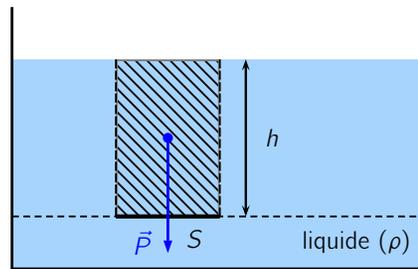


Figure II.10. – pression hydrostatique agissant sur une surface S à une profondeur h

Considérons une surface S se trouvant à une profondeur h dans un liquide en équilibre de masse volumique ρ .

Sur la surface S considérée repose une colonne du liquide de hauteur h . Le poids de cette colonne vaut :

$$\begin{aligned} P &= m \cdot g \\ \Leftrightarrow P &= \rho_{\text{liq.}} \cdot V \cdot g && (m = \rho_{\text{liq.}} \cdot V) \\ \Leftrightarrow P &= \rho_{\text{liq.}} \cdot S \cdot h \cdot g && (V = S \cdot h) \end{aligned}$$

Le poids \vec{P} constitue ainsi une *force pressante*, s'exerçant sur la surface S . Il provoque ainsi dans la couche observée la pression :

$$\begin{aligned} p &= \frac{P}{S} \\ \Leftrightarrow p &= \frac{\rho_{\text{liq.}} \cdot S \cdot h \cdot g}{S} \\ \Leftrightarrow p &= \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot h \end{aligned}$$

La pression hydrostatique dans un liquide de masse volumique $\rho_{\text{liq.}}$ et à une profondeur h , est donnée par l'expression :

$$p = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot h$$

2.5. Le paradoxe hydrostatique

Mesurons la pression hydrostatique au fond de *réipients de formes diverses* remplis jusqu'à la même hauteur avec un même liquide. La pression provoque la déformation d'une membrane en caoutchouc qui ferme le récipient à sa base. Cette déformation est indiquée par l'intermédiaire d'un levier.

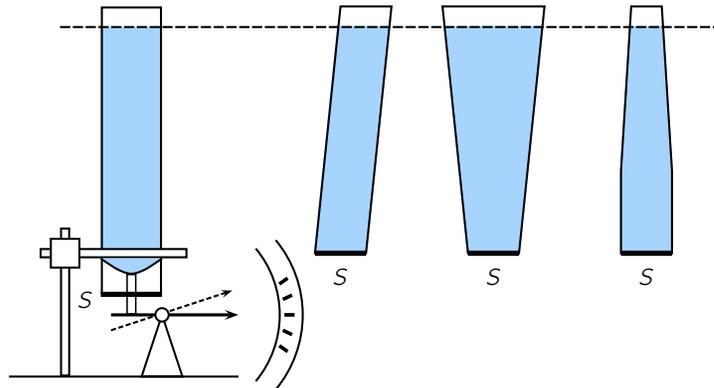


Figure II.11. – pression hydrostatique dans des vases de formes différentes

Conclusion : La pression hydrostatique au fond des divers récipients est **indépendante de la forme** de ces récipients. C'est le *paradoxe hydrostatique*.

2.6. Vases communicants

On appelle *vases communicants* des récipients de *formes quelconques*, ouverts à l'air libre et reliés entre eux par des tubes ou tuyaux permettant la circulation du fluide.

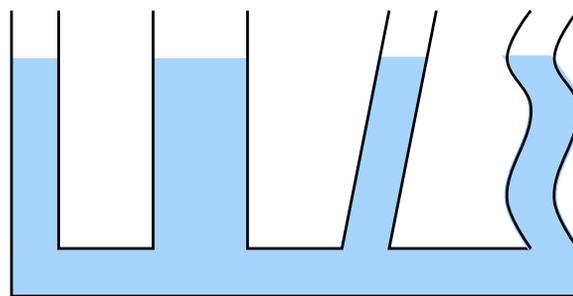


Figure II.12. – Vases communicants

Lorsqu'on verse un liquide dans des vases communicants, celui-ci coule dans tous les récipients et les *niveaux libres* du liquide dans les divers récipients se trouvent dans *un même plan horizontal*.

Exemples d'application :

- indicateur de niveau
- distribution d'eau dans les villes
- siphon

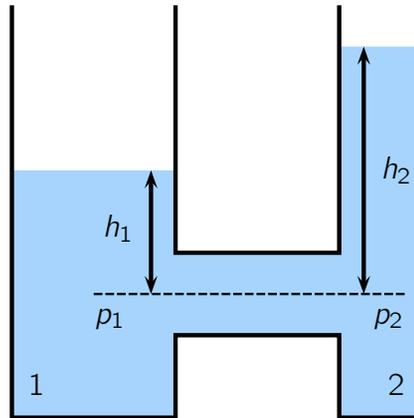


Figure II.13. – Ecoulement d'un liquide dans des vases communicants

Explication :

Dans le dispositif de la figure II.13, si on verse du liquide supplémentaire dans le tube 2 :

$$p_1 < p_2 \quad \text{car} \quad h_1 < h_2$$

⇒ le liquide s'écoule du vase 2 dans le vase 1. L'écoulement s'arrête lorsque $p_1 = p_2$, c.à.d. lorsque $h_1 = h_2$, donc lorsque les surfaces libres dans les deux récipients se trouvent dans le même plan horizontal.

3. La poussée d'Archimède

3.1. Mise en évidence expérimentale

Mesurons le poids P d'un corps à l'aide d'un dynamomètre. Puis plongeons le corps dans de l'eau (ou dans un autre liquide).

On constate que le poids du corps plongé dans le liquide *semble* être devenu plus petit (voir figure II.14). Cependant, il est évident que le poids \vec{P} n'a pas changé, comme la Terre attire le corps toujours avec la même intensité.

Il doit donc y avoir une force supplémentaire, exercée par le liquide sur le corps. Cette force doit être *verticale* et orientée *vers le haut* (elle s'oppose au poids). Cette force s'appelle **poussée d'Archimède**. Elle est représentée par le symbole \vec{F}_A .

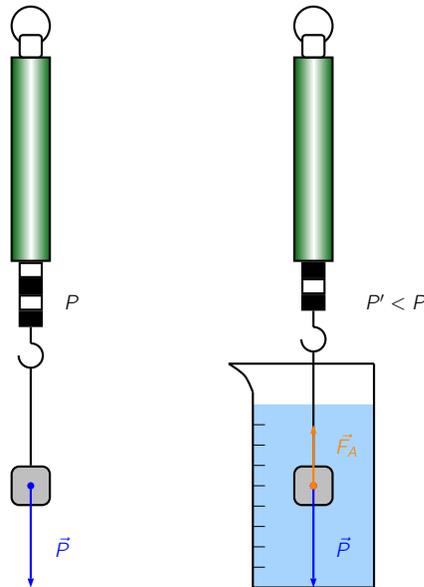


Figure II.14. – Poids et poids apparent

La force mesurée par le dynamomètre lorsque le corps plonge dans le liquide est le **poids apparent** \vec{P}' . C'est la *force résultante* du poids \vec{P} et de la poussée d'Archimède \vec{F}_A :

$$P' = P - F_A$$

Il en résulte que l'intensité de la poussée d'Archimède vaut :

$$F_A = P - P'$$

On constate de plus que *la poussée d'Archimède est indépendante de la profondeur d'immersion et de l'orientation du corps dans le liquide.*

3.2. Le principe d'Archimède

3.2.1. Expérience

A l'aide d'un dynamomètre, mesurons le poids P d'un solide : $P =$

Plongeons ensuite le solide dans un bécber « trop-plein », rempli d'eau (ou d'un autre liquide) et recueillons l'eau déplacée dans un autre récipient.

Mesurons le poids apparent : $P' =$

Nous en déduisons la valeur de la poussée d'Archimède : $F_A = P - P' =$

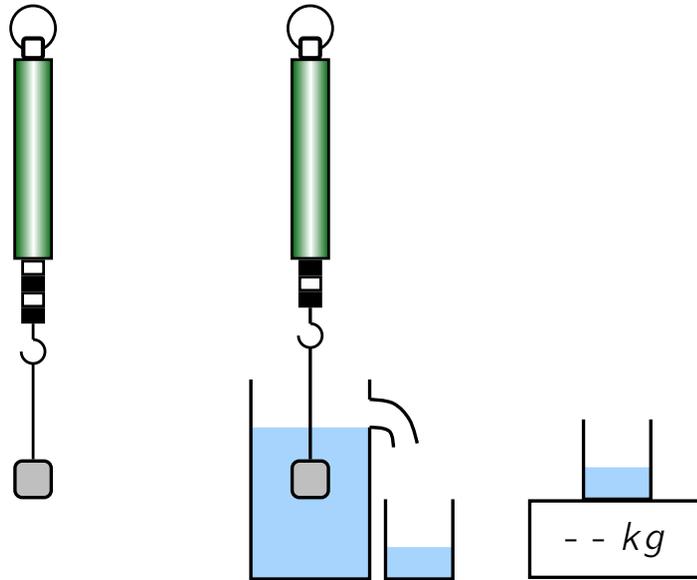


Figure II.15. – Mesure du poids du liquide déplacé

A l'aide d'une balance, déterminons la masse du liquide déplacé : $m_{\text{liq. dépl.}} =$

Le poids du liquide déplacé vaut alors : $P_{\text{liq. dépl.}} = m_{\text{liq. dépl.}} \cdot g =$

Conclusion :

3.2.2. Le principe d'Archimède

Le poids du liquide déplacé se calcule par : $P_{\text{liq. dépl.}} = m_{\text{liq. dépl.}} \cdot g = \rho_{\text{liq.}} \cdot V \cdot g.$

Définition II.3 : Enoncé du principe d'Archimède

Tout corps solide immergé dans un liquide en équilibre subit de la part du liquide une poussée verticale dirigée vers le haut et dont l'intensité est égale au poids du liquide déplacé.

$$F_A = P_{\text{liq. dépl.}} = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot V$$

avec $\rho_{\text{liq.}}$ la masse volumique du liquide et V le volume du liquide déplacé.

Si le corps est complètement immergé dans le liquide, le volume du liquide déplacé est égal au volume du corps V . Si le corps n'est qu'en partie immergé, alors le volume à prendre en compte est le volume immergé, c'est-à-dire le volume de la partie du corps qui se trouve sous l'eau.

3.2.3. Etablissement théorique de la formule d'Archimède

Soit un pavé de base S et de hauteur h , plongé dans un liquide de masse volumique $\rho_{\text{liq.}}$.

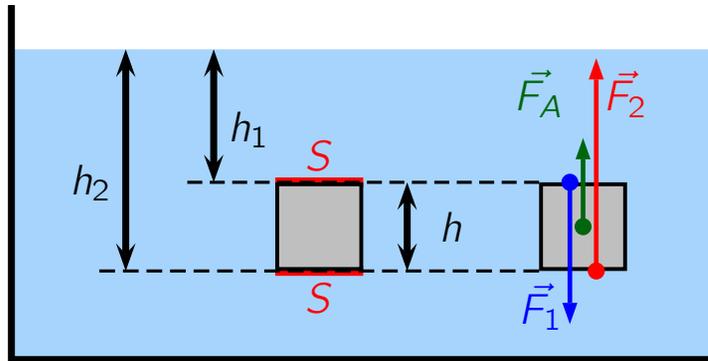


Figure II.16. – Pavé immergé dans un liquide

La face supérieure se trouve à une profondeur h_1 , et la face inférieure à une profondeur $h_2 = h_1 + h$.

La pression hydrostatique à la profondeur h_1 vaut : $p_1 = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot h_1$
 En h_2 , elle vaut : $p_2 = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot h_2$

Le liquide exerce donc la force pressante ascendante \vec{F}_2 sur la face inférieure telle que :

$$F_2 = p_2 \cdot S = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot h_2 \cdot S$$

La norme de la force pressante descendante \vec{F}_1 exercée par le liquide sur la face supérieure vaut :

$$F_1 = p_1 \cdot S = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot h_1 \cdot S$$

Comme $F_2 > F_1$, le corps est soumis à une force résultante dirigée vers le haut et de norme :

$$\begin{aligned} F_A &= F_2 - F_1 = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot S \cdot (h_2 - h_1) & | \text{ or : } h_2 - h_1 &= h \\ F_A &= \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot S \cdot h & | \text{ or : } S \cdot h &= V \text{ (volume du corps)} \\ F_A &= \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot V \end{aligned}$$

On retrouve la formule de 3.2.2. On peut montrer que cette formule reste valable pour toute autre forme que pourrait avoir le corps immergé.

Remarque : on ne doit pas considérer les forces pressantes sur les *faces latérales*, car la pression hydrostatique est la même de chaque côté à une profondeur donnée.

3.3. Corps flottants

Un corps solide immergé dans un liquide en équilibre est soumis à deux forces verticales et de sens contraires : son poids \vec{P} et la poussée d'Archimède \vec{F}_A .

Remarque : On suppose que le corps solide est homogène. Dans ce cas, son centre de gravité et son centre de poussée se confondent.

Trois cas peuvent se présenter :

1. Le poids est *plus grand* que la poussée d'Archimède. Le corps va descendre *vers le bas*.

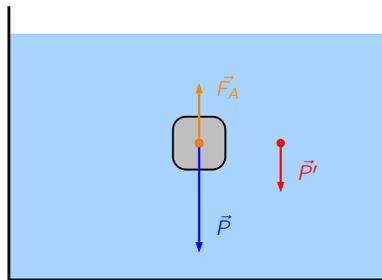


Figure II.17. – Corps qui coule

$$\begin{aligned} & P > F_A \quad | \text{ or : } P = m \cdot g = \rho_{\text{corps}} \cdot V \cdot g \text{ et } F_A = \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot V \\ \Leftrightarrow & \rho_{\text{corps}} \cdot g \cdot V > \rho_{\text{liq.}} \cdot g \cdot V \\ \Leftrightarrow & \rho_{\text{corps}} > \rho_{\text{liq.}} \end{aligned}$$

Si la masse volumique d'un corps est plus grande que la masse volumique du liquide dans lequel le corps est plongé, le corps va descendre vers le bas (il va couler).

2. Le poids est *plus petit* que la poussée d'Archimède. Le corps va monter *vers le haut*.

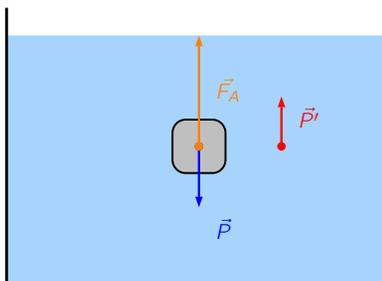


Figure II.18. – Corps qui nage

$$P < F_A$$

$$\Leftrightarrow \rho_{\text{corps}} < \rho_{\text{liq.}}$$

Si la masse volumique d'un corps est plus petite que la masse volumique du liquide dans lequel le corps est plongé, le corps va monter à la surface du liquide (il va nager).

3. Le poids est *égal* à la poussée d'Archimède. Le corps va *rester entre deux eaux*.

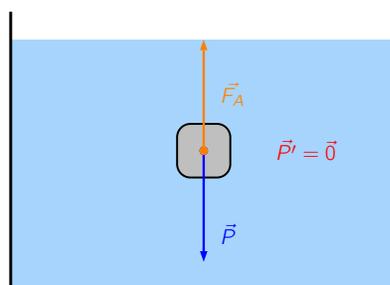


Figure II.19. – Corps qui reste entre deux eaux

$$P = F_A$$

$$\Leftrightarrow \rho_{\text{corps}} = \rho_{\text{liq.}}$$

Si la masse volumique d'un corps est égale à la masse volumique du liquide dans lequel le corps est plongé, le corps va flotter, c'est-à-dire il ne va ni descendre vers le bas, ni monter vers le haut.

Informations supplémentaires :

Ce principe est utilisé par l'homme et dans la nature. Exemples :

- Les **bateaux** sont construits tels que le poids de l'eau déplacé (et donc la poussée d'Archimède) soit supérieur au poids du bateau. Bien qu'un bateau soit construit de matériaux lourds (fer, ...), donc à masse volumique élevée, sa masse volumique moyenne est inférieure à celle de l'eau. En effet, il faut considérer la masse volumique *moyenne* du bateau, et cette dernière est relativement faible ($< 1000 \text{ kg/m}^3$), comme le bateau contient surtout de l'air ($\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$).

- La poussée d'Archimède d'un **sous-marin** est constante. Si on veut descendre le sous-marin, il faut donc augmenter son poids, ce qui est fait en remplissant sa double-paroi extérieure par de l'eau (on remplace l'air dans cette double paroi par de l'eau ce qui fait augmenter la *masse volumique moyenne* à une valeur supérieure à celle de l'eau. Si on veut monter à la surface, il faut de nouveau remplacer l'eau dans la double-paroi par de l'air. A cette fin, des réservoirs à air comprimé se trouvent à bord. Enfin, pour rester entre deux eaux, on remplit la chambre d'air avec autant d'eau pour que le poids soit exactement égal à la poussée d'Archimède. Dans ce cas, la *masse volumique moyenne* du sous-marin est exactement égale à celle de l'eau.
- Les **poissons** peuvent descendre ou monter dans l'eau grâce à leur *vessie natatoire* („*Schwimmblase*”). Ce sac est rempli de dioxygène (O_2), de dioxyde de carbone (CO_2) et de diazote (N_2). Certains poissons absorbent de l'air pour contrôler le volume de gaz qu'ils ont dans leur vessie natatoire. Si le volume d'air augmente, la *masse volumique moyenne* du poisson diminue (en effet, sa masse reste constante, mais son volume augmente), et le poisson monte vers le haut. Inversement, ils peuvent évacuer rapidement du gaz pour descendre. D'autres poissons contrôlent le volume de gaz grâce à des processus physiques et chimiques (échange de gaz avec le sang, ...).

4. La pression atmosphérique

4.1. L'atmosphère

La Terre est entourée d'une couche d'air qui nous permet de respirer et de vivre. Cette couche d'air s'élève à une grande altitude en devenant de moins en moins dense (*sa masse volumique diminue avec l'altitude*). Elle a une masse d'environ $5 \cdot 10^{18}$ kg, dont trois quarts se situent à une altitude inférieure à 11 km. L'atmosphère est retenue par la Terre grâce à la gravité (la Lune ou des planètes comme Mars n'ont pas d'atmosphère parce que leur masse et donc leur champ de gravitation sont trop faibles).

Cette masse d'air a un poids qui pèse sur toute la surface de la Terre. Comme on a défini une pression par $p = \frac{F}{S}$, le poids de l'atmosphère doit se manifester par une certaine pression $p_{atm} = \frac{P}{S}$ (avec P le poids de la colonne d'air au-dessus de la surface S). Cette pression est appelée **pression atmosphérique**.

La *pression atmosphérique* est donc analogue à une *pression hydrostatique*, où le liquide est cependant remplacé par de l'air.

Définition II.4 : Pression atmosphérique

On appelle pression atmosphérique notée p_{atm} la pression qui règne au sein d'un gaz en équilibre et qui est due au poids de la colonne d'air qui s'exerce contre une surface se trouvant à l'intérieur de ce gaz.

La valeur de la *pression atmosphérique normale* est de 1013 hPa !

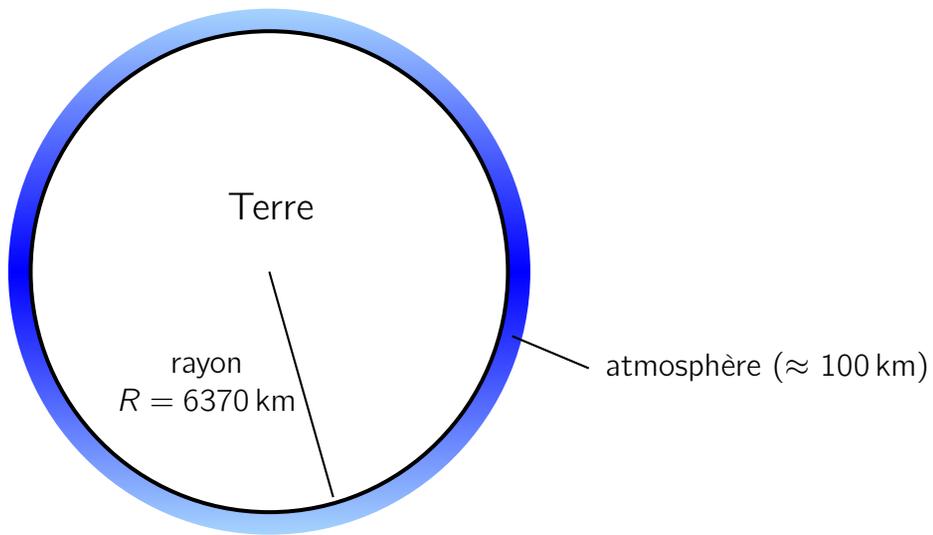


Figure II.20. – L'atmosphère terrestre

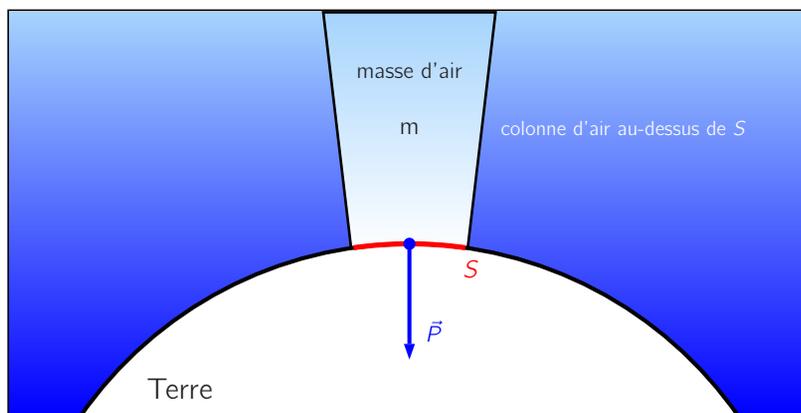


Figure II.21. – Origine de la pression atmosphérique

Informations supplémentaires :

Poussée d'Archimède atmosphérique

Tout comme les corps plongés dans un liquide (v. page 24), les corps qui se trouvent dans l'atmosphère subissent aussi une *poussée d'Archimède*. Néanmoins, comme la masse volumique de l'air est très faible, cette poussée est souvent négligeable (*le poids d'un homme par exemple est de loin supérieur à sa poussée due à l'atmosphère*).

Cependant, un ballon rempli d'Hélium (un gaz très léger, donc de masse volumique inférieure à celle de l'air) monte rapidement dans le ciel comme son poids est inférieur à sa poussée d'Archimède.

Ceci explique aussi pourquoi l'air chaud monte toujours vers le haut, au-dessus des couches d'air froides : en effet, l'air chaud a une masse volumique inférieure à l'air froid (les molécules vibrent plus fortement, donc le volume qu'ils occupent devient plus grand, tandis que leur masse reste inchangée → la masse volumique diminue!). Application : montgolfières, ...

4.2. Expériences démontrant l'existence de la pression atmosphérique

4.2.1. Expérience du crève-vessie

Posons sur le plateau d'une pompe à vide un manchon de verre fermé hermétiquement par un morceau de vessie ou d'une autre membrane élastique (en Cellophane p.ex.). Lorsque l'air atmosphérique se trouve de part et d'autre de la membrane, des *pressions* et donc des *forces pressantes* égales mais opposées s'exercent sur elle : la membrane *est en équilibre*.

Mettons la pompe en marche : l'air est retiré du cylindre.

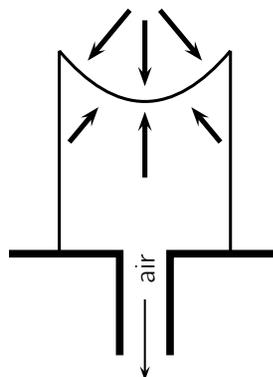


Figure II.22. – Expérience du crève-vessie

De ce fait, la pression *diminue à l'intérieur* et comme elle *ne change pas à l'extérieur*, la membrane s'enfonce. Finalement, la *pression à l'intérieur* devenant de plus en plus petite, les *forces pressantes* de l'extérieur sont suffisamment fortes pour faire éclater la membrane.

4.2.2. Expérience du verre rempli d'eau

Remplissons un verre complètement d'eau. Ajoutons-y une feuille de carton assez mince. Retournons le verre en maintenant la feuille de carton avec la main. Cessons de soutenir le carton : le liquide ne coule pas.

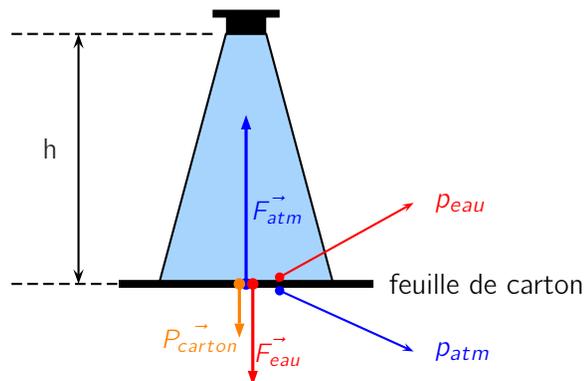


Figure II.23. – Expérience du verre rempli d'eau

En effet, 3 forces s'exercent sur le carton :

- le poids du carton \vec{P}_{carton} , dirigé vers le bas.
- la force pressante \vec{F}_{eau} que la pression hydrostatique de l'eau p_{eau} engendre sur la partie du carton délimitée par le bord du verre, dirigée vers le bas.
- la force pressante \vec{F}_{atm} que la pression atmosphérique p_{atm} engendre sur cette même partie, dirigée vers le haut.

On peut montrer que F_{atm} est largement supérieure à la somme des deux autres forces (voir exercices).

Remarque : s'il reste des bulles d'air dans l'eau, alors la pression hydrostatique au-dessus du carton est augmentée de p_{atm} (comme la pression dans les bulles d'air enfermées vaut aussi p_{atm}). La pression totale au-dessus du carton devient donc égale à $p_{eau} + p_{atm}$. Or, en-dessous du carton la pression ne vaut que p_{atm} : la feuille de carton va tomber.

4.2.3. Expérience des hémisphères de Magdebourg

Cette expérience a été réalisée en 1654 par le bourgmestre de Magdebourg d'antan, Otto von Guericke.

Deux hémisphères („Halbkugeln“) creuses, en laiton, s'accolent exactement l'une sur l'autre. Après avoir fait le vide à l'intérieur de la cavité formée par les deux hémisphères, celles-ci restent « collées » l'une sur l'autre sous la seule action de la force pressante que l'air exerce sur la surface extérieure. Il faut en effet attacher plusieurs chevaux des deux côtés de ces hémisphères pour arriver à les séparer !

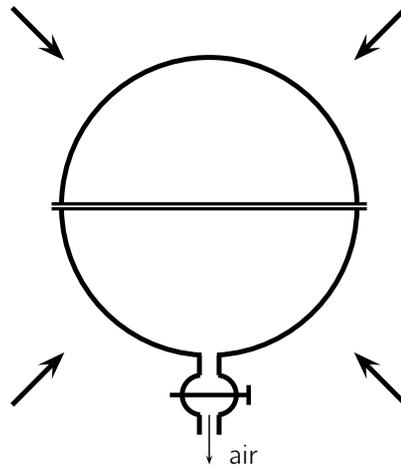


Figure II.24. – Les hémisphères de Magdebourg

4.3. Mesure de la pression atmosphérique

L'instrument de mesure de la pression atmosphérique est le *baromètre*.

On distingue différents types de baromètres.

4.3.1. Les baromètres anéroïdes

Le baromètre anéroïde fut mis au point par le français Lucien Vidi qui en déposa le brevet en 1841.

Les parois d'une capsule vide d'air, dite « capsule de Vidi » sont maintenues écartées par un ressort. La *pression à l'intérieur de la capsule* reste donc toujours *la même*. La *pression atmosphérique* exerce des forces pressantes *plus ou moins grandes* sur la capsule anéroïde et fait ainsi tourner une aiguille sur un cadran, grâce à un mécanisme de précision (voir figure II.25)

4.3.2. Les baromètres à mercure

Le fonctionnement d'un *baromètre à mercure* est mis en évidence dans l'*expérience de Torricelli* (voir figure II.26)

Un tube de verre (± 1 m de long), fermé à une extrémité, est complètement rempli de mercure (Hg). Puis, en le bouchant avec un doigt, on le plonge dans une cuve à mercure. En enlevant le doigt, on constate que *le mercure descend* et que son niveau *se stabilise* à une certaine *hauteur h* , de l'ordre de 76 cm, au-dessus de la surface libre de mercure dans la cuvette (la dénivellation h est indépendante de la forme, de la section et de l'inclinaison du tube).

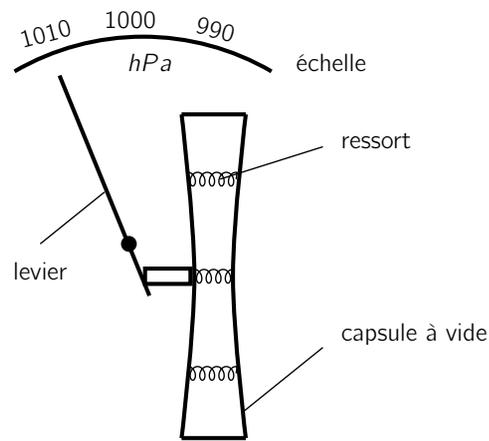


Figure II.25. – baromètre anéroïde

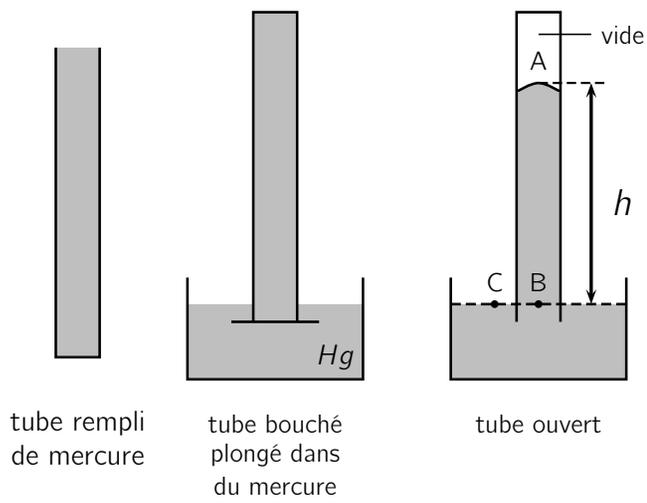


Figure II.26. – Expérience de Torricelli

Interprétation (Blaise Pascal 1647) :

Au point C, la pression vaut :

$$p_C = p_{atm} \quad (1)$$

En B, elle vaut :

$$p_B = p_A + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h$$

Or, la pression p_A est nulle, car au-dessus de A, il y a un *vide* ! D'où :

$$p_B = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Il faut que $p_C = p_B$, car B et C se trouvent dans un même plan horizontal (cf. 2.3 page 20). Avec (1) et (2), on a donc :

$$p_{atm} = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h$$
$$(\rho_{Hg} = 13,6 \frac{g}{cm^3})$$

C'est donc la pression atmosphérique qui, en agissant sur le mercure dans la cuvette, contraint la colonne de mercure à rester dans le tube.

Ceci présente une méthode très précise pour mesurer la *pression atmosphérique*.

Remarque : On pourrait également utiliser un autre liquide que le mercure. Cependant, la colonne de liquide deviendra bien plus longue, comme ces liquides ont une masse volumique inférieure à celle du mercure (le mercure est le liquide avec la plus grande masse volumique à température ambiante).

Autre unité pour les pressions :

A côté du *pascal* et du *bar* (et de leurs multiples et sous-multiples), on exprime parfois les pressions en *mmHg* (« millimètres de mercure »).

1 mmHg est la valeur de la pression hydrostatique au fond d'une colonne de mercure de hauteur 1 mm. Si $h = 1 \text{ mm}$, on a $p = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h = 133,4 \text{ Pa}$.

$$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa} = 1,33 \text{ hPa}$$

Informations supplémentaires :

Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Jusqu'à une altitude de $\sim 1000 \text{ m}$, la pression atmosphérique diminue *en bonne approximation* de 1 hPa chaque fois que l'altitude augmente de 8 m.

Au-delà de 1000 m, la pression diminue de façon non régulière. Le graphique de la figure suivante donne une bonne idée de cette variation.



Cette variation de la pression avec l'altitude permet de ramener la mesure d'une altitude à une simple mesure de la pression atmosphérique. Dans les avions, on utilise ainsi des baromètres qui indiquent directement l'altitude de vol. On les appelle alors *altimètres*.

Pression atmosphérique absolue et relative

La mesure de la *pression atmosphérique* est indispensable pour la prévision de la météo. C'est (entre autre) en comparant les pressions atmosphériques des différentes régions que les météorologues arrivent à prévoir des changements du temps.

Cependant, les différentes stations de mesure se trouvent pratiquement toujours à des altitudes différentes. Un baromètre, accroché au grenier, indique déjà une pression atmosphérique moins élevée qu'un autre qui se trouve dans la cave d'une même maison (si les instruments sont assez précis). Comment donc comparer les pressions atmosphériques en deux endroits différents ?

En fait, tout baromètre mesure ce qu'on appelle la pression atmosphérique *absolue*. C'est la pression atmosphérique qui existe exactement à l'endroit où elle est mesurée.

On compare cependant toujours les pressions atmosphériques *au niveau de la mer*. Evidemment, la plupart des endroits se situent au-dessus du niveau de la mer, voilà pourquoi on calcule, à partir de la pression atmosphérique absolue et de l'altitude de l'endroit de mesure, quelle *serait* la pression atmosphérique à l'endroit de mesure, mais au niveau de la mer. On obtient alors ce qu'on appelle la pression atmosphérique *relative*.

Ceci explique pourquoi les baromètres traditionnels indiquent toujours une pression atmosphérique *moins élevée* que celle annoncée dans les prévisions météorologiques (en fait, la pression absolue est toujours inférieure à la pression relative, à moins qu'on descende vers un endroit situé en-dessous du

niveau de la mer où c'est l'inverse). Si vous habitez dans une maison au niveau de la mer (près de la plage p.ex.), pression absolue et pression relative seraient identiques.

Pression atmosphérique normale

On dit que la pression atmosphérique relative est *normale* lorsqu'elle a une valeur de 1013,25 hPa. Ceci équivaut à 762 mmHg.

Lorsque, dans une région, on mesure une pression atmosphérique relative supérieure à cette valeur, on se trouve dans une *zone de haute pression*, également appelée *anticyclone* (généralement, le temps à venir sera beau).

Si la pression atmosphérique relative est en-dessous de 1013,25 hPa, on se trouve dans une *zone de basse pression*, encore appelée *dépression* (ce qui annonce souvent du mauvais temps).

5. Exercices

- Convertir les pressions suivantes en Pa :
 - $0,7 \text{ N/cm}^2$
 - 28 N/mm^2
 - $10,1 \text{ bar}$
 - 1022 mbar
- Convertir :
 - $580 \text{ Pa} = ? \text{ mbar}$
 - $3,5 \cdot 10^3 \text{ Pa} = ? \text{ bar}$
 - $1 \text{ bar} = ? \text{ N/cm}^2$
- Eléphant et talon d'aiguille
 - Quelle est la pression exercée par les pattes d'un éléphant d'Afrique de 5 tonnes si l'on admet qu'il est immobile et que la surface de contact de chacune de ses pattes avec le sol est un disque d'un diamètre de 30 cm ?
 - Comparer cette pression à celle exercée par les talons aiguille d'une femme de 60 kg en admettant que leur surface vaut 1 cm^2 et qu'ils supportent chacun le quart du poids de la femme.
- Une personne exerce une force de 10 N sur la tête d'une épingle. Quel est l'ordre de grandeur de la pression exercée par la pointe de cette épingle si l'on admet que sa surface vaut $1/100$ de mm^2 ?
- Un bloc d'acier a la forme d'un parallélépipède rectangulaire de $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$. Quelle est la pression exercée sur une planche horizontale quand il est posé sur sa face carrée ? ($\rho_{\text{acier}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$)
- Les rayons des deux cylindres d'une presse hydraulique sont respectivement 10 cm et 2 cm. Sur le grand piston, on exerce une force de 2500 N. Quelle force doit-on exercer sur le petit piston pour maintenir l'équilibre ?
- Quelle force l'eau exerce-t-elle sur la vitre du casque d'un scaphandre (Taucheranzug) dont la surface vaut 200 cm^2 , à 30 m de profondeur en eau douce ?
- Quelle est la force pressante exercée par l'eau sur la coque d'un sous-marin de surface $S = 2500 \text{ m}^2$, s'il se trouve à une profondeur de 150 m ? ($\rho_{\text{eau de mer}} = 1,03 \text{ g/cm}^3$)
- Déterminer la hauteur de mercure dans un récipient dont le fond a une aire de $1,25 \text{ dm}^2$ et qui subit de la part du liquide une force pressante de 450 N. ($\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3$)
- Un corps en laiton ($\rho = 8,7 \text{ g/cm}^3$) de volume $V = 200 \text{ cm}^3$ est immergé dans de l'huile ($\rho = 0,9 \text{ g/cm}^3$). Déterminer le poids apparent du corps dans l'huile !

II. Mécanique des liquides et des gaz

11. Quel est le poids d'une pierre de volume $V = 5 \text{ dm}^3$ et dont la masse volumique vaut $\rho = 2,8 \text{ g/cm}^3$? Que vaut la poussée subie par cette pierre dans l'eau douce ($\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$)? Quel est son poids apparent?
12. Une statue en cuivre a un poids de 7500 N. Complètement immergée dans l'eau douce, son poids apparent s'élève à 5200 N. La statue est-elle massive ou creuse? ($\rho_{\text{Cu}} = 8,9 \text{ g/cm}^3$).
13. Le poids d'un corps s'élève à $P = 72 \text{ N}$. Complètement immergé dans du pétrole ($\rho = 0,82 \text{ g/cm}^3$), son poids apparent vaut $P' = 47,4 \text{ N}$. Déterminer le volume et la masse volumique de ce corps!
14. Un corps cylindrique de hauteur $h = 8 \text{ cm}$ subit une poussée $F_A = 2,8 \text{ N}$ lorsqu'il est complètement immergé dans de l'huile. La pression au niveau de sa surface de base inférieure ($S = 40 \text{ cm}^2$) s'élève à $p_2 = 3000 \text{ Pa}$. Calculer :
 - a) l'intensité de la force pressante \vec{F}_2 sur la surface de base inférieure
 - b) l'intensité de la force pressante \vec{F}_1 sur la surface de base supérieure
 - c) la pression p_1 au niveau de sa surface de base supérieure
 - d) la masse volumique de l'huile
15. Un morceau de métal a un poids de 3,1 N. Plongé dans l'eau, il ne semble peser plus que 2,4 N. On demande :
 - a) son volume (en cm^3)
 - b) son poids apparent lorsqu'il est plongé dans un liquide de masse volumique $1,82 \text{ g/cm}^3$
 - c) la masse volumique d'un liquide qui exercerait sur ce corps une poussée de 0,56 N
16. Un ponton de forme rectangulaire flottant dans l'eau a une surface de base $S = 150 \text{ m}^2$, une hauteur $h = 35 \text{ cm}$ et est construit en bois de balsa ($\rho = 180 \text{ kg/m}^3$). Déterminer la charge maximale admise sur ce ponton, si l'on veut qu'il émerge encore de 15 cm de l'eau!
17. Un cube de fer d'arête 10 cm, de masse volumique $7,8 \text{ g/cm}^3$, flotte sur le mercure ($\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3$). Quelle est la hauteur de la partie immergée?
18. Un verre de 15 cm de hauteur et de 6 cm de diamètre est rempli d'eau jusqu'au bord. On place un morceau de carton sur le verre et on retourne le tout. Analyser les forces qui s'appliquent au carton et déterminer leurs intensités (on suppose une pression atmosphérique normale de 1013 hPa et on néglige le poids du carton). En déduire si le morceau de carton va rester en place ou tomber. Théoriquement, quelle devrait être la hauteur du verre pour que le morceau de carton ne tienne plus?

19. Lors de la lecture d'un baromètre à mercure, on relève pour la colonne de mercure une hauteur $h = 770$ mm. En déduire la pression atmosphérique. Si on répétait la même expérience en remplaçant le mercure par de l'eau, quelle serait alors la hauteur de la colonne d'eau ?

III. Electricité

1. Circuits électriques

1.1. Sources et récepteurs

Principalement, on distingue entre deux types de composantes électriques :

1. les *sources électriques* : une source d'électricité transforme une forme d'énergie quelconque en énergie électrique.

Exemples :

- Une pile transforme de l'énergie chimique en énergie électrique.
- Une dynamo transforme de l'énergie cinétique en énergie électrique.
- Une cellule photoélectrique transforme de l'énergie rayonnée (du soleil p.ex.) en énergie électrique.
- Dans une centrale atomique, de l'énergie nucléaire est transformée en énergie électrique.
- ...

2. les *récepteurs électriques* : un récepteur d'électricité transforme de l'énergie électrique en une autre forme d'énergie.

Exemples :

- Une ampoule électrique transforme de l'énergie électrique en énergie rayonnée (lumière + chaleur).
- Un moteur électrique transforme de l'énergie électrique en énergie cinétique.
- Lorsqu'un accumulateur (accu = pile rechargeable) est chargé, de l'énergie électrique est transformée en énergie chimique.
- ...

1.2. Symboles normalisés

Pour représenter un circuit électrique, on utilise des *symboles normalisés*, dont la signification est la même partout dans le monde. Voici quelques uns des symboles les plus courants :

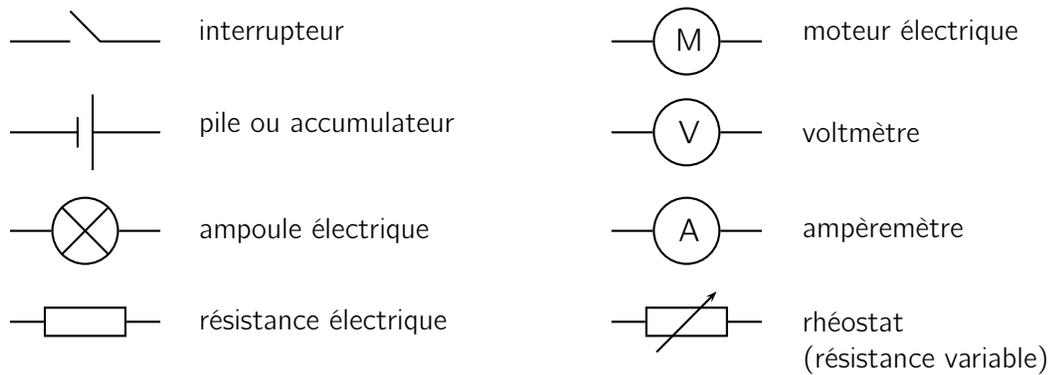


Figure III.1. – Symboles électriques normalisés courants

1.3. Bornes et pôles

Les composantes électriques possèdent en grande majorité toujours deux connexions, appelées *bornes*, une *borne d'entrée* et une *borne de sortie*. Pour les sources électriques (et pour certains récepteurs électriques) ces bornes sont appelées les *pôles*. On distingue alors le pôle positif et le pôle négatif (d'une pile p.ex.).

En ce qui concerne le symbole d'une pile électrique, le trait long symbolise le pôle + (positif), le trait court symbolise le pôle - (négatif). Souvent plusieurs piles sont associées pour former une *batterie* (de piles), comme dans la figure III.2.

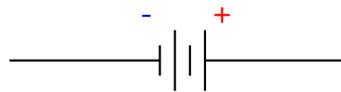


Figure III.2. – Pôles d'une batterie de piles

Informations supplémentaires :

Pour certaines composantes (ampoule électrique, ...), on peut ignorer la polarité, c'est-à-dire qu'on peut les brancher dans le sens inverse sans changer leur comportement. Pour d'autres cependant (moteur électrique, ampèremètre, voltmètre, piles, ...), il faut faire attention à la polarité pour éviter les risques de mauvais fonctionnements voire de destruction des composantes.

1.4. Circuit électrique simple

Le circuit le plus simple qu'on puisse réaliser est un circuit ne comprenant qu'une seule source de courant (p.ex. une pile) et un seul récepteur (p.ex. une ampoule), reliés par des fils conducteurs

et éventuellement un interrupteur. Le circuit électrique simple est formé d'une seule *maille*.

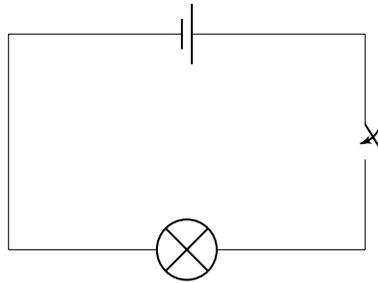


Figure III.3. – Circuit électrique simple

Si on *ferme* l'interrupteur, l'ampoule commence à briller : on dit qu'un *courant électrique circule* à travers le circuit. Dès que le circuit électrique est interrompu (on dit que le circuit est *ouvert*), l'ampoule ne brille plus : aucun courant électrique ne circule.

Conclusion :

Un courant électrique ne peut circuler à travers un circuit électrique que si le circuit électrique est *fermé*, c'est-à-dire si toutes ses composantes sont conducteurs du courant électrique.

1.5. Branchement en série/en parallèle

Considérons maintenant une situation où on veut brancher deux ampoules à une seule source de courant. Nous avons dès à présent deux possibilités :

1.5.1. Branchement en série

On place les ampoules l'une derrière l'autre. Le courant sort de la pile, passe par l'ampoule L_1 , puis traverse l'ampoule L_2 , et rentre finalement dans la pile (c'est le *même* courant qui traverse les 2 ampoules).

1.5.2. Branchement en parallèle

On place les deux ampoules dans deux branches¹ différentes, l'une en parallèle à l'autre. Le courant sort par le pôle + de la pile. Au nœud² A, le courant se divise en deux : une partie du courant circule à travers la branche du circuit qui comprend la lampe L_1 , alors qu'une autre partie circule à travers la branche du circuit qui comprend L_2 . Au nœud B, les deux courants se rejoignent de nouveau. Le circuit de la figure III.5a comprend donc deux branches.

1. Une branche est une partie du circuit électrique située entre deux nœuds consécutifs.
2. Un nœud est un point du circuit électrique auquel sont reliés au moins trois fils électriques.

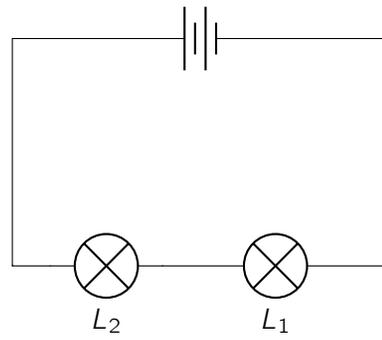
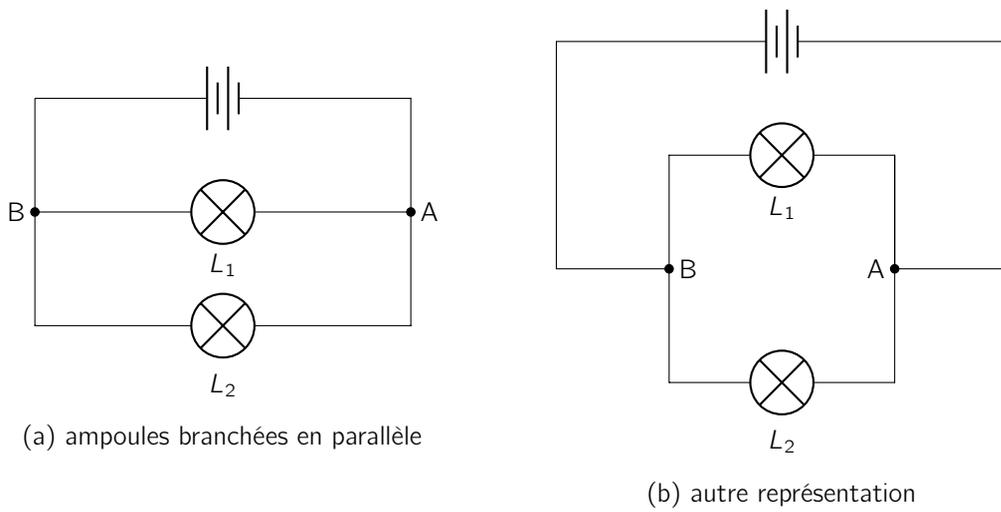


Figure III.4. – deux ampoules branchées en série



(a) ampoules branchées en parallèle

(b) autre représentation

Figure III.5. – 2 façons de représenter le même circuit

Remarque : Il y a toujours une multitude de possibilités pour représenter un même circuit électrique. Ainsi, le circuit de la figure III.5b a exactement la même fonction que celui de la figure III.5a.

1.5.3. Branchement en série/en parallèle d'interrupteurs

Considérons le circuit de la figure III.6a. Il comprend deux interrupteurs (S_1 et S_2) branchés en parallèle. Si l'un au moins des deux interrupteurs est fermé, le courant peut circuler. Pour éteindre la lampe, il faut ouvrir *les deux interrupteurs à la fois*.

Dans le circuit de la figure III.6b, les deux interrupteurs sont branchés en série. Cette fois-ci, la lampe *s'éteint* dès que l'un au moins des deux interrupteurs est *ouvert*. Pour que le courant électrique circule, il faut que les *deux interrupteurs* soient fermés *en même temps*.

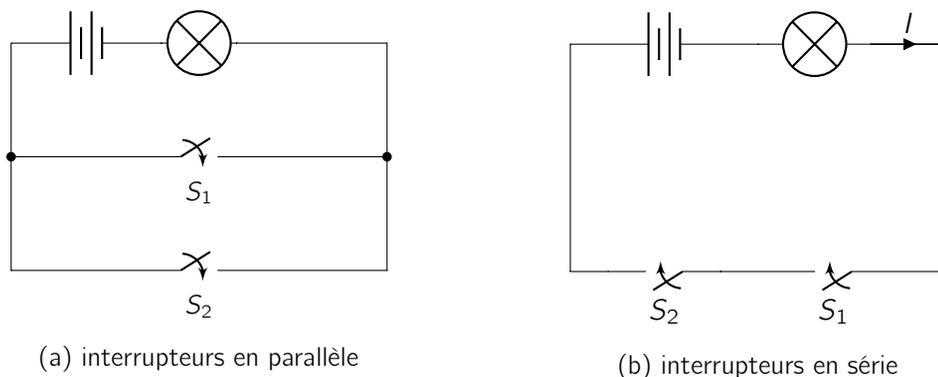


Figure III.6. – Différents branchements d'interrupteurs

1.5.4. Circuit va-et-vient

Un *circuit va-et-vient* est un montage électrique qui permet d'éteindre ou d'allumer une lampe (ou tout autre appareil électrique) à partir de deux interrupteurs, par exemple un interrupteur à chaque bout d'un couloir pour une même lampe. En particulier, il permet de changer l'état (allumée/éteinte) de la lampe à partir de chacun des interrupteurs et ceci, **indépendamment de l'état de l'autre interrupteur**. Ceci n'est pas possible avec les circuits étudiés au point 1.5.3.

Chacun des deux interrupteurs S_1 et S_2 est en contact avec ou bien le **fil 1**, ou bien le **fil 2**. Si les deux interrupteurs sont simultanément en contact avec le même fil (que ce soit le fil 1 ou le fil 2), le circuit est fermé et l'ampoule va s'allumer. Il suffit alors de changer l'état de l'un des deux interrupteurs pour que le circuit soit de nouveau ouvert et donc que la lampe s'éteigne.

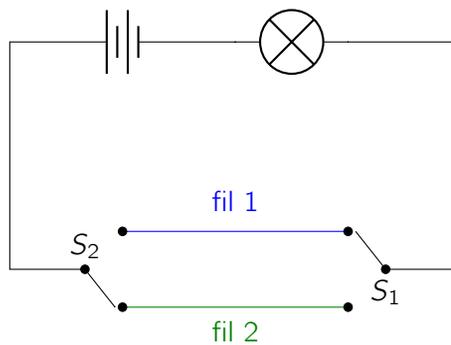


Figure III.7. – circuit va-et-vient

La position des interrupteurs sur la figure III.7 correspond à l'état ouvert du circuit. Il suffit de basculer S_2 vers le haut (le courant va alors traverser le fil 1) ou bien de basculer S_1 vers le bas (le courant va alors circuler par le fil 2) pour fermer le circuit.

1.6. Court-circuit

Lorsqu'un courant électrique peut traverser un circuit (ou une partie du circuit) dans lequel ne figure aucun récepteur d'électricité, on dit qu'on a un *court-circuit*.

Exemple :

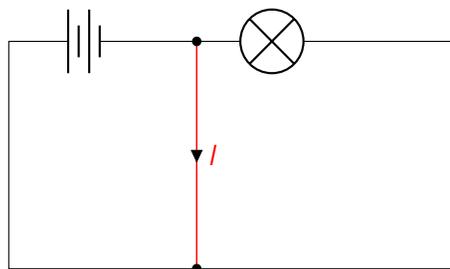


Figure III.8. – court-circuit

Dans cet exemple, le courant passe directement par le fil vertical (sans passer par l'ampoule qui reste donc éteinte). En effet, le fil a une résistance très faible (comparée à celle de l'ampoule), et l'intensité du courant électrique est toujours la plus élevée dans les conducteurs ayant la résistance la moins élevée (le concept de résistance électrique sera traité plus en détail en classe de 3^e).

Comme lors d'un court-circuit le courant passe par des composantes de faible résistance, l'intensité du courant va être très élevée. Par conséquent, les fils vont s'échauffer : toute

l'énergie électrique fournie par la source de courant est transformée par les fils en *chaleur* : il y a un risque de **destruction du circuit électrique**, et surtout un **risque d'incendie** !

2. Effets du courant électrique

Lorsqu'un courant électrique traverse un récepteur, plusieurs effets peuvent se présenter :

2.1. Effet calorifique

2.1.1. Expérience

Serrons un fil mince en fer entre deux isolants et branchons-le à une source de tension (figure III.9).

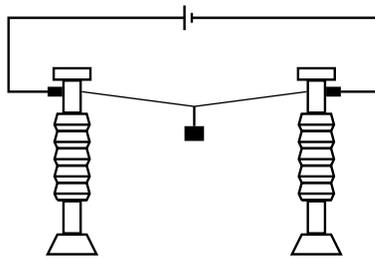


Figure III.9. – Effet calorifique du courant électrique

Si un courant d'une intensité assez élevée traverse le fil, la masse accrochée au milieu descend. Ceci est la preuve que le fil s'allonge, résultat d'un *échauffement*. Le fil devient chaud, puis incandescent (*glühend*) et fond (*schmelzen*) après un certain temps.

Définition III.1 : Effet calorifique du courant

On appelle *effet calorifique du courant électrique* le fait qu'un conducteur traversé par un courant électrique s'échauffe.

Informations supplémentaires :

Si on augmente davantage l'intensité du courant, le fil devient incandescent : en partant du rouge foncé ($\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$), on passe par un rouge clair ($\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), de l'orange au jaune, puis le fil brille pratiquement en blanc ($> 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Finalement, la température du fil devient tellement élevée qu'il fond et se déchire.

2.1.2. Applications

L'effet calorifique est mis à profit dans de nombreux appareils de la vie quotidienne comme le fer à repasser, le grille-pain, le chauffe-eau, les radiateurs électriques, le sèche-cheveux, . . .

À l'intérieur de ces appareils, on retrouve un filament, qui, en étant traversé par un courant intense, dissipe de la chaleur. Ces fils sont souvent faits d'alliages, comme le chrome-nickel³, adaptés à supporter de hautes températures. En plus, les fils de chauffage sont souvent enroulés en forme *hélicoïdale* : des portions de fil voisines peuvent ainsi se réchauffer réciproquement et donc atteindre une température plus élevée.

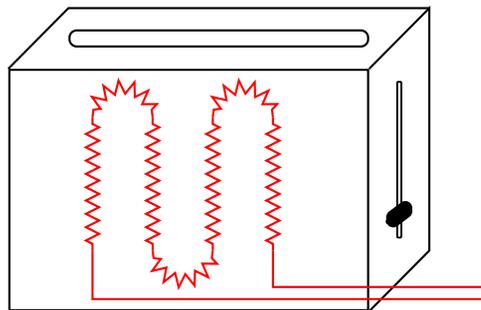


Figure III.10. – Fils de chauffage dans un grille-pain

Les *fusibles à fusion* (*Schmelzsicherung*) contiennent un fil très mince qui fait partie du circuit électrique à protéger. Le fil se déchire si l'intensité du courant dans le circuit devient trop importante (p.ex. lors d'un court-circuit), protégeant ainsi les autres composants du circuit.

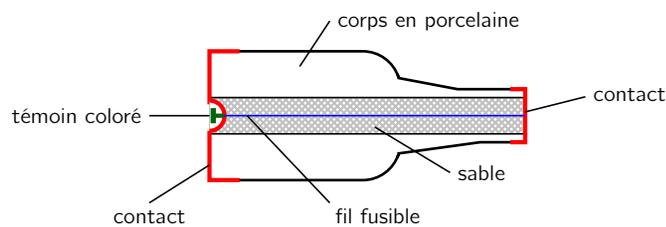


Figure III.11. – Fusible en porcelaine

Informations supplémentaires :

L'ampoule électrique

Une autre application importante de l'effet calorifique est l'ampoule électrique. En effet, au point 2.1.1, nous avons vu qu'un fil électrique assez mince, parcouru par un courant électrique intense, devient

3. le Cr-Ni est un alliage obtenu en incorporant par fusion du Chrome et du Nickel dans du fer

incandescent : il émet de la lumière blanche. En pratique, on utilise des fils en tungstène (Wolfram), comme son point de fusion est très élevé et le fil supporte donc de plus hautes températures.

Le courant entre par le plot central, traverse le filament, et ressort par le culot (ou bien inversement) (voir figure III.12). En présence de dioxygène, le filament porté à haute température brûlerait instantanément. Voilà pourquoi on remplace, lors de la fabrication, l'air contenu dans l'ampoule par un gaz inerte et l'ampoule est ensuite fermée hermétiquement.

L'avantage de l'ampoule électrique traditionnelle est qu'elle émet une lumière naturelle, agréable à la vue, et que sa durée de vie est assez élevée (on peut l'allumer et l'éteindre assez souvent avant que le filament se déchire). Son désavantage est que son rendement est très faible : seulement 20% de l'énergie électrique consommée n'est convertie en lumière, le reste est 'perdu' sous forme de chaleur.

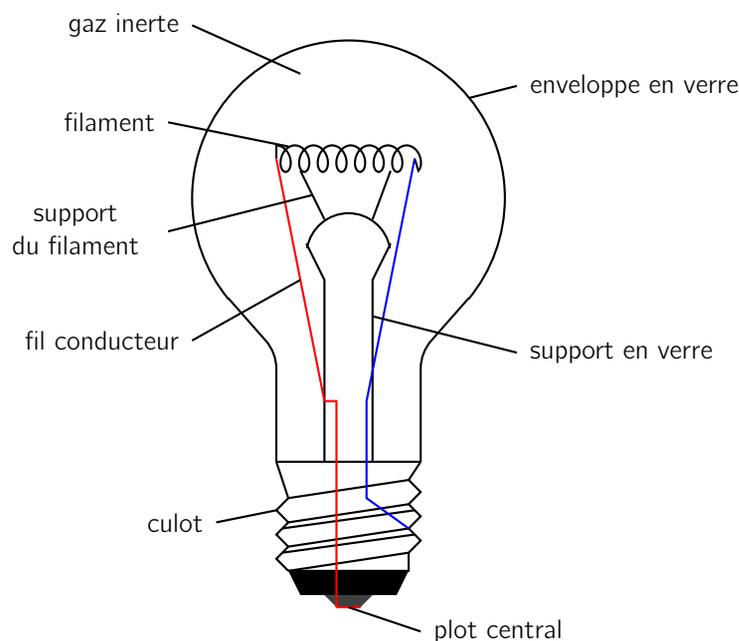


Figure III.12. – Ampoule électrique traditionnelle

2.2. Effet magnétique

2.2.1. Expérience d'Ørsted

Ørsted⁴ a découvert l'effet magnétique du courant électrique. Il a placé une aiguille aimantée en-dessous d'un fil orienté en direction Nord-Sud. On peut faire traverser le fil par un courant

4. Hans Christian Ørsted, physicien et philosophe danois, (1777-1851)

électrique assez intense.

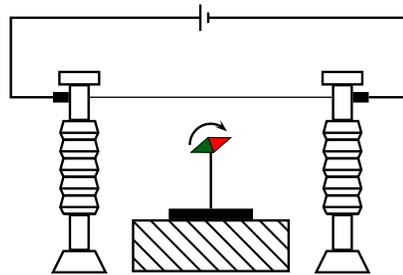


Figure III.13. – L'expérience d'Ørsted

Au début, l'aiguille s'oriente en direction Nord-Sud (grâce au champ magnétique terrestre). Elle est donc *parallèle au fil*.

On observe que l'aiguille est déviée dès qu'un courant électrique circule à travers le fil conducteur. Si le courant est assez intense, l'aiguille se met dans une direction *perpendiculaire* au fil. Si le sens de circulation du courant électrique est *inversé*, l'aiguille se place bien toujours perpendiculairement au fil, mais elle a tourné de 180°. Le courant électrique a donc modifié les propriétés magnétiques de l'espace autour du câble.

Définition III.2 : Effet magnétique du courant

On appelle *effet magnétique du courant électrique* le fait qu'un conducteur, parcouru par un courant électrique, produit un champ magnétique autour de lui.

2.2.2. Electroaimants

L'effet magnétique observé en 2.2.1 est très faible (il faut une aiguille aimantée très légère pour observer l'effet). On peut cependant l'amplifier en enroulant le fil en *spires* (*Wicklungen*). Les effets magnétiques de chacune des spires s'accumulent, ce qui conduit à un champ magnétique plus intense.

L'ensemble des spires enroulées constitue ce qu'on appelle une **bobine**, encore appelée **électroaimant**. On obtient des électroaimants *puissants* en enroulant un *grand nombre de spires* et en introduisant un *noyau de fer* au centre. En plus, l'intensité du champ magnétique augmente avec l'*intensité du courant électrique*.

De cette façon, on peut facilement construire des électroaimants puissants qui sont capables de soulever des objets d'une masse de plusieurs tonnes (électroaimants de levage).

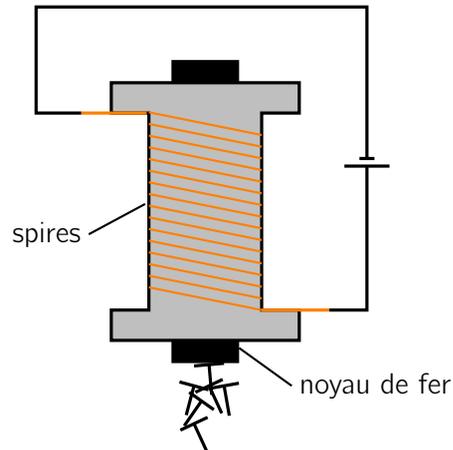


Figure III.14. – Clous soulevés par un électroaimant

2.2.3. Applications

L'effet magnétique est utilisé dans de nombreux appareils et applications de la vie quotidienne. Ainsi, on trouve des électroaimants dans les haut-parleurs, les coupe-circuits automatiques (automatische Sicherungen), les relais, le moteur électrique, ...

Une application intéressante est la *sonnette électrique*. Son fonctionnement repose sur le principe de l'*auto-coupeure* (voir figure III.15)

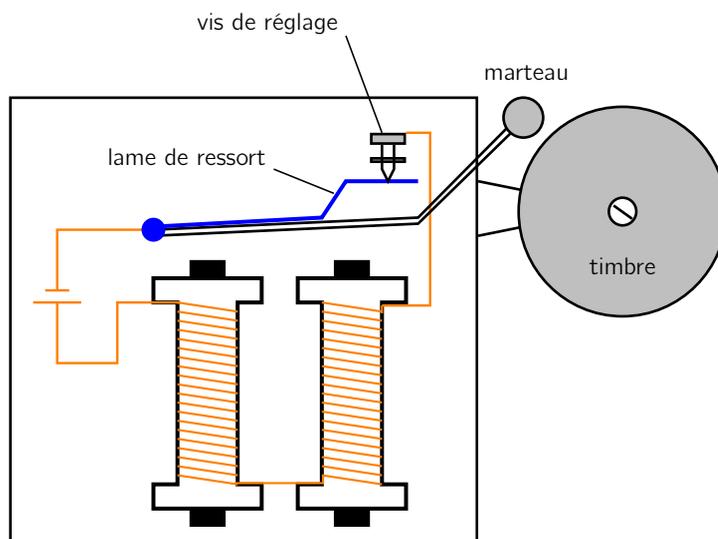


Figure III.15. – Sonnette électrique

Initialement, un courant circule à travers les électroaimants. Ceux-ci attirent le marteau qui

heurte alors le timbre. Or, si le marteau est en bas, la lame de ressort n'a plus contact avec la vis de réglage : *le circuit électrique est interrompu* → les électroaimants ne produisent plus de champ magnétique → le marteau n'est plus attiré. Ensuite, le marteau va de nouveau remonter (grâce à un ressort ou un contrepoids), jusqu'à ce qu'il touche la vis de réglage. *Le circuit électrique est de nouveau fermé* et le jeu recommence.

2.3. Effet chimique

Expérience :

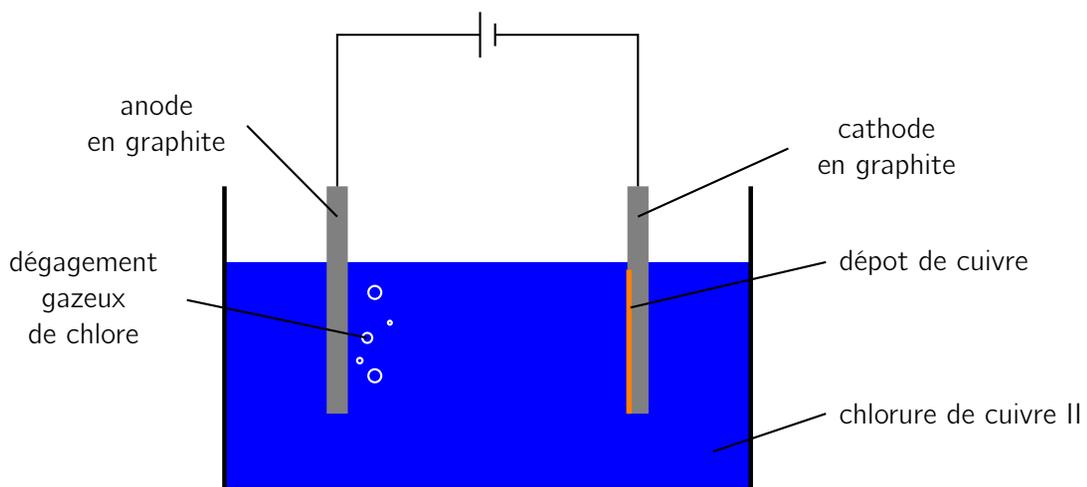


Figure III.16. – Electrolyse

On place deux électrodes en *graphite* dans un bain de *chlorure de cuivre II*. Une électrode (l'*anode*) est reliée au pôle positif d'une source de courant. L'autre (la *cathode*) est reliée au pôle négatif. (v. figure III.16)

Lorsqu'un courant électrique circule, on observe des bulles de gaz qui se dégagent de l'anode. A l'odeur on peut identifier le gaz en question : il s'agit de dichlore (Cl_2). Après quelque temps, on observe la formation d'un *dépôt de cuivre métallique* (Cu) sur la cathode.

Définition III.3 : Effet chimique du courant

On appelle *effet chimique du courant électrique* le fait qu'une solution liquide, parcouru par un courant électrique, produit une réaction chimique appelée électrolyse.

Les applications de l'électrolyse sont nombreuses, on l'utilise pour la préparation industrielle d'un grand nombre de corps (hydrogène, oxygène, chlore, soude, chlorate de potassium, aluminium, cuivre, ...).

Elle sert aussi à déposer une couche de métal (cuivre, nickel, chrome, argent, or, ...) sur un objet quelconque servant de support. Ce procédé est appelé *galvanisation*. On peut ainsi préserver le fer de la rouille en déposant une fine couche de nickel sur sa surface. On peut recouvrir un corps d'un métal précieux (bijoux, ...) par argenture ou par dorure électrolytique.

Le même phénomène permet l'affinage des métaux impurs, le cuivre par exemple⁵.

Autre application : lorsqu'on est en train de charger un accumulateur, un courant électrique circule à travers l'accumulateur (de son pôle + vers son pôle -). Ce courant produit des réactions chimiques qui transforment l'*énergie électrique* fournie en *énergie chimique*, stockée dans l'accumulateur jusqu'à la prochaine décharge. Le courant électrique produit donc un effet chimique.

2.4. Effet lumineux

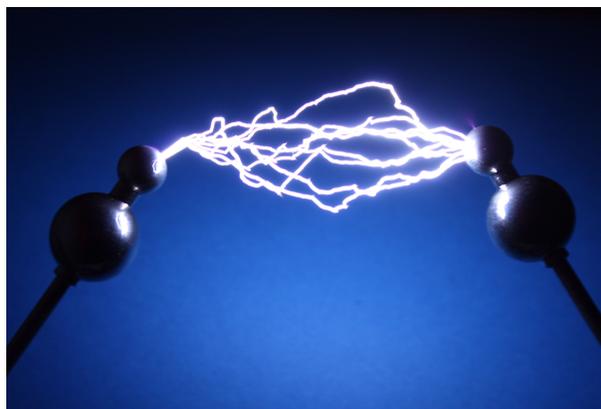
Définition III.4 : Effet lumineux du courant

On appelle *effet lumineux du courant électrique* le fait que sous des conditions extrêmes (p.ex. des tensions de quelques milliers de volts), les gaz, généralement isolants, sont ionisés et deviennent des conducteurs électriques. Lorsqu'ils sont traversés par un courant électrique, ils émettent de la lumière.

La couleur de la lumière émise dépend de la nature du gaz : l'air produit de la lumière blanche, le néon de la lumière rouge, l'hélium de la lumière jaune, ...

Exemples

- La machine de Whimshurst produit des éclairs entre ses deux électrodes lorsque la tension atteint quelques dizaines de milliers de volts.



- La lampe à lueur (voir p. 63)

5. l'industrie 'leader' dans ce domaine est la "Circuit Foil" à Wiltz

- Les tubes luminescents (TL) : voir information ci-après
- Les lampes fluorescentes compactes (LFC), appelées lampes à basse consommation (Energiesparlampe)
- Les diodes électroluminescentes (LED = light emitting diode)

Informations supplémentaires :

Les tubes fluorescents ou tubes luminescents (TL)

Un tube fluorescent est un type particulier de lampe électrique, qui produit de la lumière grâce à une *décharge électrique* dans un tube. Leur lumière peut être blanche (pour l'éclairage intérieur) ou colorée (éclairage des routes, enseignes, ...)

Les lampes fluorescentes utilisées pour l'éclairage intérieur contiennent un mélange d'argon et de vapeur de mercure à basse pression, et *pas forcément du néon* comme le langage populaire le laisserait croire. La lumière visible est produite par deux processus successifs :

1. L'ionisation du mélange gazeux sous l'effet d'un courant électrique génère des rayonnements dans la gamme des ultraviolets (donc invisibles), mais très énergétiques.
2. Ce premier rayonnement est ensuite converti en lumière visible, moins énergétique (la différence donnant de la chaleur), à la surface interne du tube par un mélange de poudres fluorescentes.

Les lampes 'à basse consommation électrique', encore appelées lampes fluorescentes compactes (LFC), qui remplacent peu à peu les ampoules traditionnelles fonctionnent selon le même principe (elles contiennent cependant un circuit électrique intégré qui permet un allumage rapide).

L'avantage des tubes fluorescents est une consommation d'énergie bien réduite (seulement peu d'énergie est dissipée sous forme de chaleur). Une fois allumés, leur durée de vie est très élevée.

Un désavantage est la lumière produite qui est souvent ressentie comme étant 'assez froide'. Comme les tubes fluorescents contiennent des substances toxiques (mercure, ...), leur recyclage n'est pas facile et nécessite une grande partie de l'énergie économisée face aux ampoules à incandescence. Finalement, ce type de lampe a une durée de vie très réduite lorsqu'on les éteint/rallume souvent et elles ont besoin d'un certain temps avant qu'elles brillent avec leur intensité finale.

Les diodes électroluminescentes

Une diode électroluminescente (*LED* : '*light-emitting diode*') est un composant opto-électronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Il est certain que ce type de 'lampes' joue un rôle important dans le futur des techniques d'éclairage. Leur rendement est supérieur à celui de tout autre type de lampes. En plus, leur taille est très faible et elles existent en différentes couleurs.

3. Charges électriques

3.1. Electrification par frottement

Expérience :

Frottons un *bâton d'ébonite* avec un morceau de *peau de chat*. Approchons-le de *petits bouts de papier*. On observe que les bouts de papier sont *attirés* par le bâton frotté.

De même, en approchant le bâton d'ébonite frotté d'un filet d'eau s'écoulant du robinet, on constate que le jet d'eau est attiré et s'écarte de la verticale.

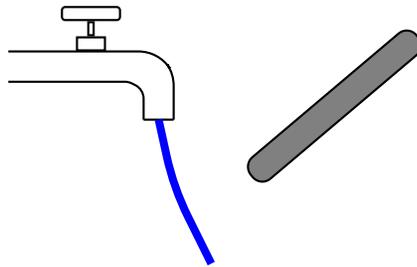


Figure III.17. – filet d'eau et bâton d'ébonite 'électrisé'

Conclusion :

Certains corps acquièrent la propriété d'attirer des corps légers. On dit que ces corps se sont *électrisés* par frottement ou encore que **le frottement a fait apparaître des charges électriques sur ces corps**.

3.2. Les deux espèces de charges électriques

Expérience :

- Approchons d'un bâton d'ébonite frotté avec une peau de chat un autre bâton d'ébonite frotté avec une peau de chat.
- Approchons d'un bâton de verre frotté avec du drap un autre bâton de verre frotté avec du drap.
- Approchons ensuite d'un bâton de verre frotté un bâton d'ébonite frotté (ou inversement).

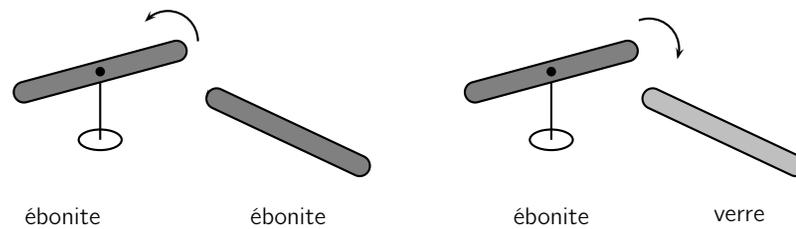


Figure III.18. – interactions entre bâtons chargés

On constate :

- deux bâtons d'ébonite resp. deux bâtons de verre se repoussent
- un bâton de verre attire un bâton d'ébonite (et inversement)

L'ensemble des objets électrisés peut être partagé en deux catégories, selon qu'ils attirent ou repoussent un corps préalablement choisi. Deux corps de même catégorie se repoussent et un corps d'une catégorie attire un corps de l'autre catégorie. Il existe donc **deux espèces de charges électriques**.

Par convention, une baguette de verre électrisée par frottement ainsi que tous les corps de cette catégorie portent des **charges positives** ; ceux de l'autre catégorie des **charges négatives**.

3.3. Un modèle de l'atome

Pour comprendre l'apparition de charges sur certains corps, il est nécessaire d'analyser de plus près un *modèle de l'atome*, à savoir le modèle atomique de Rutherford⁶, dans lequel *un atome est formé d'un noyau entouré d'électrons*.

3.3.1. Le noyau atomique

Presque toute la matière (*masse*) de l'atome est concentrée dans le noyau ; son diamètre est environ mille fois plus petit que celui de l'atome. Il a une masse volumique très élevée.

Le noyau est formé de *deux sortes de particules* : les **protons** et les **neutrons**. Les protons sont porteurs d'une *charge électrique positive*. Les neutrons n'ont *aucune charge électrique*, ils sont électriquement *neutres*.

6. Sir Ernest Rutherford (1871-1931) est considéré comme le père de la physique nucléaire

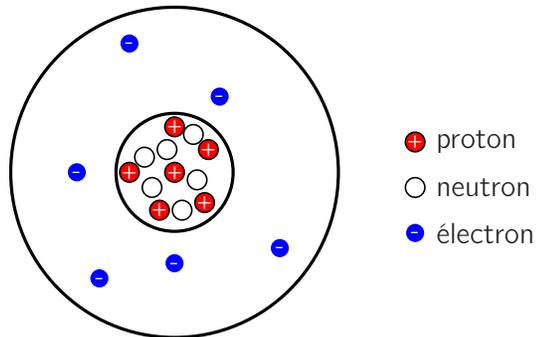


Figure III.19. – Un atome de carbone

3.3.2. Les électrons de l'atome

Les *électrons* sont des particules beaucoup plus petites que les protons ou les neutrons. La masse de l'électron est environ deux mille fois plus petite que celle du proton.

Les électrons sont animés d'un mouvement circulaire autour du noyau. Dans l'atome, entre le noyau et les électrons, il n'y a rien (*vide*).

Les électrons sont porteurs d'une *charge électrique négative*.

3.3.3. La charge élémentaire

La charge électrique du proton est appelée *charge élémentaire*. Elle est notée **e**.

La charge électrique de l'électron est *exactement opposée* à celle du proton. La charge de l'électron s'écrit donc **-e**.

Le symbole utilisé pour la charge électrique est **Q** et l'unité SI de la charge électrique est le *coulomb*⁷.

La *charge élémentaire e* a la valeur $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

La *charge d'un électron* vaut donc $Q_{e^-} = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Revenons à l'exemple de notre atome de carbone : un atome, dans son état normal, *possède autant de protons que d'électrons*. Sa charge globale est donc *nulle*. On dit que l'atome est **électriquement neutre**.

⁷. nom de l'unité en l'honneur de Charles Augustin Coulomb (1736-1806), officier, ingénieur et physicien français

Dans l'exemple de la figure III.19, l'atome de carbone représenté est un atome neutre, car il possède 6 électrons et 6 protons. La charge totale du noyau vaut $6e$, la charge totale des électrons vaut $-6e$, la charge globale de l'atome vaut $6e+(-6e)=0$.

3.3.4. Atomes chargés

Si on veut charger un atome, on peut ou bien lui *retirer des électrons*, ou bien lui *ajouter des électrons*.

Il est impossible de retirer ou d'ajouter des protons à un atome. Le nombre de protons est caractéristique de l'élément auquel appartient l'atome.

Exemple : Un atome de carbone est caractérisé par 6 protons. Un atome à 7 protons appartient à l'élément azote. Il est impossible de changer un type d'atome en un autre.

- En **enlevant un ou plusieurs électrons** à un atome initialement neutre, cet atome devient **chargé positivement** (on l'appelle alors *ion positif* ou *cation*).

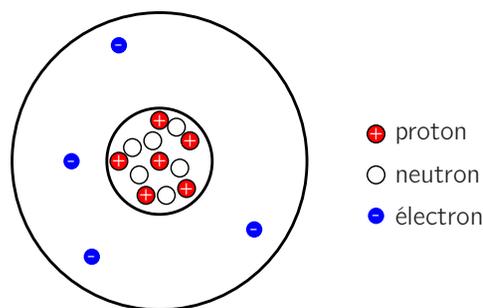


Figure III.20. – Un ion positif

Dans l'exemple de la figure III.20, on a un atome de carbone dont le noyau a une charge de $6e$. La charge totale des électrons vaut $-4e$. La charge globale de l'atome vaut donc $6e+(-4e)=2e$ (charge positive).

- En **ajoutant un ou plusieurs électrons** à un atome initialement neutre, cet atome acquiert une **charge négative** (on l'appelle alors *ion négatif* ou *anion*).

Dans l'exemple de la figure III.21, on a un atome de carbone dont le noyau a une charge de $6e$. La charge totale des électrons vaut $-9e$. La charge globale de l'atome vaut donc $6e+(-9e)=-3e$ (charge négative).

3.4. Interprétation de l'électrisation

Avant le frottement, le bâton d'ébonite respectivement la peau de chat sont électriquement neutres (ils possèdent autant d'électrons que de protons).

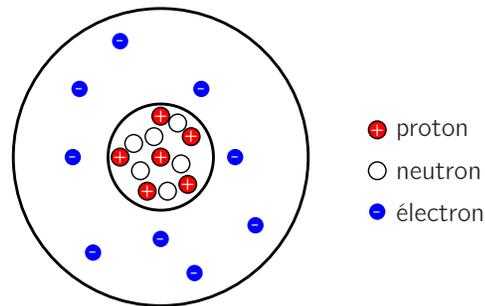


Figure III.21. – Un ion négatif

En les frottant, on agit sur les atomes situés à la surface du bâton et de la peau de chat. Le bâton d'ébonite *arrache des électrons* aux atomes constituant la peau de chat ; il possède alors un *excès d'électrons* : il est **chargé négativement**. La peau de chat de son côté présente un *manque d'électrons* : elle est **chargée positivement**.

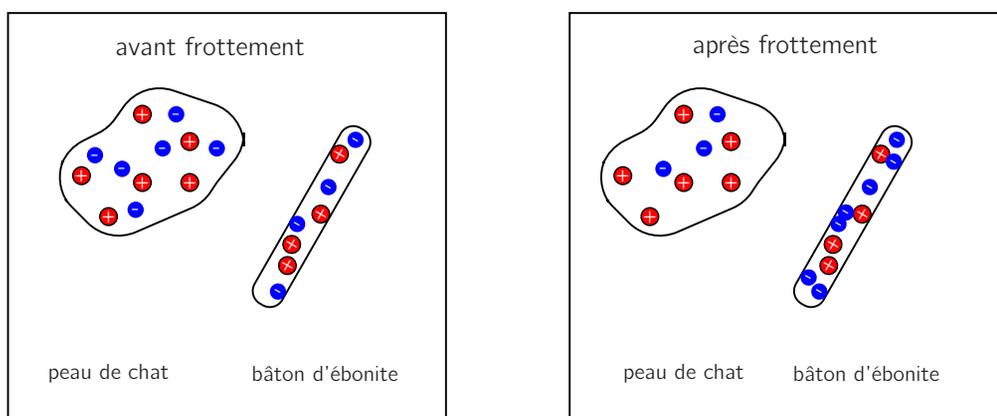


Figure III.22. – Transfert d'électrons par frottement

Informations supplémentaires :

Le **transfert d'électrons** ne peut avoir lieu que *dans un sens* (ici : de la peau de chat vers l'ébonite). Ceci est dû au fait que dans certains atomes, les électrons sont fortement liés au noyau atomique (ces atomes se chargent plutôt négativement). Dans d'autres, les électrons ne sont pas fortement liés au noyau (ces atomes se chargent plutôt positivement).

Attention ! Les protons des corps ne sont jamais transférés. En effet, ils renferment toute la masse d'un corps et ne se déplacent même pas à l'intérieur du corps.

En résumé, on peut donc dire que :

**Un corps chargé négativement a un excès (Überschuss) d'électrons.
Un corps chargé positivement a un manque d'électrons.**

3.5. L'électroscope

L'électroscope est un *appareil de mesure de la quantité de charge électrique*. Il est formé essentiellement de deux parties métalliques, séparées par un bouchon isolant en matière plastique.

La première partie métallique est un boîtier qui comporte deux fenêtres. A l'intérieur de la boîte est disposé, porté par le bouchon, une *tige fixe T* et une *fine aiguille t*, mobile autour d'un axe horizontal. A l'extérieur du boîtier, la tige fixe est terminée par un *plateau*.

En touchant le plateau avec un corps chargé (positif ou négatif), on observe que l'aiguille mobile *t* s'écarte de la tige fixe *T*. Elle reste écartée même si l'on retire le corps chargé.

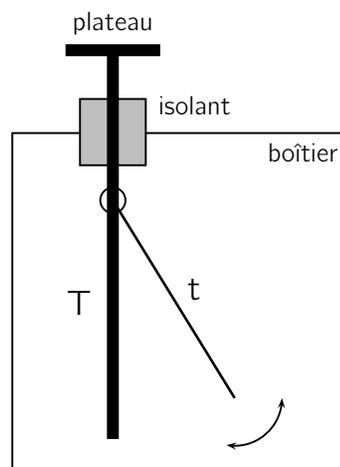


Figure III.23. – Electroscope

Explication :

Les charges électriques se répartissent sur toute la partie conductrice (plateau, tige fixe et aiguille mobile), comme elles se repoussent mutuellement.

La tige fixe et l'aiguille mobile prennent donc toutes les deux une charge de même signe : elles se repoussent ce qui résulte en une déviation de l'aiguille.

L'écart angulaire est d'autant plus grand que la quantité de charges déposée sur le plateau est importante.

3.6. La lampe à lueur

La lampe à lueur est une ampoule qui contient un gaz sous basse pression (du néon) et deux électrodes très rapprochées. Lors du passage du courant électrique à travers cette ampoule, une gaine lumineuse se forme autour de l'électrode négative. Ceci permet de détecter le signe d'une charge électrique :

- Si la lampe à lueur s'allume du côté avec lequel on touche le corps chargé, alors le corps est chargé négativement.
- Si la lampe à lueur s'allume du côté opposé, cela signifie que le corps en question porte une charge positive.



Figure III.24. – Lampe à lueur

3.7. Charges électriques dans la vie quotidienne

Dans la vie de tous les jours, on rencontre souvent des phénomènes d'électrisation, liés aux charges électriques. Voici quelques exemples :

- En roulant en voiture, les vêtements frottent contre le revêtement du siège. Une séparation de charges peut avoir lieu. En descendant et en touchant la carrosserie neutre, l'excès de charges porté par le corps humain est transféré en une fraction de seconde vers la carrosserie. Ce transfert de charges est un courant électrique intense (mais de faible durée) que l'on ressent sous forme d'un 'choc électrique'. Vu la faible durée, un tel choc n'est pas dangereux.
- En frottant des cheveux secs par un peigne, les cheveux sont souvent électrisés. Le peigne aura alors arraché des électrons aux cheveux. Par conséquence, tous les cheveux seront chargés positivement : ils se repoussent mutuellement.
- Lors des orages, les nuages acquièrent une forte charge, opposée à celle de la surface de la Terre. Lorsque cette charge atteint une valeur limite, le système se décharge par un courant électrique d'une énorme intensité : la foudre.

Il existe aussi des machines capables de séparer un grand nombre de charges et de créer ainsi des charges très élevées sur des corps. A cette fin, on utilise surtout la *machine de Whimshurst* et le *générateur de Van de Graaff (générateur à ruban)*.

Remarque : Il faut toujours se rendre compte du fait qu'il y a partout des protons de charge +, partout aussi des électrons de charge -. Les endroits où il y a un manque d'électrons sont

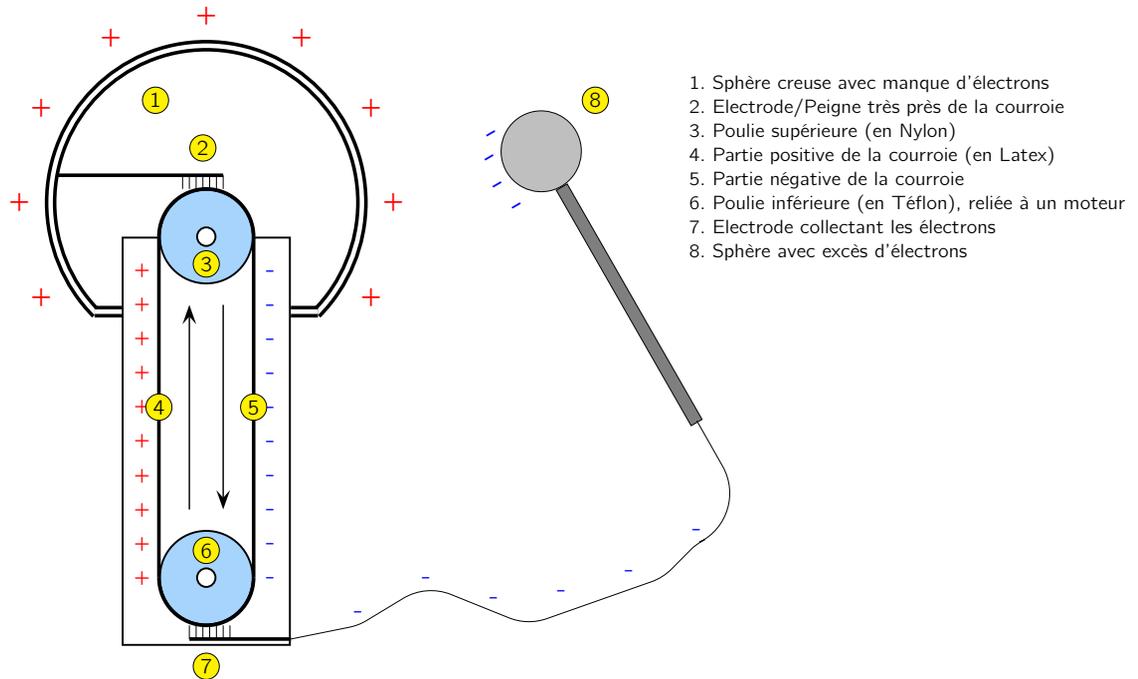


Figure III.25. – Fonctionnement d'un générateur de Van de Graaff

marqués par le symbole + (le nombre de protons y est supérieur au nombre d'électrons, mais il reste évidemment quelques électrons), les endroits où il y a excès d'électrons sont marqués par le symbole - (le nombre d'électrons y est supérieur au nombre de protons, mais les protons sont bien sûr toujours présents, bien qu'on ne les représente pas).

4. Le courant électrique

4.1. La nature du courant électrique

Expérience :

Le circuit de la figure suivante n'est pas fermé :

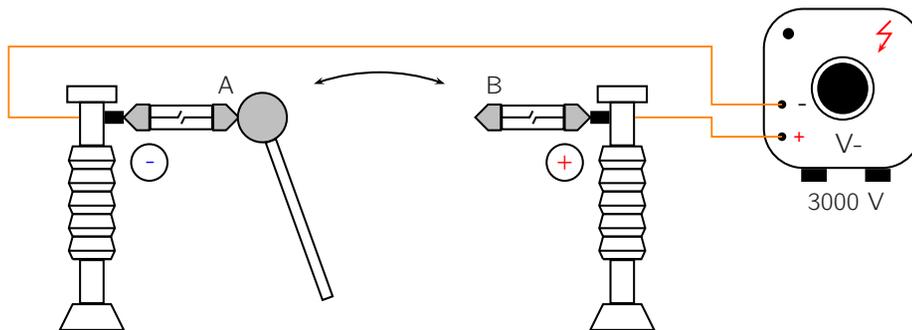


Figure III.26. – Transport d'électrons dans un circuit

On met alors en contact une boule métallique (portée par une tige isolante), successivement avec les bornes A et B.

On observe qu'à chaque contact, la lampe à lueur en contact avec la boule s'allume brièvement, du côté où on produit le contact pour la borne négative (A) et du côté opposé pour la borne positive (B).

Interprétation :

En amenant la boule en contact avec A, elle *capte des électrons* (provenant du pôle négatif du générateur). En établissant alors un contact avec la borne B, la boule *cède ces électrons* dans l'autre partie du circuit. Ces électrons sont ensuite retirés du circuit à travers la borne positive du générateur. A chaque contact, un *courant* circule (effet lumineux dans les lampes à lueur).

Lorsqu'on relie les bornes A et B par un fil métallique, les deux lampes restent allumées en permanence.

Conclusion :

Dans les conducteurs, les atomes libèrent un ou plusieurs électrons qui peuvent alors se déplacer librement à travers le conducteur. On les appelle *électrons libres*. Ainsi, dans les fils métalliques d'un circuit électrique fermé *circulent des porteurs de charge*, les *électrons*. Ces électrons libres portent des charges négatives qu'ils transportent du pôle négatif de l'alimentation vers le pôle positif. Ce mouvement des porteurs de charge constitue le **courant électrique**.

Définition III.5 : Le courant électrique

Le courant électrique dans un métal est un mouvement orienté d'électrons libres du pôle négatif de la source de courant vers le pôle positif. Dans un conducteur, chaque atome libère un ou plusieurs électrons, porteurs d'une charge négative ($-e$), qui peuvent alors se déplacer librement à travers le conducteur et qu'on appelle électrons libres.

Informations supplémentaires :

La *vitesse de translation* des électrons libres dans un circuit électrique est *très faible*. En général, un électron libre n'avance que d'une fraction de millimètre par seconde.

Voici un exemple : supposons que les fils d'un circuit comprenant une pile et une lampe à incandescence ont une longueur totale de 60 cm. Un électron met alors plus de 10 minutes pour partir de la pile, traverser la lampe et revenir vers la pile. Malgré cela, l'ampoule s'allume dès l'instant où l'on ferme le circuit ; en effet, tous les électrons libres dans le circuit se mettent *simultanément en mouvement*, comme ils se repoussent mutuellement.

4.2. Sens conventionnel du courant électrique

Historiquement, au début de l'étude de la conduction de l'électricité, les scientifiques ont pensé que les particules qui se déplaçaient dans les métaux étaient chargées positivement et ont défini en conséquence un sens conventionnel du courant comme étant le sens de déplacement des charges positives. Plus tard on a mis en évidence que ce sont très majoritairement les électrons, particules chargées négativement, qui se déplacent dans les métaux et qui permettent la circulation des courants électriques. Pourtant, on a maintenu le sens conventionnel initial.

Définition III.6 : Sens conventionnel du courant

Par convention, le sens du courant électrique est tel qu'il *sort du pôle positif* de la source de courant et qu'il *rentre par son pôle négatif*. Ce sens est donc opposé au sens de circulation des électrons libres à travers le circuit.

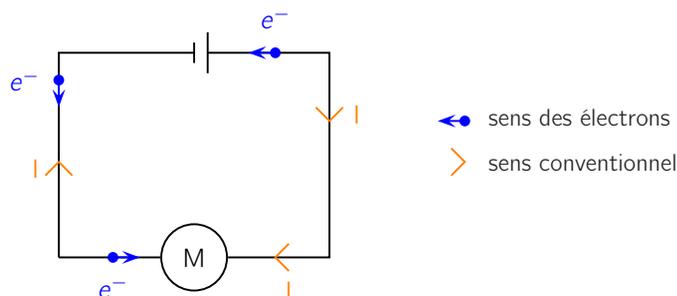


Figure III.27. – Sens conventionnel et sens réel du courant électrique

4.3. Intensité du courant électrique

Lorsque le nombre de porteurs de charge (d'électrons) qui traversent une section (Querschnitt) d'un conducteur en une seconde est élevé, on dit que le courant est **intense**. En revanche, lorsque pendant le même temps, moins de porteurs de charge circulent à travers cette section, le courant est plus faible.

Plus la **charge électrique** (et donc le nombre d'électrons) transportée **par seconde** à travers **une section donnée** d'un conducteur est *grande*, plus le courant est dit *intense*.

4.3.1. Définition et unité

Définition III.7 : Intensité du courant électrique

L'intensité I du courant électrique est égale au quotient de la charge Q transportée à travers une section d'un conducteur par la durée de temps Δt de cette traversée :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

L'unité SI de l'intensité est l'ampère^a : $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

a. nom de l'unité en l'honneur d'André Marie Ampère (1775-1836), mathématicien et physicien français

Lorsqu'une charge de 1 C traverse donc une section donnée d'un conducteur en 1 s, on a un courant de 1 A.

Comme la charge d'un électron vaut $Q_{e^-} = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, un courant de 1 A correspond donc au passage de $\frac{1 \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{C}}{e^-}} = 6,25 \cdot 10^{18}$ électrons par seconde !!!

On utilise aussi des **multiples** et **sous-multiples** de l'Ampère :

$$1 \text{ mA} = \frac{1}{1000} \text{ A} = 10^{-3} \text{ A} = 0,001 \text{ A} \quad 1 \mu\text{A} = \frac{1}{1000000} \text{ A} = 10^{-6} \text{ A} = 0,000001 \text{ A}$$

$$1 \text{ kA} = 1000 \text{ A} = 10^3 \text{ A} \quad \dots$$

montre à quartz	0,001 mA
ampoule d'éclairage (100W)	0,43 A
réfrigérateur	0,5 A
grille-pain	1,8 A
radiateur électrique	9 A
démarrreur de voiture	100 A
éclair	300.000 A

Tableau III.1. – Quelques exemples d'intensités de courant

4.3.2. Mesure de l'intensité du courant

Pour mesurer l'intensité du courant électrique, on utilise un **ampèremètre**.

L'ampèremètre est toujours branché **en série** dans la partie du circuit de laquelle on veut connaître l'intensité du courant.

Il doit être branché tel que le courant entre par sa prise marquée **A,+** (ou mA) et qu'il sorte par la prise **COM,-**.

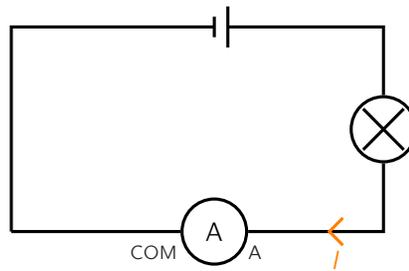


Figure III.28. – Ampèremètre branché correctement

Avant de mesurer une intensité de courant, il faut choisir un **calibre de mesure** supérieur à l'intensité maximale que l'on veut mesurer. Si on mesure un courant dont on ne connaît pas l'intensité approximative, on commence par le calibre le plus grand, ensuite on descend, si c'est possible, vers les calibres inférieurs (ce qui permet une meilleure précision de mesure). Comme le courant du circuit traverse entièrement l'instrument de mesure, un calibre trop petit mène instantanément à la destruction du *fusible* interne qui protège l'ampèremètre.

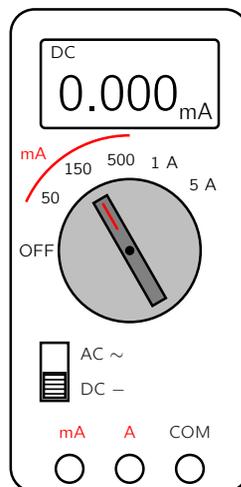
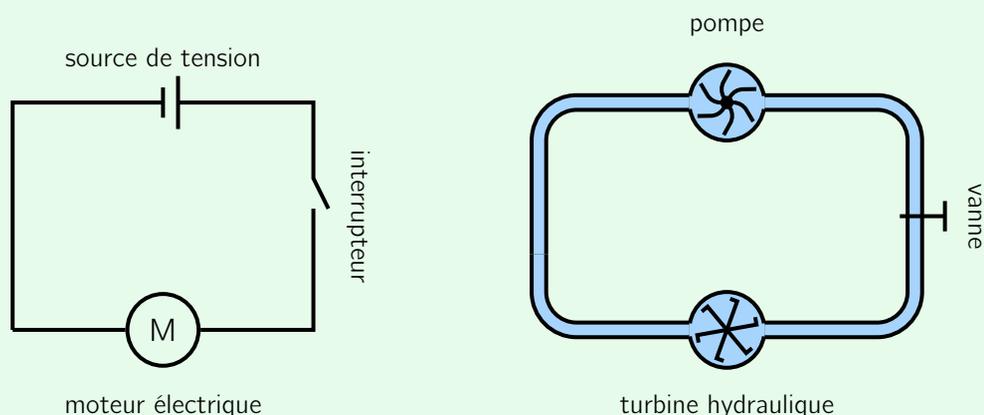


Figure III.29. – Un ampèremètre numérique

Informations supplémentaires :**Analogie avec un circuit d'eau**

Afin de mieux comprendre la circulation du courant électrique, on peut comparer la circulation des électrons dans un circuit électrique à la circulation des molécules d'eau dans un circuit d'eau :



Dans le *circuit d'eau*, la pompe met les molécules d'eau en mouvement. Elles peuvent circuler si la vanne est ouverte. Lorsqu'elles traversent une turbine, celle-ci commence à tourner. Le débit d'eau peut être mesuré en n'importe quel endroit du circuit (il a partout même valeur) et correspond au nombre de molécules qui traversent une section donnée du circuit par seconde.

Dans le *circuit électrique*, la source de tension met les électrons en mouvement. Ils peuvent circuler si l'interrupteur est fermé. Lorsqu'ils traversent un moteur électrique, celui-ci commence à tourner. L'intensité du courant peut être mesurée n'importe où dans le circuit (elle a partout même valeur) et correspond à la charge qui traverse une section donnée du circuit par seconde.

Tout comme le circuit électrique, le circuit d'eau ne peut fonctionner que s'il est *fermé*. Si on veut avoir le même débit d'eau dans un tuyau étroit, il faut que les molécules d'eau se déplacent avec une vitesse plus élevée que dans un tuyau plus large.

	circuit d'eau	circuit électrique
source d'énergie	pompe	source de courant
mise en marche / arrêt	vanne	interrupteur
récepteur d'énergie	turbine	moteur électrique
débit	nombre de molécules/sec.	charge/sec.(intensité)

4.4. mAh / Ah : deux autres unités de la charge électrique

A la page 67, on a vu que :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

On peut exprimer la charge Q qui traverse une composante électrique si on connaît l'intensité du courant I et la durée de temps Δt :

$$Q = I \cdot \Delta t$$

Si $I = 1 \text{ A}$ et $\Delta t = 1 \text{ h}$ (1 heure), on a :

$$Q = I \cdot \Delta t = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ Ah}$$

1 Ah (prononcé ampère-heure) est une unité alternative de la charge électrique.

Comme $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ et $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$, on a :

$$1 \text{ Ah} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ C}$$

De la même façon, on utilise le *mAh* (milliampère-heure).

Comme $1 \text{ mA} = 0,001 \text{ C/s}$ et $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$, on a :

$$1 \text{ mAh} = 0,001 \frac{\text{C}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \text{ C}$$

Ces unités sont utilisées surtout pour indiquer la capacité (charge maximale) des piles ou accumulateurs.

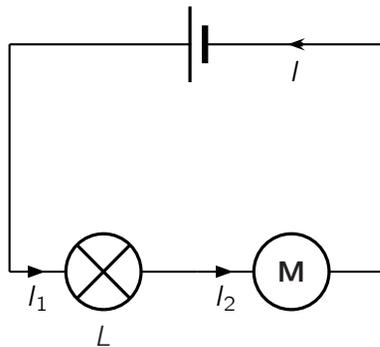
Exemple :

La capacité typique de l'accumulateur d'une voiture vaut 90 Ah. Cela signifie que cet accumulateur peut délivrer un courant de 10 A pendant 9 h, un courant de 20 A pendant 4,5 h, un courant de 45 A pendant 2 h etc., car :

$$\Delta t = \frac{Q}{I}$$

4.5. Lois des intensités en série et en parallèle

4.5.1. Le circuit en série



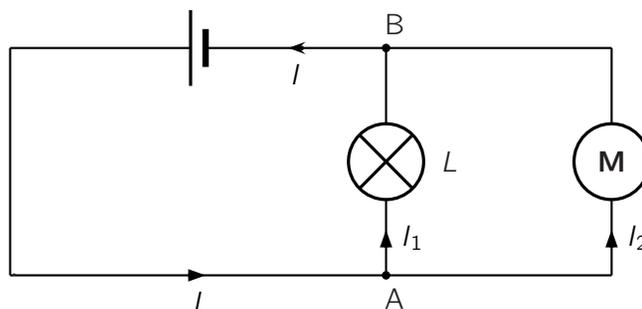
Considérons deux récepteurs (ici une ampoule et un moteur) placés en série dans un circuit électrique. L'ampoule L est traversée par un courant I_1 , ce qui correspond à un certain nombre d'électrons passant par seconde à travers cette ampoule. Comme il ne peut pas y avoir de perte ou de gain d'électrons, le même nombre d'électrons va également traverser le moteur M . Il faut donc que dans un circuit en série, l'intensité du courant soit identique en tout point du circuit :

Enoncé III.1 : Loi des intensités dans un circuit en série

Dans un circuit en série, chaque élément est traversé par un courant électrique de même intensité :

$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

4.5.2. Le circuit en parallèle



Considérons maintenant deux récepteurs placés en parallèle dans un circuit. Au nœud A, le courant d'intensité I doit se répartir pour alimenter les deux récepteurs. Cette répartition ne se

fait pas forcément en deux parties égales. Cependant, comme aucun électron n'est perdu en chemin, tous les électrons arrivant au nœud A passent soit par l'ampoule L , soit par le moteur M . Tous les électrons se rejoignent ensuite au nœud B pour reformer le courant initial. Il s'ensuit que l'intensité totale I est égale à la somme des intensités dans les deux branches en parallèle I_1 et I_2 .

Enoncé III.2 : Loi des intensités dans un circuit en parallèle

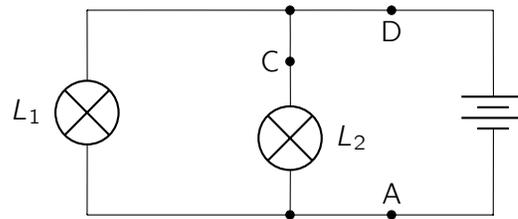
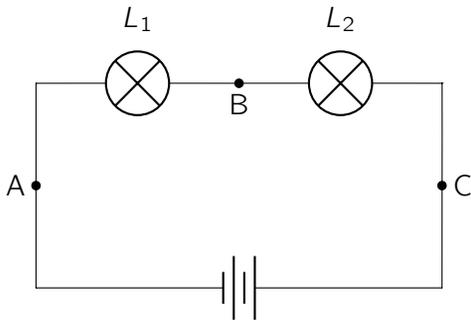
Dans un circuit en parallèle, l'intensité du courant dans la branche principale est égale à la somme des intensités dans les branches dérivées :

$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

On peut également dire que la somme des courants *entrant* dans un nœud est égale à la somme des courants *sortant* de ce nœud. C'est pourquoi ce résultat est aussi connu sous le nom de **loi des nœuds**.

5. Exercices

1. A quels endroits marqués des circuits suivants peut-on insérer l'interrupteur pour allumer ou éteindre les deux lampes simultanément ? Justifie ta réponse.



2. La sonnette d'un appartement est commandée par deux interrupteurs poussoirs : l'un fixé près de la porte de la maison, l'autre fixé près de la porte d'appartement. Fais un schéma de montage et explique le fonctionnement du circuit.
3. Une machine à laver ne fonctionne que si la porte d'accès au tambour est fermée et si l'interrupteur de mise en marche est sur la position 1. Fais un schéma du montage.
4. Quels sont les effets du courant électrique utilisés dans a) une machine à laver b) un sèche-cheveux c) un fer à repasser d) un ventilateur e) l'électrolyse de l'eau
5. Quelle est la raison pour laquelle une ampoule traditionnelle consomme beaucoup plus d'énergie électrique (pendant une durée déterminée) qu'une lampe électroluminescente, même si les deux lampes avaient la même luminosité ?
6. Cherche sur internet le principe de fonctionnement d'un haut-parleur. Fais un schéma représentant les principales composantes et explique en tes mots le fonctionnement.
7. On dispose d'une plaque métallique initialement neutre. On la touche brièvement avec un bâton de verre frotté avec du drap. Explique ce qui se passe avec les charges du métal et du bâton. Fais une figure représentant la répartition des charges au début, puis à la fin. Quelle sera la charge finale de la plaque ?
8. Qu'est-ce qui se passe lorsqu'on approche l'un de l'autre : a) un électron et un proton b) un électron et un neutron c) un électron et un autre électron
9. On charge un électroscope (initialement neutre) en touchant son plateau avec une sphère chargée négativement. Fais un schéma de l'électroscope sur lequel on représente la répartition des charges positives / négatives : a) à l'instant initial b) lorsque la sphère est en contact avec le plateau c) lorsque la sphère est de nouveau écartée.

III. Electricité

10. Une charge de 590 mC traverse la section d'un circuit électrique en 2 secondes. Quelle est l'intensité du courant ?
11. Un courant a une intensité de 870 mA. Quelle est alors la charge qui traverse la section d'un circuit : a) par seconde b) en une minute ?
12. On veut construire un circuit électrique dans lequel un moteur et une ampoule électriques sont branchés en parallèle à une pile. Faire le schéma du circuit électrique. Où doit-on placer un ampèremètre qui mesure l'intensité du courant : a) à travers le moteur b) à travers la lampe c) à travers la pile ?
13. Un accumulateur admet une charge maximale de 2600 mAh.
 - a) Quel est le temps maximal nécessaire pour le recharger complètement avec un courant d'intensité 0,35 A ?
 - b) Quelle est la valeur de la charge maximale en coulomb ?

Annexes

Résultats des exercices (partie mécanique)

3. a) 1,37 bar
b) 14,8 bar
4. $1 \cdot 10^9$ Pa
5. 3825 Pa
6. 100 N
7. 5886 N
8. $3,79 \cdot 10^9$ N
9. 27 cm
10. 15,3 N
11. 48,1 N ; 87,9 N
12. $3,3 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow$ creuse
13. $3,058 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$; 2400 kg/m^3
14. a) 12 N
b) 9,2 N
c) 2300 Pa
d) 892 kg/m^3
15. a) $71,4 \text{ cm}^3$
b) 1,83 N
c) 800 kg/m^3
16. 20 550 kg
17. 5,7 cm
18. $F_{\text{eau}} = 4,16 \text{ N}$; $F_{\text{air}} = 286 \text{ N}$; $h = 10,33 \text{ m}$
19. 1027 hPa ; 10,47 m

Résultats des exercices (partie électricité)

- 10. 0,295 A
- 11. a) 0,87 C
b) 5,22 C
- 13. a) 7,43 h
b) 9360 C