

Les notions à retenir du cycle 4

F. L. G.

20 septembre 2018

Introduction

Pourquoi ce livre et comment l’aborder

Ce document qui doit être encore considéré comme incomplet (jusqu’à la version 1.0.1) s’adresse aux élèves qui veulent avoir plus d’infos que celles données en classe et/ou à leurs parents mais aussi à ceux et celles qui souhaitent revoir par la suite ce qui a pu être vu, cet ouvrage va répertorier du mieux possible de façon structurée toutes les notions que vous êtes sensé-e avoir vues au cours du cycle 4 et aussi un peu au cours du cycle 3. Vous pouvez bien sûr sauter cette introduction si les prochains paragraphes vous semblent trop abstraits ou compliqués. Ce document peut être lu de deux façons :

- ponctuellement en utilisant la table des matières au début du document ou les listes finales des figures et des équations à la fin.
- tel quel en le lisant au fur et à mesure (mais il faut beaucoup de courage).

Bien évidemment tout retour positif comme négatif est plus que vivement souhaité de ma part afin d’améliorer encore le travail qui a été accompli ici.

Ce livre est le résultat d’une demande de quelques élèves de 3e qui désiraient un ” résumé ” de ce qu’il fallait avoir vu et retenu au collège, mais, en commençant à écrire ce document je me suis rendu à l’évidence : faire un résumé est impossible : 3 années de cours, à raison de 36 semaines officielles par an et 1,5 h de cours par semaine, ce qui représente 54 h annuelles de cours donc un total de 162 h de cours sur les 3 ans (je ne compte pas la classe de 6e même si en fait on pourrait aussi l’y ajouter), au total cela faire beaucoup trop pour résumer. D’ailleurs fallait-il résumer ?

L’arrivée à ce stade de la réflexion personnelle m’a poussé à finalement ne pas résumer mais au contraire faire un document beaucoup plus complet et enrichi avec une vision différente, qui va pouvoir être consulté non pas linéairement mais au cas par cas, en fonction d’un besoin ponctuel.

Que retenir du cycle 4 ?

Au cycle 4 il est très important de comprendre que la démarche scientifique ce n’est pas de la magie, ce n’est pas une discussion entre quidams au bistrot du coin ou ce n’est pas à celui ou celle qui va hurler ou cogner le plus fort. Ces méthodes issues d’un passé lointain ont été remplacées par une autre bien plus pertinente : la démarche scientifique qui se base sur quelques principes simples résumés en cette série de points :

- Vous êtes confronté·e à un problème à résoudre ou comprendre ;
- Vous pensez à une idée d'explication du phénomène ou du problème ;
- Vous imaginez une expérience pour vérifier si votre explication est correcte et vous imaginez ce qui va arriver pendant l'expérience ;
- Vous effectuez l'expérience en prenant un maximum d'observations et de mesures dont vous avez besoin pour vérifier l'idée par la suite et vous notez chaque détail avec le plus de précision possible ;
 - la prise d'observations peut se faire avec un enregistrement visuel, sonore ou à l'écrit ;
 - les mesures peuvent nécessiter un appareil spécial qu'il faut savoir brancher ou utiliser ;
 - si c'est trop petit, grand ou rapide, l'emploi d'un ordinateur peut s'avérer utile et donc il faut savoir programmer l'outil qui fera les mesures à votre place ;
- On analyse ensuite les mesures et les observations en tentant de les interpréter ce qui amène alors à deux possibilités :
 - Les mesures ne permettent pas de vérifier l'idée ou ce qui avait été prévu : On analyse alors à nouveau, l'idée est-elle mauvaise ? Y a-t-il eu un problème lors des expériences ? Si l'idée est mauvaise il faut revenir à une autre idée (ou la modifier), s'il y a eu des problèmes lors des expériences ou des mesures, refaire l'expérience en corrigeant ce qui est nécessaire.
 - Les mesures valident l'idée car elles collent aux prédictions : On formalise (mise en équations, rédaction d'un compte rendu précis où tout est détaillé, précisé etc...), on publie (quand on est chercheur ou chercheuse c'est ce qui fait votre réputation mondialement), on a trouvé une nouvelle théorie ! Pour vous faire une idée regardez sur le site arxiv.org <https://arxiv.org> toutes les prépublications dans des domaines scientifiques hyperpointues¹.
- Lorsque la théorie a été validée et formalisée, d'autres chercheurs et chercheuses tenteront de la mettre à l'épreuve dans des cas différents, voire à la limite de la théorie, s'ils la mettent en défaut cela conduit soit à une modification de la théorie, soit à une refonte complète.

Voilà la méthode qui est utilisée.

Le cycle 4 est là aussi pour vous faire comprendre que les sciences savent expliquer et utiliser beaucoup de phénomènes, (ceux qui ne sont pas encore expliqués trouveront sans doute une explication dans les années ou les siècles qui viennent). Vous êtes entouré·e de tout un tas d'objets technologiques qui sont le résultat de l'application concrète de grandes découvertes scientifiques du passé récent ou lointain, les récentes découvertes vous ouvriront de nouveaux horizons, de nouvelles découvertes, de nouvelles utilisations qui ne sont même pas encore dans nos imaginations.

Le cycle 4 : Moins d'oral, plus d'écrit et le début de l'abstraction.

L'autre point important du cycle 4 est le formalisme et l'abstraction. Vous allez passer du cycle 3 où vous expliquiez les phénomènes avec des mots et des phrases ± claires, ou des explications au doigt mouillé à une mise en équations, à l'utilisation de théorèmes, de lois, de propriétés des phénomènes ou des objets, certaines de ces lois portent le nom de leur inventeur comme la *loi de Lavoisier* ou la *Loi d'Ohm* ou un nom générique comme le *théorème de l'inertie* ou la *loi d'addition des tensions dans un circuit en série*. Il y a quelques lois (peu nombreuses

1. notez pour la biologie le site biorxiv.org <https://biorxiv.org>

pour le cycle 4) à retenir, chacun de leurs mots a un sens précis et l'ensemble des phrases indique des choses précises, un peu comme un théorème en mathématiques. Le vocabulaire utilisé en sciences est précis et important pour se comprendre.

Puisque le vocabulaire a été abordé, le cycle 4 est aussi le moment où vous allez commencer à utiliser d'autres expressions spécifiques au " langage " des sciences, mais aussi à d'autres langues vivantes telles que l'anglais (ou l'espagnol car c'est aussi une langue que je pratique) qui est la langue d'échange entre scientifiques pour les publications internationales actuellement.

C'est aussi lors du cycle 4 où vous allez progressivement augmenter la production écrite. Lorsque vous avez présenté un protocole expérimental, autant nous avons dialogué ensemble à l'oral lorsqu'en passant entre les paillasses je vous ai demandé de m'expliquer vos propositions d'expériences afin de résoudre un problème posé, autant la trace écrite de cette proposition est exigée de plus en plus. Le naturel et la spontanéité de l'oral sont conservés mais progressivement on introduit une phase écrite d'approfondissement et de réflexion face à des problèmes posés.

La notion de mesure et d'incertitude

Une autre notion à retenir concerne les systèmes et les milieux qui sont étudiés : il faut souvent y mesurer des informations. Vous devrez toujours tenir en compte que l'introduction de n'importe quel appareil de mesure dans un système modifie le comportement du système. La qualité de vos appareils de mesures n'est pas liée à leur côté high-tech ou gadget mais à la qualité des composants qui ont servi à sa fabrication, aux conditions de fabrication et à la manière dont elle a été pensée en ingénierie.

Table des matières

I	La matière	17
1	La matière	19
1.1	Décrire la matière	19
1.1.1	Les Grandeurs physiques pour décrire la matière	19
1.1.2	Les états de la matière	20
1.1.3	La masse	24
1.1.4	Le volume	26
1.1.5	La température	27
1.1.6	La pression	28
1.1.7	Les propriétés magnétiques	30
1.1.8	Les propriétés de conductivité électrique	30
1.1.9	Les propriétés électriques	31
1.1.10	Les propriété de conductivité thermique	32
1.1.11	Les propriétés acido-basiques : le pH	32
2	Organisation de la matière dans l'univers	35
2.1	À l'échelle atomique	35
2.1.1	Les nucléons au coeur du noyau atomique	36
2.1.2	L'électron e^-	38
2.1.3	L'atome	38
2.1.4	La molécule	41

2.1.5	Une nouvelle espèce chimique identifiée au XIXe siècle : les Ions	43
2.2	À l'échelle humaine	48
2.2.1	La notion de corps pur	48
2.2.2	Les métaux	50
2.2.3	Les mélanges	51
2.3	notre planète	59
2.4	À l'échelle de notre système solaire	63
2.5	À l'échelle de notre galaxie	75
2.6	À l'échelle de notre univers connu	76
3	Les transformations de la matière	79
3.1	Les transformations physiques (ou changements d'état)	79
3.1.1	Les 6 transformations physiques	79
3.1.2	La conservation de la matière lors d'une transformation physique	80
3.1.3	La non-conservation du volume lors d'une transformation physique	80
3.2	Les transformations chimiques	81
3.2.1	Un peu de vocabulaire	81
3.2.2	La conservation de la matière, loi de Lavoisier et proportionnalités	82
3.2.3	Une catégorie de transformations chimiques particulière : la combustion	83
3.2.4	Encore un type de transformation chimique : les transformations acido-basiques	85
3.2.5	Les transformations d'oxydoréduction	86
3.3	Les transformations nucléaires	87
II	Mouvements et interactions mécaniques	93
4	Les mouvements	95
4.1	Référentiel, Système	95

4.2	Mouvement, Chronophotographie, Trajectoire	96
4.3	Notion de vitesse	96
4.4	Les mouvements rectilignes	97
4.5	Les mouvements circulaires	98
4.6	Les mouvements curvilignes	98
4.7	Hors programme : d'autres mouvements	99
4.8	La relativité du mouvement	99
5	Les interactions mécaniques, les forces	101
5.1	Le principe de l'inertie	101
5.2	Les actions mécaniques	102
5.2.1	Les actions mécaniques à distance	102
5.2.2	Les actions mécaniques de contact	102
5.2.3	Effet des actions mécaniques	103
5.3	Modélisation d'une action mécanique : La Force	103
5.4	Étude d'une force à distance particulière : Le poids	104
5.4.1	La relation entre le poids d'un objet et sa masse	104
5.4.2	Le poids n'est pas la force gravitationnelle	105
III	L'énergie et ses transformations	107
6	Les circuits électriques	109
6.1	Les symboles électriques élémentaires	109
6.2	Les circuits électriques en série et leurs propriétés qualitatives	110
6.2.1	Le circuit en série	111
6.2.2	L'influence de la permutation d'un dipôle par un autre dans un circuit en série	111
6.2.3	L'influence d'un dipôle qui grille dans un circuit en série	112

6.2.4	L'influence d'un dipôle qui est mis en court-circuit dans un circuit en série	112
6.3	Les circuits électriques en dérivation et leurs propriétés	113
6.3.1	Le circuit en dérivation	113
6.3.2	L'influence de la permutation d'un dipôle par un autre dans un circuit en dérivation	114
6.3.3	L'influence d'un dipôle qui grille dans le circuit en dérivation	114
6.3.4	L'influence d'un dipôle qui est mis en court-circuit dans le circuit en dérivation	115
6.4	Le courant électrique et son intensité	115
6.4.1	Le courant électrique	115
6.4.2	L'intensité du courant électrique	116
6.4.3	La loi d'unicité du courant électrique	117
6.4.4	La loi des noeuds ou loi d'addition des courants électriques	118
6.5	La tension électrique	119
6.5.1	Hors programme : Le potentiel électrique.	120
6.5.2	La tension électrique pour deux dipôles en dérivation (ou plus)	120
6.5.3	La tension électrique dans un circuit en série	121
6.5.4	Adapter un dipôle : tension et intensité de fonctionnement	123
6.6	Les conducteurs ohmiques	123
6.6.1	Résistance d'un conducteur ohmique	123
6.6.2	Loi d'ohm pour un conducteur ohmique	124
7	Produire de l'énergie	131
7.1	Les différentes formes d'énergie	131
7.1.1	Les piles électrochimiques : produire de l'énergie électrique à partir d'énergie chimique	131
7.1.2	La production d'énergie à partir de matières fossiles	133
7.1.3	La production d'énergie à partir de sources renouvelable	134
7.1.4	La production d'énergie à partir de carburant nucléaire	134

7.1.5	L'énergie et la puissance électriques	136
7.2	L'énergie mécanique	137
7.2.1	L'énergie cinétique E_C	137
7.2.2	L'énergie de position / énergie potentielle E_P	137
7.2.3	Énergie cinétique et sécurité routière : La distance pour freiner.	138
8	Les transferts d'énergie	141
8.1	Le rendement énergétique	141
8.2	Les piles électrochimiques	142
8.3	Les centrales	142
8.4	Les éoliennes	144
8.5	Les conducteurs ohmiques et leur conversion d'énergie L'effet Joule.	145
8.6	Les panneaux photovoltaïques / cellules solaires	146
8.7	Les barrages	147
8.8	Les hydroliennes	147
8.9	Le principe physique sous-jacent et les objets techniques insérés	148
8.9.1	L'induction électromagnétiques	148
8.9.2	Le transformateur électrique et ses rôles	148
IV	Signaux et informations	151
9	Les signaux	153
9.1	Les notions communes	153
9.1.1	La représentation	153
9.1.2	La fréquence	154
9.1.3	La période	154
9.1.4	hors programme : la longueur d'onde	155

9.2	Décrire les signaux lumineux	155
9.3	Décrire les signaux sonores	156
9.4	Utilisation de signaux lumineux pour transporter de l'information	157
9.4.1	Le code morse	157
9.4.2	La fibre optique → alarmes optiques	157
9.4.3	Les spectres lumineux d'absorption et d'émission	157
9.4.4	Cas plus général (ondes électromagnétiques) :	157
9.4.5	Les ondes TV et radio	158
V	Annexes	159
10	Quelques verreries vues ou utilisées lors du cycle 4	161

Évolution du document et diverses versions

Nom et adresse électronique des personnes ayant participé à cette oeuvre.

Nom et prénom	adresse électronique
Moi	moi@moi.moi

Évolution des versions

date	version	nom du modifiant	nature des modifications
2018-06-23	0.0.1	Moi	Création du document, mise en place de la structure, insertions de tableaux, formules et images
2018-06-24	0.0.2	Moi	Ajout de nouveaux paragraphes, insertion de graphiques (images) et de tableaux expérimentaux factices.
2018-06-25	0.0.3	Moi	Corrections diverses et variées en multiples endroits, ajout du paragraphe 4.7 sur la relativité du mouvement.
2018-06-28	0.0.4	Moi	Ajouts des paragraphes sur la loi d'ohm, sur le vocabulaire du mouvement, sur l'énergie nucléaire et ses équations.
2018-06-30	0.0.5	Moi	Encapsulages des images dans des structures de figures et des tableaux dans des structures de tables avec labelisations et remarques. Ajout des parties, ajout des tables des figures et des tableaux à la fin du document. Ajout du paragraphe sur les piles comme transformateur énergétique.
2018-07-01	0.0.6	Moi	Mise en commentaire des parties et des chapitres en lien avec les exercices. Il seront décommentés ultérieurement.

date	version	nom du modifiant	nature des modifications
2018-07-08	0.1.0	Moi	Grosse refonte du document, corrections diverses et variées, refonte de certains passages, ajout de la radioactivité naturelle, corrections jusqu'au chapitre 3 et les chapitres sur l'énergie et ses transformations. Comme il y a eu grosses modifications, changement de version médiane.
2018-07-26	0.2.0	Moi	Diverses modifications et ajouts de nouvelles figures, déplacement des tables de figures et de tableaux à la fin du document, table des matières conservée au début. Ajout de nouveaux renseignements sur les planètes et sur les ondes TV et Radio.
2018-08-06	0.3.0	Moi	Diverses relectures et ajouts, ajouts de toutes les images manquantes (sauf erreur) corrections et compléments. Dernière version mise en ligne ce même jour et avant version qui sera mise en ligne à la date prévue le 15/08.
2018-08-07→?	0.4.0	Moi, root, dariala-lala et Cafou	Diverses relectures ajouts et ...

Notices Légales

Ce document a été entièrement réalisé en \LaTeX à l'aide des logiciels et bibliothèques incluses dans GNU/Linux Debian 9.4 et suivantes, Archlinux ou Voidlinux via *textmaker*. L'exportation en PDF pour impression s'est faite directement depuis le logiciel *Texmaker*, les graphiques ont été réalisés soit avec Libreoffice Calc et capturés en images avec *gnome-screenshot* soit directement avec le langage \LaTeX (voir 8.5), les images des montages expérimentaux ont été réalisés avec *kolourpaint*. Les modèles moléculaires 2.1.4 ont été réalisés avec le logiciel Avogadro. Tous ces logiciels sont libres de droits et placés sous licence GPL accessible ici : <https://www.gnu.org/licences/gpl.html>. La création de la version ebook de ce document disponible aux adresses cités plus bas a été effectuée à l'aide du logiciel *ebook-edit* de la suite *calibre*.

Les différentes marques et produits cités dans ce document sont la propriété exclusive des sociétés ayant-droit à qui elles appartiennent. La majorité des liens hypertextes pointent sur wikipedia, les images de wikipedia ont parfois été intégrées à la compilation du document et sont soit sous licence Creative Commons, GPL, WTF ou Creative Commons Attribution (CCA).

Hormis les images à licences restrictives (CCA), le reste du document est placé sous licence Creative-commons Zero, il peut être modifié à partir de sa source situés à l'adresse suivante : <https://bidule.org/rapport-tice-01.tex>

Remerciements à toute ma famille pour m'avoir supporté lors de la rédaction de ce document (étant donné que par ma concentration le reste de l'univers aurait pu s'effondrer sans que j'en sois conscient) car pendant que je me concentre sur cette longue tâche je suis ailleurs.

Remerciements aussi à @root @darialalala et @cafou pour leurs relectures, retours, conseils et compléments d'informations afin de compléter encore plus ce document.

Première partie

La matière

Chapitre 1

La matière

A l'issue le cycle 4 vous devez avoir une vision claire de la matière qui vous entoure de ses constituants et de ses propriétés. Ces propriétés alliées à des grandeurs physiques sont là pour permettre de la décrire avec du vocabulaire précis, ayant un sens précis et appelant à des informations précises.

Les autres introductions du cycle 4 sont les grandeurs physiques complétées d'unités (sauf quelques rares exceptions), aux unités s'ajoutent des appareils de mesure qu'il faut savoir brancher. Les unités ont des abréviations (ou symboles) etc.

Connaître la matière n'est que la première étape, une fois que vous savez la décrire, la suite consiste à comprendre comment elle se transforme.

1.1 Décrire la matière

Les prochaines sections et prochains paragraphes donneront un examen de différentes façons de décrire la matière en utilisant des caractéristiques qui permettent de décrire des propriétés et qui définissent physiquement l'objet, ce sont des grandeurs physiques.

1.1.1 Les Grandeurs physiques pour décrire la matière

Une grandeur physiques pour faire simple est quelque chose qui se mesure dans un objet (au sens large : un gaz est un objet aussi). C'est une propriété de la matière. Cela a l'air vague définit comme cela car cette définition va englober tout un tas de phénomènes différents.

Mais avant de commencer, regardons un tableau de bord des différentes grandeurs physiques qui ont été (ou auront été croisées) lors du cycle 4. Il faut bien comprendre une chose, comme précisé dans l'introduction, à chaque grandeur physique est associé un symbole, à (quasiment) chaque grandeur physique est associé une unité et souvent aussi un appareil de mesure. À chaque unité est elle même associée un symbole. Le tableau qui suit est là pour donner un aperçu :

Nom Grandeur	Symbole	Unité Grandeur	symbole	Appareil mesure
masse	m	kilogramme	kg	balance
volume	V	Litre ou mètre-cube	L ou m^3	verrerie graduée
température	Θ	degré celsius	$^{\circ}\text{C}$	thermomètre
pression	p	hectoPascal	hPa	manomètre
temps	t	seconde	s	chronomètre
résistance électrique	R	ohm	Ω	Ohmmètre
densité	d	.	.	densimètre
acidité	pH	.	.	pH-mètre
charge électrique	Q	Coulomb	C	.

TABLE 1.1 – Les grandeurs physiques vues ou citées au cycle 4

1.1.2 Les états de la matière

La matière est décrite par 3 états physiques à des températures compréhensibles par les êtres humains :

- L'état solide
- L'état liquide
- L'état gazeux

Il y a aussi un autre état physique appelé " plasma " qui existe à de très hautes températures, au delà de 2 millions de degrés celsius. *Notez aussi que pour certains corps (comme la glace à base d'eau) il existe plusieurs états solides .. mais cela ne se voit que dans très longtemps....* **Notez aussi qu'en physique-chimie un "corps" est simplement une substance ou un objet qu'on étudie.**

Tout corps physique ou chimique existe sous trois états physiques mais à des températures différentes. Chaque corps a ses propres températures de changement d'état qui lui sont propres et qui permettent aussi de l'identifier.

L'état solide

L'état solide est décrit par des objets qui gardent leur propre forme sauf si on les déforme. Au calme ils ont une masse fixe, un volume fixe et une forme fixe. Pour tout corps l'état solide est son état physique le plus froid.

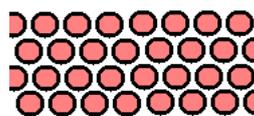


FIGURE 1.1 – les particules dans l'état solide.

Au niveau atomique, les atomes ou les molécules dans l'état solide sont rangées les unes par

rapport aux autres et ne bougent pas, elles vibrent un peu mais l'ensemble des molécules ou des atomes reste bien ordonné.

L'état liquide

L'état liquide est décrit par un volume fixe, une masse fixe mais pas de forme fixe puisqu'un liquide prendra la forme du récipient qui le contient. C'est l'état intermédiaire d'un corps.

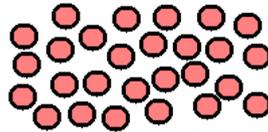


FIGURE 1.2 – Les particules dans l'état liquide.

Un liquide a un volume propre mais pas de forme propre.

Au niveau moléculaire les molécules d'un liquide sont encore assez serrées les unes contre les autres mais ne sont plus rigidelement alignées, elles glissent les unes sur les autres donnant aux liquides leur propriété d'écoulement. Le désordre moléculaire est là mais modéré, les molécules vibrent plus que dans un solide.

Remarque : Mis à part pour l'eau, la même quantité de matière prendra plus de place à l'état liquide qu'à l'état solide.

La surface libre d'un liquide La surface libre¹ d'un liquide dans un récipient reste toujours horizontale tant qu'elle n'a pas atteint le bord du récipient.

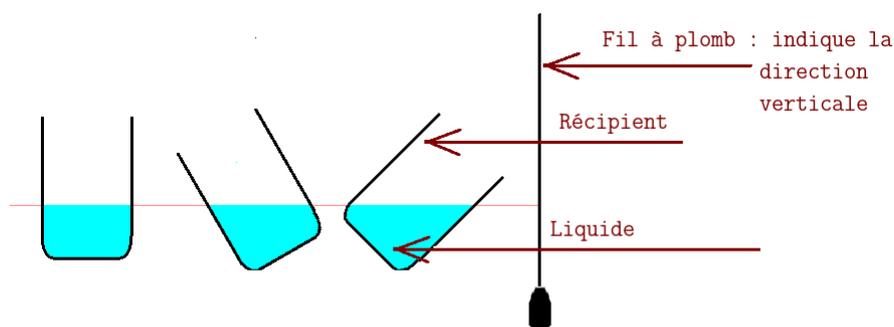


FIGURE 1.3 – La surface libre du liquide toujours horizontale dans le récipient.

Dans l'expérience ↑ le fil à plomb est toujours vertical quand il est immobile, la direction horizontale est perpendiculaire à la verticale, les surfaces libres du liquide dans les récipients étant horizontale vous pouvez voir que les surfaces libres des liquides et le fil à plomb sont perpendiculaires !

1. La surface libre d'un liquide est la surface qui n'est pas en contact avec une des surface intérieures du récipient, elle est au contact de l'air libre.

Le liquide le plus présent sur terre et le plus important en quantité comme en importance pour la vie est l'eau dont le test de reconnaissance est le suivant :

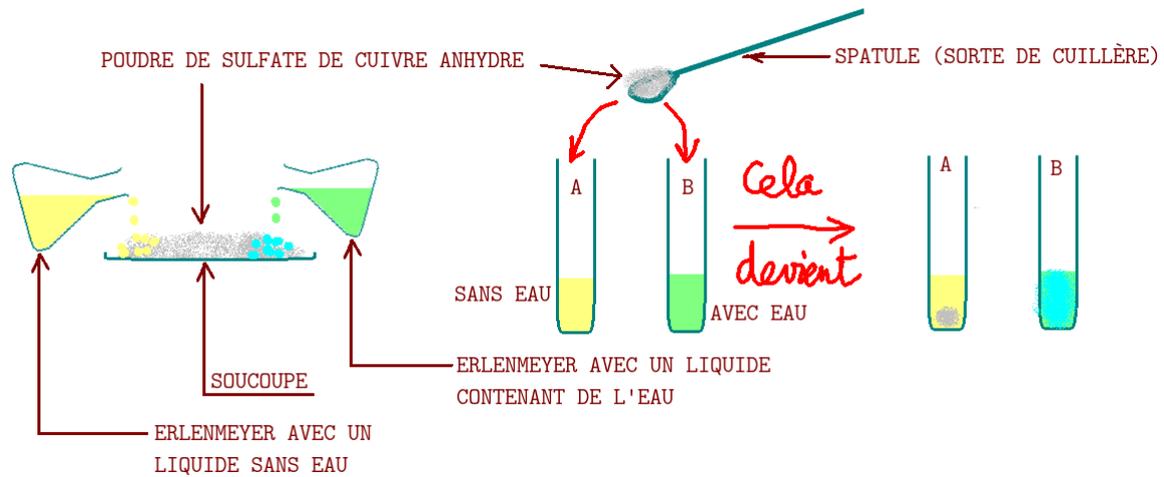


FIGURE 1.4 – Le test de l'eau au sulfate de cuivre anhydre. Lors de ce test une solution (jaune) A sans eau ne réagit pas avec la poudre blanche/grise de sulfate de cuivre anhydre. Par contre un liquide (vert) B lui réagit. A ce moment là le sulfate de cuivre anhydre bleuit.

L'état gazeux

L'état gazeux a une masse propre mais il n'a ni forme propre ni volume propre. Un récipient occupe tout l'espace qu'on lui donne, c'est ce qui fait qu'un flacon de parfum "sent" à distance dès qu'il est ouvert, le parfum s'échappe par l'ouverture et tente d'occuper tout l'espace de la pièce où est le flacon. C'est l'état le plus chaud d'un corps qu'on puisse connaître à l'échelle humaine.

Un gaz n'a ni forme propre ni volume propre.

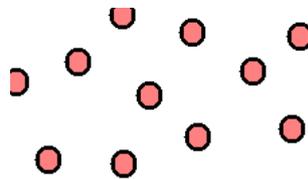
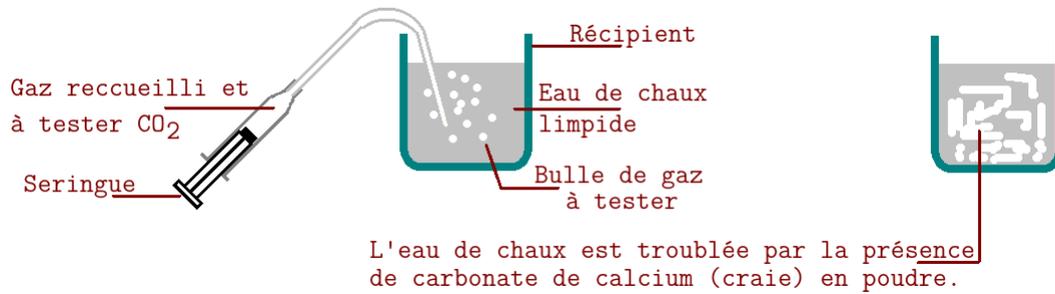


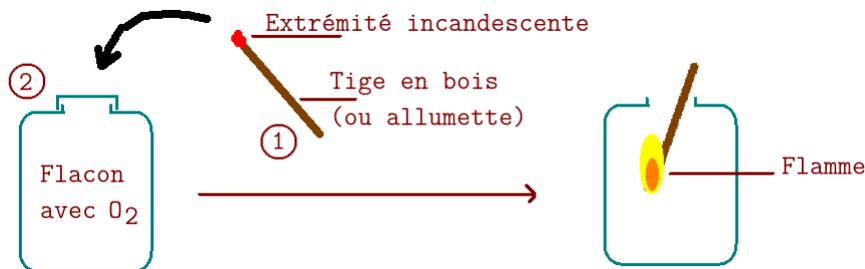
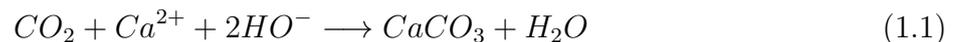
FIGURE 1.5 – Les particules dans l'état gazeux.

Au niveau particulaire les particules qui forment ce gaz sont écartées les unes des autres, il y a un grand désordre et les particules bougent beaucoup! cela donne aux gaz leur propriété de dilatation et le fait qu'ils occupent tout l'espace disponible. Notez que certains gaz sont reconnaissables par des tests spécifiques tels que les 3 images qui suivent le montrent :

FIGURE 1.6 – le test du dioxyde de carbone CO_2

Dans l'expérience ↑ la seringue a recueilli du CO_2 et le teste avec de l'eau de chaux².

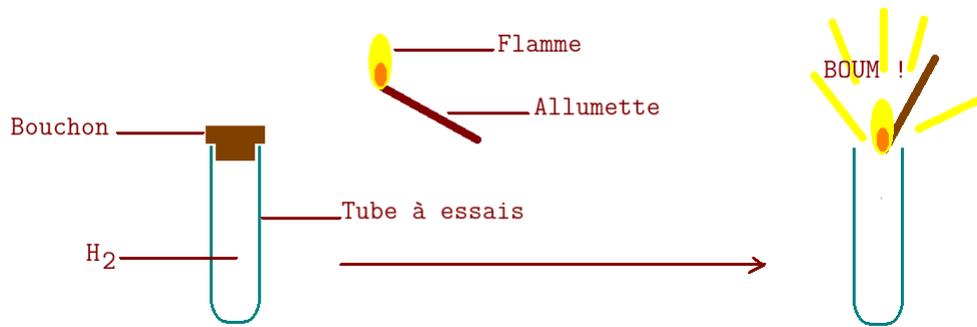
Lors de ce test l'eau de chaux $Ca(OH)_2$ composée des ions ($Ca^{2+} + 2HO^-$) se trouble avec le dioxyde de carbone CO_2 et donne du carbonate de calcium solide (poudre blanche de calcaire c'est à dire de craie) de $CaCO_3$ suivant la relation suivante :

FIGURE 1.7 – le test du dioxygène O_2

Lors de ce test la pointe incandescente³ se ravive et une flamme apparaît. C'est parce qu'il y a plus de dioxygène dans ce flacon que dans l'air ambiant que la pointe incandescente se met à brûler. L'expérience s'arrête dès qu'il n'y a plus de dioxygène O_2 ou quand il n'y a plus de bois. ATTENTION cependant à bien choisir le verre du flacon car certains ne résistent pas à une flamme.

2. L'Eau de chaux est fabriquée à partir de la chaux éteinte CaO et de l'eau. On mélange 10 g. de chaux éteinte pour 1 L d'eau bouillante, on verse la chaux éteinte dans l'eau bouillante en agitant à l'aide d'une baguette en verre quelques minutes puis on laisse refroidir et décantier. Une fois le mélange froid (à température ambiante) on le filtre avec un papier filtre, voilà! L'eau de chaux est prête. ATTENTION : Port de lunettes, blouse et gants de protection indispensable!

3. Incandescente : devenue lumineuse car très chaude mais sans flamme.

FIGURE 1.8 – le test du dihydrogène H_2

Lors de ce test le dihydrogène H_2 produit au contact du dioxygène (entrée du tube) et de la flamme une mini-explosion semblable à une détonation, la flamme rentrera à l'intérieur du tube (par dépression). Cela produira un petit bruit semblable à un aboiement (mais seulement s'il y a assez de gaz). ATTENTION : le tube en verre doit être résistant et il faut le laisser sur un portoir (et éviter de le tenir dans la main).

Remarque : Je ne traite pas de l'état plasmatique car il n'existe que dans le coeur des étoiles où la température dépasse les 2 millions de degrés celsius.

Remarque 2 : Gaz, Vapeur et Fumée ne sont pas la même chose. Pour faire simple : une fumée est un gaz mélangé à de petites particules solides microscopiques, une vapeur est un gaz mélangé avec des micro-gouttelettes de liquide enfin un gaz est un gaz sans aucune sorte de particules dedans.

1.1.3 La masse

La masse est une grandeur physique qui donne la quantité de matière. Plus il y a de matière, plus il y a de masse. La masse est mesurée avec une balance. L'unité de la masse est le kilogramme dont le symbole est kg. Dans cet exemple ci-contre (ou ci-dessous) l'objet est pesé sur la balance préalablement tarée (remise à zéro) puis la masse est mesurée.

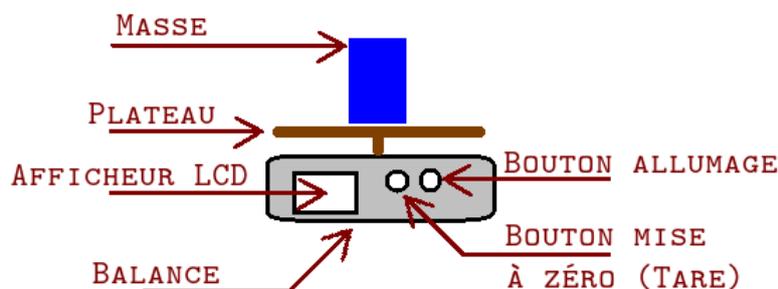


FIGURE 1.9 – mesurer une masse avec une balance

Dans le cas d'une balance sans tare il faudra effectuer une soustraction suivant la façon dont vous allez opérer. Attention également : toutes les balances font des arrondis sur leur dernier

chiffre affiché (elles mesurent avec plus de précision que l'afficheur mais arrondissent), il faut en tenir compte lors des expériences. Les balances ont aussi un maximum qu'elles peuvent mesurer et ont un gros défaut : elles se dérèglent au fur et à mesure du temps (cela s'appelle la dérive). Il est donc nécessaire de la réinitialiser ou la tarer avant chaque mesure. Dans la pratique j'opte généralement pour 3 mesures à chaque fois. Si ce sont les mêmes je garde, sinon j'en refais 3 et garde la valeur qui est revenue le plus souvent.

Il existe différentes unités de masse à connaître. (je ne citerai que les unités utilisées en sciences et en ingénierie) Il est aussi important de savoir convertir des valeurs d'une unité vers une autre unité (hormis sans doute les μg car ces derniers sont moins utilisés dans la vie de tous les jours pour le quidam :

unité	symbole	conversion	puissance de 10
tonne	t	1 t = 1000 kg	$10^6 g$
kilogramme	kg	1 kg = 1000 g	$10^3 g$
gramme	g	–	$10^0 g$
milligramme	mg	1 g = 1000 mg	$10^{-3} g$
microgramme	μg	1 mg = 1000 μg	$10^{-6} g$

TABLE 1.2 – Quelques multiples de l'unité gramme.

t	Q	.	kg	hg	Dg	g	dg	cg	mg	.	.	μg

TABLE 1.3 – Tableau montrant l'organisation des différentes unités de masse, du μg jusqu'à la t.

exemple	valeur (g)	valeur (kg)	valeur (t)
1 ordiphone	150	0,15	0,000 15
1 bouteille de 1,5L d'eau	1 500	1,5	0,001 5
1 bébé à la naissance en moyenne	3 500	3,5	0,003 5
1 pack de 6 bouteilles ou briques de 1 L (lait, eau)	6 000	6	0,006
1 humain (en moyenne inter-sexuée)	75 000	75	0,075
1 petite voiture	900 000	900	0,9
1 grosse voiture	1 500 000	1 500	1,5
1 gros camion	40 000 000	40 000	40

Le tableau ↑ vous donne quelques exemples " d'objets " exprimés dans les 3 unités courantes que sont le gramme (g), le kilogramme (kg) et la tonne (t).

Autres unités Les pays anglosaxons utilisent un jeu d'unité différentes basé sur les unités impériales, il s'agit de l'once (Oz, 1 Oz = 28,349 523 125 g) la livre (1 lb = 0,453 592 37 kg)

la short-ton (1 sh tn = 907,184 74 kg = 2000 lb) surtout valable aux USA et la long-ton (1 lg tn = 1 016,046 908 8 kg = 2240 lb) au royaume uni et la stone (1 st = 6,350 293 18 kg = 14 lb)... ce qui n'est pas pratique pour pouvoir échanger avec des savants ou des commerçants dans d'autres pays, la nécessité pour les échanges internationaux d'utiliser la même unité a donné lieu entre les pays utilisant le système métrique et les pays utilisant d'autres systèmes à de nombreuses disputes voire des conflits.

1.1.4 Le volume

Le volume est une grandeur physique qui donne l'espace en 3 dimensions occupé par un objet quelque soit son état physique. Il se mesure de trois façons différentes qui utilisent deux sortes de méthodes :

- avec une règle ou un pied-à-coulisse et une formule mathématique quand la forme de l'objet est décomposable en formes mathématiques connues. *Figure ci-après à gauche.*
- si l'objet est liquide ou gazeux son volume peut être mesuré avec un récipient gradué. *Figure ci-après au centre (Récipient fermé si c'est un gaz.)*
- si l'objet est solide mais assez dense et ne craignant pas l'immersion alors l'objet peut être immergé dans un récipient gradué, la différence de volume mesurée donnera le volume de l'objet. *Figure ci-après à droite.*

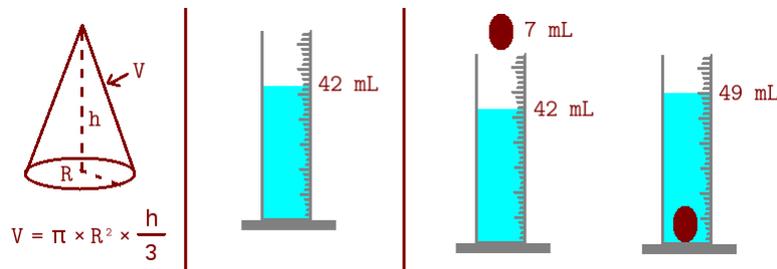


FIGURE 1.10 – Différentes méthodes de mesure des volumes.

Les dessins ↑ montrent les différentes méthodes citées dans la liste juste avant le schéma. Vous aurez bien retenu que dans la 3e méthode l'objet doit être étanche et couler, si l'objet flotte sur l'eau vous pouvez toujours utiliser un liquide moins dense (de l'huile par exemple) en espérant qu'il coulera ainsi.

Ont été vues lors du cycle 4 deux échelles d'unités de volume, l'une est le Litre (symbole : L) qui est plutôt utilisée en chimie et l'autre est le mètre-cube (symbole : m^3) qui est plutôt utilisée en physique.

Il existe bien évidemment des multiples et des sous-multiples de ces unités. Les conversions les plus courantes $L \Leftrightarrow mL$ et $L \Leftrightarrow cL$ sont à connaître par coeur, la première pour la chimie, la seconde dans la vie de tous les jours.

unité	symbole	conversion	puissance de 10
Litre	L	n/a	10^0
décilitre	dL	1 L = 10 dL	10^{-1}
centilitre	cL	1 L = 100 cL	10^{-2}
millilitre	mL	1 L = 1000 mL	10^{-3}

TABLE 1.4 – Quelques sous-multiples du Litre.

Les conversions suivantes sont plutôt utiles en physique et en ingénierie.

unité	symbole	conversion
mètre-cube	m^3	n/a
décimètre-cube	dm^3	1 $dm^3 = 10^{-3} m^3$
centimètre-cube	cm^3	1 $cm^3 = 10^{-6} m^3$

TABLE 1.5 – Quelques sous-multiples du m^3

De plus vous avez aussi à connaître ces équivalences par coeur ! :

— $1 m^3 = 1000 L$

— $1 dm^3 = 1 L$

— $1 cm^3 = 1 mL$

La conversion $1000 L \iff 1 m^3$ est quant à elle à connaître car c'est celle qui est utilisée couramment pour tout ce qui est gros volume : piscines, cuves de pétroles / gaz, etc... et qui vous sera facturée autour de vous.

1.1.5 La température

La température est une grandeur physique qui indique l'état d'échauffement de la matière et son agitation atomique et moléculaire qui se traduit par de l'énergie thermique. L'appareil de mesure est le thermomètre.

L'unité française de la température est le degré celsius (symbole : °C) mais il existe aussi une unité spéciale utilisée par les chimistes et les physiciens, le kelvin (K). Pour passer de °C à K on utilise la formule suivante : $K = \Theta + 273,15$

Dans les pays anglosaxons il y a aussi le degré Fahrenheit (symbole : °F) avec la conversion suivante $F = \frac{9}{5} \times \Theta + 32$ et le Rankine qui équivaut au Kelvin pour les unités anglo-saxonnes.

Le tableau qui suit vous donne quelques valeurs notables de température en °C et en K et en °F.

Événement	en °C	en K	en °F
Le zéro absolu	-273,15	0	-459,67
Le mercure métallique devient solide	-38,842	234,31	-37,916
Température d'un congélateur 3 étoiles	-18	255,15	0,4
La glace fond	0	273,15	32
Température un peu fraîche (automne)	15	288,15	59
Température habituelle d'un labo	20	293,15	68
Température classique d'une transformation chimique	25	298,15	77
Température d'un été " normal "	30	303,15	86
Canicule	40	313,15	104
L'eau bout	100	373,15	212

TABLE 1.6 – Quelques exemples de conversions °C en K et en °F.

1.1.6 La pression

La pression est une grandeur physique qui indique comment appuie un fluide (un gaz ou un liquide) sur toute surface autour de lui.

Il y a deux appareils de mesure que sont le manomètre (celui par exemple de la station service pour vérifier la pression des pneus) ou le baromètre (car au XVIIe siècle la relation entre le temps qu'il fait et la pression atmosphérique a été établi).



FIGURE 1.11 – Un manomètre (1), un baromètre circulaire (2) et un baromètre de Torricelli (3).

L'unité utilisée couramment est l'hecto-pascal (hPa). Il y a bien sûr d'autres unités de pression dont une utilisée aussi très couramment le millimètre de mercure (mmHg). Bien sûr la pression est en lien avec les propriétés des différents états physiques.

exemple de situation	pression en hPa	pression en bar	pression en mmHg
Vide spatial	$10^{-13} \approx 0$	0	0
Pression de l'atmosphère martienne	6	0,0063	4,5
Pression de l'atmosphère terrestre	1 013	1,013	760
Pression dans une cocote minute (avec soupape)	1 800	1,8	1 350
Pression dans un pneu de voiture	2 200	2,2	1 672
Pression dans une roue de vélo	3 500	3,5	2 660

Le tableau ↑ donne quelques exemples de pressions communes.

Pression et compression

Il y a un lien direct entre la pression d'un fluide (gaz la plupart du temps mais aussi liquide parfois) et l'action de comprimer ou au contraire de dilater le fluide en question. Ces actions jouent sur la façon dont les molécules sont plus ou moins serrées dans le récipient. La règle est simple :

- **Si on comprime un gaz alors la pression augmente.**
- **Si on dilate un gaz alors la pression diminue.**

Dans la figure qui suit le gaz à gauche occupe un certain espace et affiche une certaine pression. En le comprimant ce gaz a toujours la même quantité de matière (il a le même nombre de particules dessinées) mais occupe moins d'espace. Cela se traduit par une pression plus élevée. Comment cela se voit-il ? Regardez les deux appareils de mesure, la pression passe de "N" normale à "+" forte. Au sein de la seringue les molécules sont plus serrées.

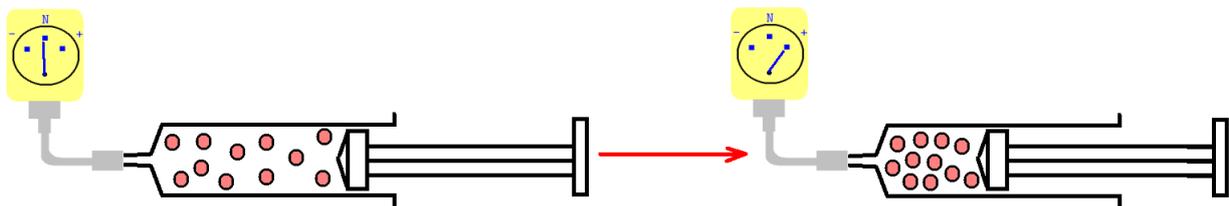


FIGURE 1.12 – Compression d'un gaz dans une seringue

Dans le cas suivant par contre c'est le contraire, l'image de gauche montre des particules qui sont à une certaine distance les une des autres, en allant de gauche à droite on augmente le volume ce qui se traduit par un volume plus grand, un espacement des particules plus grand et une pression qui diminue. Dans l'image qui suit on voit la pression passer de "N" normale à "-" forte et les particules à l'intérieur de la seringue s'écartent.

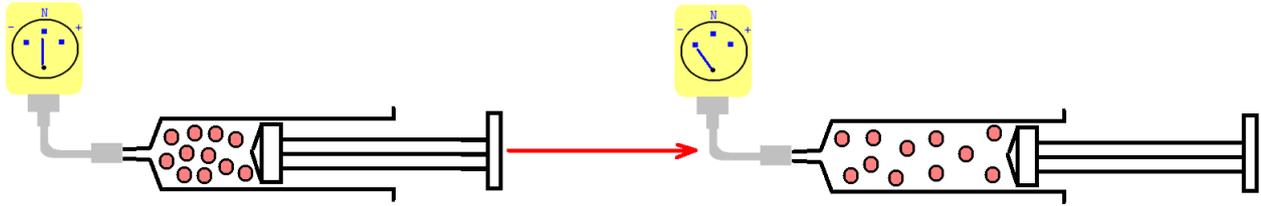


FIGURE 1.13 – Dilatation d'un gaz dans une seringue

Dans l'espace il n'y a pas d'air donc il n'y a pas de pression.

A retenir : La compression d'un gaz dans un récipient fermé augmente la pression, la dilatation de ce même gaz diminue la pression.

1.1.7 Les propriétés magnétiques

Certaines matières sont naturellement aimantées. Elles ont la propriété d'attirer les objets contenant du fer.

Un aimant possède 2 extrémités appelées pôle Nord et pôle Sud. Lorsqu'on approche 2 pôles différents (1 N et 1 S) alors les 2 aimants sont attirés l'un vers l'autre. Si par contre on approche 2 aimants par le même pôle (2 fois le N ou 2 fois le S) alors les deux aimants se repoussent, c'est ce qui est montré dans le dessin suivant :

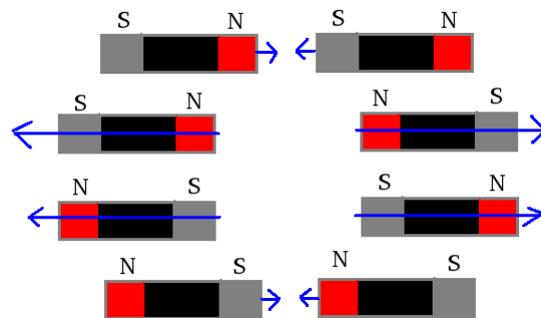


FIGURE 1.14 – Attractions et répulsions magnétiques

(ajouter paragraphe sur les différents usages, IRM, ILS, systèmes anti-endormissement les trains).

1.1.8 Les propriétés de conductivité électrique

Certaines substances laissent passer le courant électrique, elles sont conductrices de courant. Dans l'image qui suit, la substance (rectangle gris tenu par les deux pinces que sont les rectangles blanc) laisse passer le courant ou le bloque. L'ampèremètre placé en bas (cercle avec le A) indiquera l'intensité du courant électrique. (voir le chapitre correspondant).

Si l'objet est conducteur alors l'ampèremètre indiquera une valeur non-nulle. Si par contre l'objet est isolant alors l'ampèremètre indiquera 0 A (zéro ampère, valeur nulle).

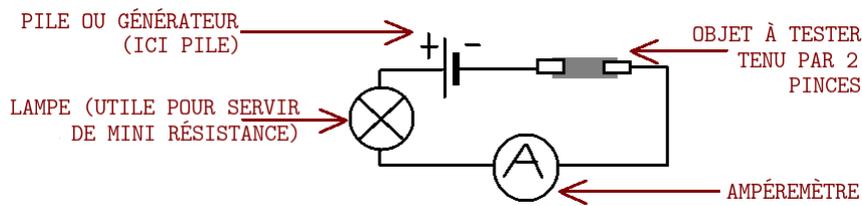


FIGURE 1.15 – Schéma d'expérience de test de conductivité.

Voici un tableau qui donne quelques exemples de matériaux et leur conductivité (ou leur non-conductivité) :

Matière testée	Métal	Vraie mine crayon	Plastique	Papier	Tissus
État de la lampe	Allumée	Allumée	Éteinte	Éteinte	Éteinte
Valeur sur l'ampèremètre	$\neq 0$	$\neq 0$	0	0	0

TABLE 1.7 – Quelques exemples de matériaux à l'épreuve de la conductivité électrique

Notez que certains liquides peuvent aussi conduire pour certains le courant électrique, principalement des solutions ioniques. (voir la section traitant de ce sujet).

Un isolant : Un objet est isolant s'il empêche le courant électrique de passer.

Un conducteur : Un objet est conducteur s'il laisse le courant électrique passer.

1.1.9 Les propriétés électriques

Certaines substances sont naturellement chargées électriquement, elles ont une *charge électrique* qui existera tant que la substance n'a pas été déchargée (par contact avec autre chose). cela vous arrive parfois de vous charger électriquement (lorsque vous avez chaud dans un pull en laine et que vous le frottez contre le tissus en plastique d'un revêtement intérieur d'une voiture par exemple). Un contact avec un objet de charge différente transfère une partie de la charge pour que les deux objets soient chargés de la même façon provoquant une décharge électrique au point de contact qui peut être douloureuse (pour reprendre l'exemple : en sortant vous touchez la portière en métal du véhicule, boum vous prenez une décharge). *cela n'a rien à voir avec l'expression "prendre un coup de jus" qui correspond à une électrisation car dans le cas de la voiture vous portez la charge et dans le "prendre un coup de jus" vous la recevez.*

Notez que cette propriété est différente de celle du paragraphe précédent sur la conductivité électrique.

1.1.10 Les propriétés de conductivité thermique

Chaque matière peut transmettre plus ou moins vite la température. C'est la **conductivité thermique**. Certaines matières seront dites isolantes car elle ralentissent la diffusion de la chaleur (par exemple la laine de verre retient la chaleur d'une maison car elle retarde la perte de cette chaleur à travers elle).

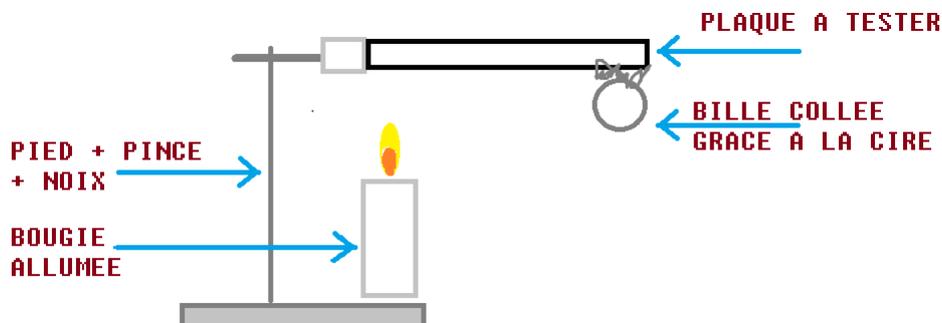


FIGURE 1.16 – Une expérience de conductivité avec une bille, une bougie et de la cire.

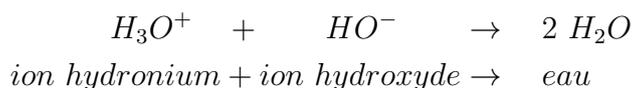
Le tableau suivant reprend quelques valeurs mesurées en classe par les élèves de 6ème lors de cette année scolaire :

matière testée	cuivre	zinc	aluminium	fer	verre
temps pour fondre la cire	40 s	73 s	38 s	141 s	> 5 min : résultat négatif.

TABLE 1.8 – Quelques mesures de la conductivité thermique vue au cycle 3

1.1.11 Les propriétés acido-basiques : le pH

Certaines substances contiennent un ion appelé ion hydrogène (ou aussi ion hydronium) dont la formule chimique est H^+ (ou H_3O^+). Ces substances sont appelées Acides, c'est une de leurs propriétés. Il existe un autre ion appelé hydroxyde HO^- qui a des propriétés similaires mais qui sera appelé ion basique. Une forte concentration de l'un ou de l'autre de ces ions rend la solution dangereuse. Ces deux ions ont la particularité de s'annuler mais attention car cela produit beaucoup de chaleur :



Le pH n'a pas d'unité, lorsque la substance acide ou basique est dissout dans de l'eau, alors son pH, à une température autour de 25 °C alors on aura la propriété suivante pour le pH :

- Si le pH est inférieur à 7, alors la solution est acide et contient beaucoup d'ions H_3O^+ ;
- Si le pH est égal à 7, alors il y a autant d'ions H_3O^+ que d'ions HO^- ;
- Si le pH est supérieur à 7, alors la solution est basique et contient beaucoup d'ions HO^- ;

L'image qui suit résume tout ceci, la solution ne présente aucun danger acidobasique à $pH = 7$ mais plus on s'approche de 0 et plus c'est dangereux, idem en s'approchant de 14. **Attention : Le pH n'est pas une unité linéaire : passer de $pH = 7$ à $pH = 6$ veut dire qu'on est 10 fois plus acide mais passer de $pH = 7$ à $pH = 4$ signifie qu'on est 1000 fois plus acide !**

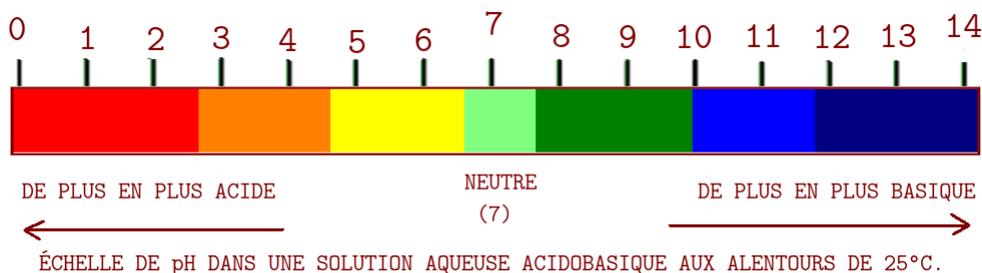


FIGURE 1.17 – l'échelle de pH dans une solution aqueuse à 25°C

Les couleurs du dessin ↑ sont celles habituelles du disque des couleurs livré avec le papier pH utilisé lors des expériences en cours, ce papier pH peut prendre chacune de ces couleurs. Quant au tableau ↓ il donne le pH approximatif de différentes substances de la vie courante.

nom de la substance	pH	nom de la substance	pH
Vinaigre	2	xxxx cola	2,1
Jus de citron	3,5	Jus de tomate	4
Eau de Perrier	6,1	Eau de Volvic	7
Shampooing pour nourrissons	7	Eau d'évian	7,4
Eau de St-Yorre	7,9	Eau de mer	8,3
Eau de Javel	12,7	Lessive de soude	14

TABLE 1.9 – Quelques exemples de liquides et leur pH.

Chapitre 2

Organisation de la matière dans l'univers

Dans le descriptif de certaines particules à venir je parlerai des antiparticules pour les composants de base de la matière. Ce n'est pas au programme bien évidemment mais il est bon de savoir qu'autant la matière existe, autant l'antimatière aussi. Elle n'a rien de magique ou de mystérieux, c'est simplement des particules de même masse mais de charge électrique contraire : si une particule est électriquement positive, son antiparticule est quasi-identique, la différence est que cette antiparticule est électriquement négative.

Particules et antiparticules sont tirées bien sûr du modèle standard de la physique.

2.1 À l'échelle atomique

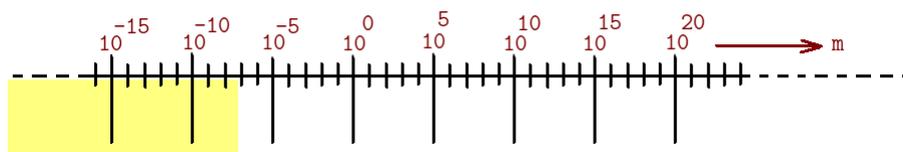


FIGURE 2.1 – Le domaine de l'échelle nanoscopique étudié

Les prochains sous-paragraphe traitent de ce qui est à l'intérieur de l'atome et jusqu'aux molécules couvrant ainsi une échelle allant de 10^{-15} m à 10^{-9} m c'est à dire couvrant de la taille des nucléons à la taille de molécules courantes de taille moyenne allant de 2 à deux ou trois dizaines d'atomes. Le programme officiel demande de s'arrêter à une vision simple de l'atome : un noyau avec protons et neutrons, des électrons tournant autour (pas de couches électroniques ni d'orbitales atomiques ou moléculaires¹), la représentation et la notation de molécules et d'atomes simples.

1. Après le bac vous étudierez les atomes avec une vision quantique introduisant des fonctions d'ondes et une représentation orbitale des atomes avec des formes étonnantes vues dans la figure 2.1.3

2.1.1 Les nucléons au coeur du noyau atomique

Par définition les nucléons sont les particules présentes dans le noyau d'un atome. On en compte 2 (au cycle 4) : Le proton et le neutron.

Le noyau d'un atome s'étend de l'ordre de grandeur de 10^{-15} m jusqu'à 10^{-13} m pour les noyaux les plus lourds, il est composé de diverses particules que vous verrez dans ce document un peu plus loin. Autour de ce noyau se trouvent les électrons. Le noyau contient deux sortes de particules :

- **le neutron. Il est noté " n ". C'est une particule électriquement neutre placée dans le noyau atomique. Il n'a aucune charge électrique globale, il est donc neutre d'où son nom.**
- **le proton. Il est noté " p^+ ". C'est une particule de charge électrique positive. Elle est présente aussi dans le noyau.**

L'addition de tous les neutrons et de tous les protons présents dans un noyau donne le nombre de masse c'est à dire de nucléons² appelé A. Par exemple dans ${}^7_3\text{Li}$ il y a 3 protons et 4 neutrons, donc $3 + 4 = 7$: il y a 7 nucléons dans ce noyau.

le proton p^+

Le proton est l'un des nucléons. La masse d'un proton est $m_{p^+} = 1,672649 \times 10^{-27}$ kg et sa charge électrique, notée +e, vaut $+e = +1,602176565 \times 10^{-19}$ C.³ La durée de vie du proton est infinie en théorie car le neutron est une particule stable, ou de l'ordre de 10^{34} ans. Les mesures ont montré une durée de vie $> 5,9 \times 10^{33}$ ans. Cette particule fût prédite par William Prout en 1815 (à vérifier) mais découverte réellement par Ernest Rutherford en 1919.

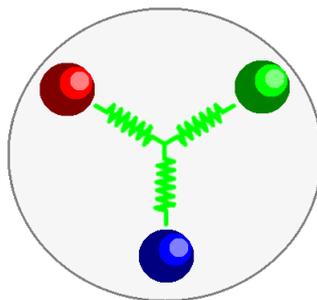


FIGURE 2.2 – Le proton tel que vous le verrez au cycle 5 et suivants avec ses deux quarks Up et son quark Down

Dans le dessin ↑ le proton est la sphère de couleur grise délimitée par le cercle gris un peu plus prononcé. Il se compose de particules appelées quarks⁴ qui sont de couleurs différentes

2. Les nucléons sont les neutrons et / ou les protons.

3. Le Coulomb C est l'unité de charge électrique notée habituellement Q. Grâce à lui on peut définir l'intensité du courant électrique par la relation $1C = 1A \times 1s$.

4. Les quarks sont des particules subatomiques que vous verrez en terminale S ou après, il en existe 6 : Up, Down, Strange, Charm, Top (ou Truth), Bottom (ou Beauty), voir la page wikipedia consacrée à ces particules : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Quark>.

pour des raisons liées au fait que chaque quark a une couleur différente mais vu de l'extérieur (si on peut dire) c'est une particule "blanche" qui est vue, aussi, pour obtenir du blanc il faut la même quantité de rouge, de vert et de bleu en synthèse additive des couleurs. (voir (ajouter référence du paragraphe sur la synthèse additive des couleurs)). Pour résumer voici la carte d'identité du proton

Information	valeur et unité
Nom de particule	Proton
Famille	Fermions, groupe des Baryons (nucléons)
Anti-particule	Antiproton
Masse	$1,672649 \times 10^{-27}$ kg
Charge électrique	$+e = 1,602176565 \times 10^{-19}$ C
Durée de vie	En théorie infinie ou $\approx 10^{34}$ ans, les expériences montrent que la durée est $> 5,9 \times 10^{33}$ ans.
Prédicteur	William Prout 1815
Découvreur	Ernest Rutherford 1919

TABLE 2.1 – La carte d'identité du proton

Il est intéressant de noter deux points : la durée de vie exceptionnellement longue des protons (qui font partie des particules nées quelques fractions de secondes après le big bang) ce qui fait que les atomes qui vous composent ont déjà un âge gigantesque ! L'autre point intéressant est l'écart entre une prédiction théorique (1815) et la découverte expérimentale (1919), il correspond aux écarts observés au XIXe siècle. Ces écarts ont ensuite un peu réduit par la suite (vous allez le voir avec le cas du neutron) même si on a eu des écarts du même ordre avec par exemple le boson de Higgs.

le neutron n

La masse d'un neutron est $m_n = 1,67493 \times 10^{-27}$ kg. Cette particule est électriquement neutre. Sa durée de vie est de 880,3 s. seulement. Il a été prédit par Ernest Rutherford en 1920 mais c'est à James Chadwick qu'on lui doit sa réelle découverte en 1932. Il fait partie de la même famille que le proton à savoir les Baryons (nucléons).

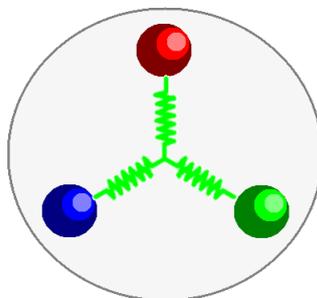


FIGURE 2.3 – Le neutron tel que vous le verrez au cycle 5 et suivants avec ses deux quarks Down et son quark Up

Pour résumer voici la carte d'identité du neutron

Information	valeur et unité
Nom de particule	Neutron
Famille	Fermions, groupe des Baryons (nucléons)
Anti-particule	Antineutron
Masse	$1,64993 \times 10^{-27}$ kg
Charge électrique	0 C (le neutron est ... neutre!)
Durée de vie	$880,3 \text{ s} \pm 1,1 \text{ s}$
Prédicteur	Ernest Rutherford 1920
Découvreur	James Chadwick 1932

TABLE 2.2 – La carte d'identité du neutron

2.1.2 L'électron \bar{e}

L'électron (noté \bar{e} ou β^+ pour les électrons issus d'une décomposition radioactive) est une particule de charge électrique négative. Elle tourne autour du noyau à de très grandes vitesses. La charge électrique d'un électron est notée $-e$. Sa valeur est $-e = -1,602176565 \times 10^{-19} \text{ C}$. Sa masse vaut $m_{\bar{e}} = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$. Sa durée de vie est quant à elle $> 2,1 \times 10^{36} \text{ s}$. Cette particule a été identifiée par J. J. Thomson en 1897 mais prédite par Richard Laming en 1838 et 1851. Cette particule fait partie d'une famille différente de celle des neutrons et protons (c'est à dire des baryons), elle fait partie des leptons dans le modèle standard des particules de la physique moderne.

Notez une chose très importante : **La charge électrique d'un proton et la charge électrique d'un électron s'annulent parfaitement** : $(+e) + (-e) = 0$.

Pour résumer voici la carte d'identité du neutron

Information	valeur et unité
Nom de particule	Électron
Famille	Fermions, groupe des Leptons
Anti-particule	positron
Masse	$9,10938356 \times 10^{-31}$ kg
Charge électrique	$-e = -1,602176565 \times 10^{-19} \text{ C}$
Durée de vie	$> 2,1 \times 10^{36} \text{ s}$ (soit plus que l'âge de l'univers)
Prédicteur	Richard Laming en 1838 et 1851
Découvreur	Joseph John Thomson en 1897

TABLE 2.3 – La carte d'identité de l'électron

2.1.3 L'atome

Pour faire simple les atomes sont de forme sphérique (plus tard vous verrez que c'est plus compliqué). Au centre de l'atome se trouve le noyau de charge électrique positive. Le noyau représente plus de 99 % de la masse d'un atome. Ce noyau contient un certain nombre de neutrons et un certain nombre " Z " de protons. Z est appelé " numéro atomique ".

Un atome possède aussi des électrons (négatifs) qui tournent autour du noyau. Comme un atome est par définition (?) électriquement globalement neutre alors il possède le même nombre de protons et de neutrons.

Ont été identifiées ou créées actuellement 118 familles d'atomes. Une famille d'atomes identiques s'appelle un élément chimique, c'est pour cela qu'on parle de 118 éléments chimiques. Ces éléments chimiques sont rangés dans un tableau dit tableau périodique des éléments⁵.

1 H 1.00794																	2 He 4.002602																												
3 Li 6.941	4 Be 9.01218											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.00674	8 O 15.9994	9 F 18.998403	10 Ne 20.1797																												
11 Na 22.989769	12 Mg 24.305											13 Al 26.981539	14 Si 28.0855	15 P 30.973762	16 S 32.066	17 Cl 35.4527	18 Ar 39.948																												
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.95591	22 Ti 47.887	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.93805	26 Fe 55.847	27 Co 58.9332	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.630	33 As 74.92160	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.796																												
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.96	43 Tc 97.9072	44 Ru 101.07	45 Rh 102.9055	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.71	51 Sb 121.760	52 Te 127.6	53 I 126.90447	54 Xe 131.29																												
55 Cs 132.90545	56 Ba 137.327	71 Lu 174.9668	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.08	79 Au 196.96657	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.9804	84 Po 208.9824	85 At 209.9871	86 Rn 222.0176																												
87 Fr 223.0197	88 Ra 226.0254	103 Lr 262.11	104 Rf 261	105 Db 268	106 Sg [271]	107 Bh [267]	108 Hs [269]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [281]	112 Cn 283	113 Nh 284-286.182	114 Fl [289]	115 Mc 288	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]																												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>57 La 138.9055</td> <td>58 Ce 140.116</td> <td>59 Pr 140.90765</td> <td>60 Nd 144.242</td> <td>61 Pm 144.9127</td> <td>62 Sm 150.36</td> <td>63 Eu 151.964</td> <td>64 Gd 157.25</td> <td>65 Tb 158.92535</td> <td>66 Dy 162.50</td> <td>67 Ho 164.93032</td> <td>68 Er 167.259</td> <td>69 Tm 168.93421</td> <td>70 Yb 173.055</td> </tr> <tr> <td>89 Ac 227.0278</td> <td>90 Th 232.0381</td> <td>91 Pa 231.03588</td> <td>92 U 238.0289</td> <td>93 Np 237.048</td> <td>94 Pu 244.0642</td> <td>95 Am 243.0614</td> <td>96 Cm 247.0703</td> <td>97 Bk 247.0703</td> <td>98 Cf 251.0796</td> <td>99 Es 252.083</td> <td>100 Fm 257.0951</td> <td>101 Md 258.1</td> <td>102 No 259.1009</td> </tr> </tbody> </table>																		57 La 138.9055	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.242	61 Pm 144.9127	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92535	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.055	89 Ac 227.0278	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03588	92 U 238.0289	93 Np 237.048	94 Pu 244.0642	95 Am 243.0614	96 Cm 247.0703	97 Bk 247.0703	98 Cf 251.0796	99 Es 252.083	100 Fm 257.0951	101 Md 258.1	102 No 259.1009
57 La 138.9055	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.242	61 Pm 144.9127	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92535	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.055																																
89 Ac 227.0278	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03588	92 U 238.0289	93 Np 237.048	94 Pu 244.0642	95 Am 243.0614	96 Cm 247.0703	97 Bk 247.0703	98 Cf 251.0796	99 Es 252.083	100 Fm 257.0951	101 Md 258.1	102 No 259.1009																																

FIGURE 2.4 – Le tableau périodique des éléments en Juillet 2018.

On peut représenter un atome de 3 façons différentes : par son nom, par son symbole chimique ou par son modèle. Le modèle est une boule de couleur qui sert à modéliser (visualiser) la molécule. Le symbole chimique est le symbole qui apparaît dans le tableau périodique. Un symbole chimique commence toujours par une majuscule. Les lettres utilisées pour former le symbole viennent du nom latin (ou latinisé) de l'élément chimique en utilisant la première lettre en majuscule et la suivante en minuscule choisie parmi la 2e, la 3e ou la 4e lettre du nom latin.



TABLE 2.4 – L'élément Carbone représenté par nom, symbole et modèle.

Dans l'histoire des sciences depuis la Grèce antique il y a eu plusieurs images de l'atome.

5. Le tableau des éléments est aussi appelé tableau périodique de Mendeleiev en l'honneur des travaux du savant russe Dmitri Ivanovitch Mendeleiev qui vers la fin du XIXe siècle a eu l'idée de ranger les éléments chimiques par masse croissante en ligne et en descendant mais aussi par propriétés chimiques identiques en colonnes. À son époque le tableau était très incomplet mais, par ce génial classement il avait prédit les propriétés de certains éléments manquant dans les cases 15 ou 20 ans avant leur découverte réelle. Cet exploit a entériné ce rangement comme étant pertinent ce qui fait que même aujourd'hui avec 118 éléments on le conserve encore. Il est périodique car chaque ligne représente une période car les atomes suivent la même évolution dans leurs différentes propriétés, et les atomes d'une même rangée possèdent des propriétés chimiques identiques ou quasi-identiques.

Les différentes visions de l'atome sont le reflet des sociétés où elles ont été trouvées même si le génie des savants et leur imagination anticonformiste parfois fait que ces images bousculent les idées répandues à leur époque. Toute anticonformiste qu'elles soient à leur époque ces modèles obéissent cependant à une règle inviolable : elles doivent être confirmées par des résultats expérimentaux pour être validées. Le modèle qui est présenté est passé d'un grain de matière avec ou sans crochets à des boules puis des boules avec un des petites boules délocalisées puis centrées dans un noyau d'abord plein puis vide pour finir par des modèles très évolués. Le modèle le plus récent n'est d'ailleurs sûrement pas le dernier qui sera trouvé (espérons-le) car une expérience peut venir l'éprouver et le mettre en défaut.

L'image suivante montre quelques modèles de l'atome au fur et à mesure : des atomes crochus de ... au premier modèle du XVIII^e siècle, du modèle de Bohr au modèle quantique, et jusqu'au modèle probabiliste.

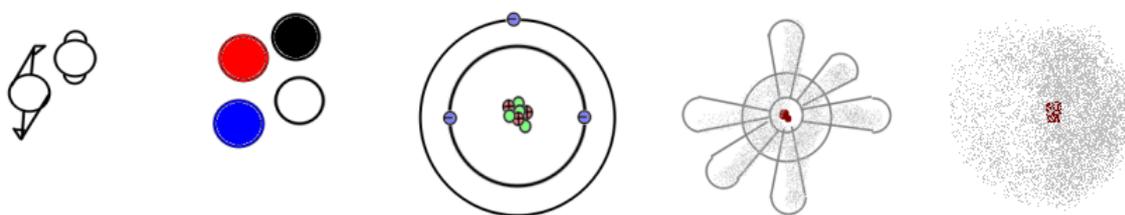


FIGURE 2.5 – Quelques modèles historiques de l'atome

A retenir : Un atome est l'élément stable de base de la matière. Il possède un noyau avec protons positifs et neutrons neutres et des électrons négatifs qui tournent autour du noyau. Dans tous les cas un atome est **GLOBALEMENT NEUTRE**.

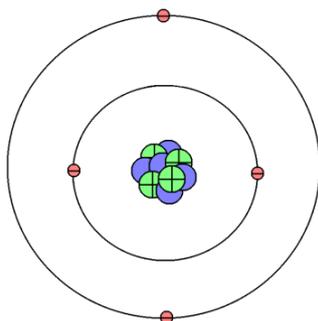


FIGURE 2.6 – Un exemple d'atome dans le modèle présenté cette année : Le Béryllium *Be*.

L'atome \uparrow (Be, Béryllium) possède quatre protons \oplus et 4 électrons \bar{e} et 3 neutrons n . Le tableau \downarrow vous donne la composition plus complète de quelques éléments et atomes vues au cours du cycle 4.

Nom de l'atome	symbole atomique	nombre de p^+	charge du noyau	nombre d' \bar{e}	charge nuage d'électrons	charge globale
Hydrogène	H	1	+1 e	1	-1 e	1 e + -1 e = 0
Oxygène	O	8	+8 e	8	-8 e	8 e + -8 e = 0
Azote	N	5	+5 e	5	-5 e	5 e + -5 e = 0
Fer	Fe	26	+26 e	26	-26 e	26 e + -26 e = 0
Cuivre	Cu	29	+29 e	29	-29 e	29 e + -29 e = 0
Aluminium	Al	13	+13 e	13	-13 e	13 e + -13 e = 0
Zinc	Zn	30	+30 e	30	-30 e	30 e + -30 e = 0
Argent	Ag	49	+49 e	49	-49 e	49 e + -49 e = 0
Or	Au	79	+79 e	79	-79 e	79 e + -79 e = 0
Phosphore	P	15	+15 e	15	-15 e	15 e + -15 e = 0
Soufre	S	16	+16 e	16	-16 e	16 e + -16 e = 0

TABLE 2.5 – Tableau de quelques éléments chimiques

Remarque : En classe de seconde vous aurez les 20 premiers atomes à connaître sur le bout des doigts tant dans leurs symboles que dans le nombre de protons, d'électrons et la façon dont les électrons s'organisent en couches électroniques⁶. *Sauf si le programme du lycée change...*

2.1.4 La molécule

Une molécule est un assemblage d'au moins 2 atomes. Il y a des molécules très petites composées de 2 atomes mais aussi des molécules très grandes comme les matières plastiques polymères ou la molécule d'ADN qui une fois dépliée peut arriver à faire 0,5 cm de longueur (certes elle est tellement fine qu'on ne peut pas voir à l'oeil nu).

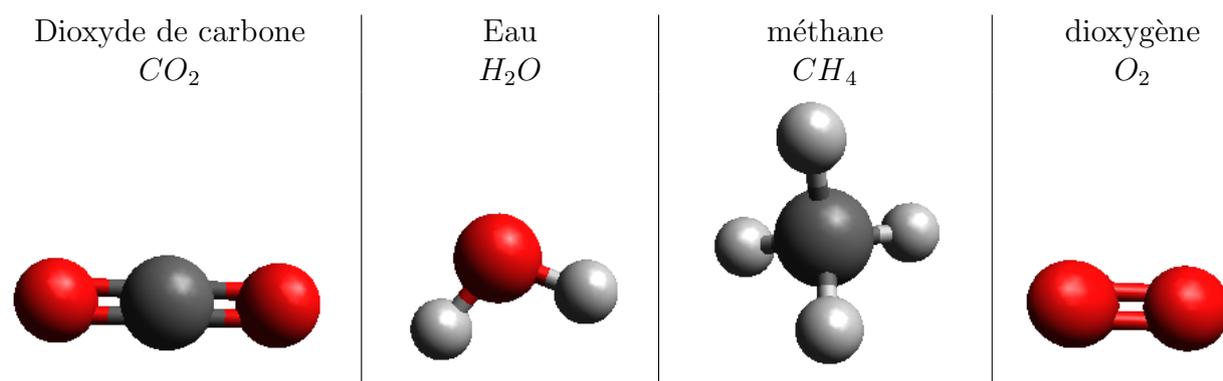


TABLE 2.6 – Quelques modèles moléculaires simples du cycle 4.

Les deux tableaux ↑ et ↓ montrent quelques molécules croisées lors de diverses activités en cycle 4 avec leurs 3 façons d'être représentées.

6. Les électrons sont répartis en plusieurs couches nommées K, L, M ... la couche K peut contenir 2 électrons, la couche L 8, etc.. vous verrez la règle dit de Pauli qui explique qu'en fonction du numéro de la couche (et en partant de zéro), le maximum d'électrons par couche s'obtient par $2n^2$.

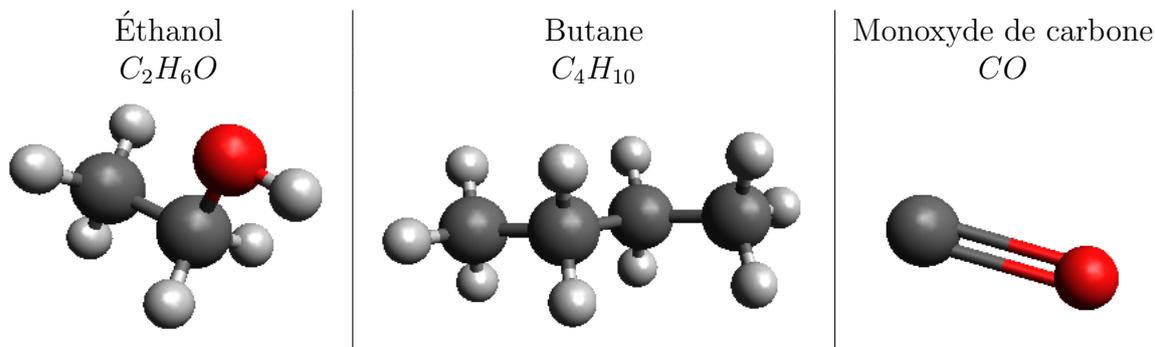


TABLE 2.7 – Quelques autres molécules vues en cours et / ou nocives

Vous aurez remarqué que dans les modèles les atomes sont des boules colorées, au cycle 4 on ne vous demandera pas de tracer les liaisons entre atomes et encore moins de savoir qu'il y a des liaisons simples, doubles ou triples (c'est réservé au lycée).

Quelques molécules à connaître

Voici une liste de molécules qui sont à connaître. Vous devez connaître au moins les 2 premières colonnes. Pour le moment on ne vous demande pas encore (mais dès le milieu de la classe de 2nde cela vous sera demandé) pourquoi il y a parfois une, deux ou trois lignes.

Dans le tableau qui suit j'ai opté pour une représentation différente (en représentant par les modèles de Lewis simplifiés que vous utiliserez au lycée dès la classe de 2nde).

Nom de la molécule	Formule de la molécule	modèle de la molécule
Dioxygène	O_2	$O=O$
Dihydrogène	H_2	$H-H$
Diazote	N_2	$N\equiv N$
Dioxyde de Carbone	CO_2	$O=C=O$
Eau	H_2O	$\begin{array}{ccc} H & & H \\ & \diagdown & / \\ & O & \end{array}$

TABLE 2.8 – Quelques molécules chimiques et leur modèle éclaté avec différentes liaisons entre atomes. 1

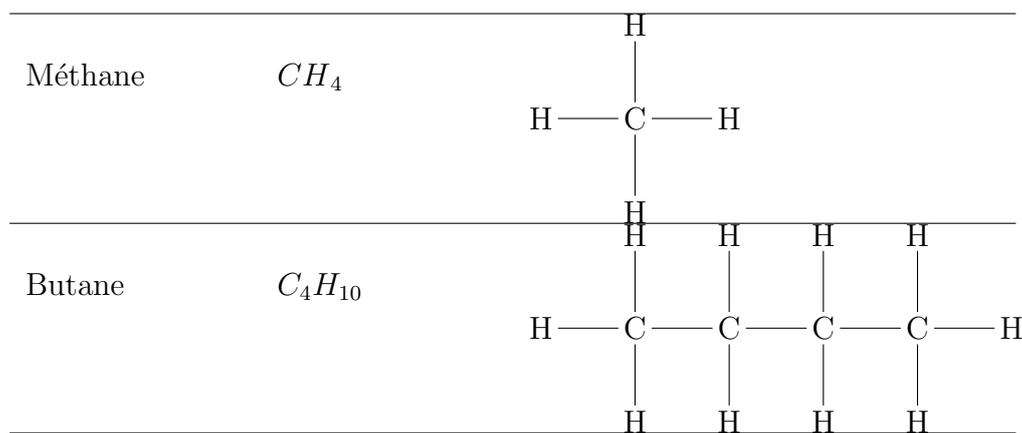


TABLE 2.9 – Quelques molécules chimiques et leur modèle éclaté avec différentes liaisons entre atomes. 2

Un peu hors programme ...

... mais bon à savoir quand même pour votre culture générale. Ci-après les deux représentations montrent un tueur de masse, l'éthanol qui est appelé couramment "alcool" et qui se trouve dans toutes les boissons alcoolisées du commerce quelque soit leur degré d'alcoolémie (leur quantité d'alcool) ou des bouteilles qui viennent d'un lointain passé faite par un bouilleur de crû. La réglementation est très sévère concernant la fabrication, la consommation et le transport de cette substance. Chaque année, entre accidents de la route (car l'alcool est l'un des facteurs le plus présent dans les accidents mortels routiers), violences (conjugales ou autres) et maladies liées à l'absorption d'éthanol ce sont près de 49000 personnes en 2016 (chiffres de l'INSEE) qui en sont mortes.

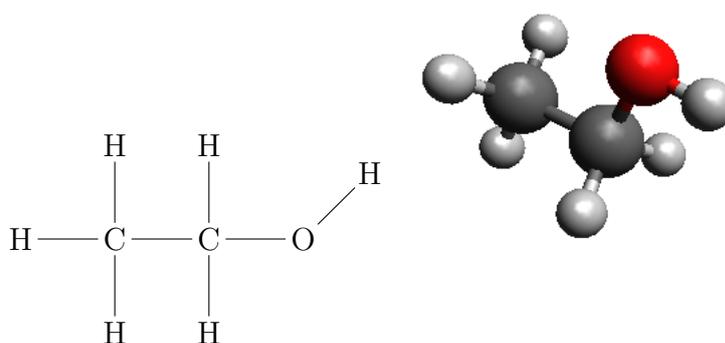


TABLE 2.10 – La molécule d'éthanol dite alcool le tueur de masse.

2.1.5 Une nouvelle espèce chimique identifiée au XIXe siècle : les Ions

Définition d'un ion

Un ion est un atome ou un morceau de molécule auquel on a ajouté ou auquel on a retiré un ou plusieurs électrons. Les ions peuvent être positifs ou négatifs, ils

peuvent aussi être formés à partir d'un atome seul (ce sera un ion monoatomique) ou d'un groupe d'atomes (ce sera un ion polyatomique).

Exemples d'ions : Cu^{2+} SO_4^{2-} NH_4^+ Cl^-

Les ions positifs ou cations

Les cations sont des ions positifs car ils ont perdu un électron ou des électrons par rapport à l'atome ou la molécule originelle. Ces ions sont suivis d'un " + " en exposant.

Exemples :

- l'ion cuivre II Cu^{2+} . L'écriture montre que cet ion est issu d'un atome de cuivre Cu , le " 2+ " signifie qu'il lui manque 2 électrons car 2 de ses protons n'ont pas leur charge électrique annulée par la présence d'un électron, la charge globale est donc positive, 2 fois.
- l'ion sodium : Na^+ . L'ion sodium (Natrium en latin) est issu d'un atome de sodium Na^+ , le " + " signifie qu'il lui manque 1 électron car 1 de ses protons n'a plus de charge électrique annulée par la présence de cet électron, la charge globale est donc positive.

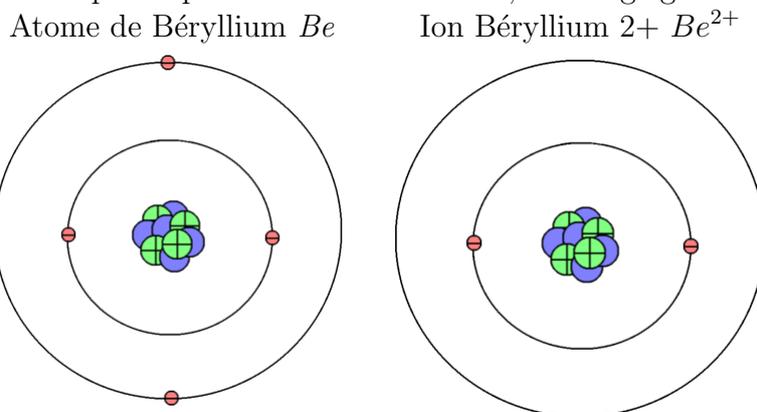


TABLE 2.11 – Tableau comparatif de l'atome de Be et de l'ion Be^{2+}

Dans l'image \uparrow l'atome $Be \rightarrow Be^{2+}$, Be^{2+} contient toujours $4 \oplus$ mais n'a plus que $2 \bar{e}$: $4 \oplus + 2 \bar{e} = 2 \oplus$ ce qui se traduit par le "2+" dans l'écriture Be^{2+} .

Les ions négatifs ou anions

Les anions sont des ions négatifs car ils ont gagné un électron ou des électrons par rapport à l'atome ou la molécule originelle. Ces ions sont suivis d'un " - " en exposant.

Exemples :

- l'ion sulfate : SO_4^{2-} . L'ion sulfate est composé d'un atome de soufre (S) et de 4 atomes d'oxygène (O_4) et le 2^- indique que ce groupe formé de 5 atomes a un ajout de 2 électrons en trop. Cet ion est polyatomique ou moléculaire. Ces deux électrons n'ont pas de protons pour les annuler, aussi la charge globale est négative, 2 fois.
- l'ion Chlorure : Cl^- . L'ion chlorure est constitué à partir d'un atome de Chlore (Cl). Cet atome se voit ajouté un électron supplémentaire ce qui se voit car il y a présence

du symbole $-$ après le symbole. Cet électron supplémentaire n'a pas de proton qui va annuler sa charge, donc il y a une charge négative visible globalement. Cet ion est un ion monoatomique car fabriqué à partir d'un seul et unique atome.

Les solutions ioniques et leurs propriétés

Les substances ioniques viennent généralement d'un corps solide (une poudre appelée très souvent "sels"). Ces substances étant des molécules avant d'être dissoutes, elles sont par définition globalement neutres. Du coup, quand ces molécules sont détruites pour former les ions, il se forme des ions positifs ET des ions négatifs en quantité suffisantes les uns par rapport aux autres de façon à ce que les charges électriques s'annulent si on les compte toutes. Aussi on en tire un principe fort qui est le principe **d'électroneutralité d'une solution ionique**.

Toutes les solutions ioniques sont globalement neutre, l'addition de toutes les charges des ions positifs et négatifs s'y annulent.

Conductivité des solutions ioniques Les solutions ioniques ont aussi d'autres propriétés : elles conduisent le courant électrique et provoquent aux électrodes des réactions d'oxydoréduction. Une expérience simple permet de vérifier la conductivité de ces solutions :

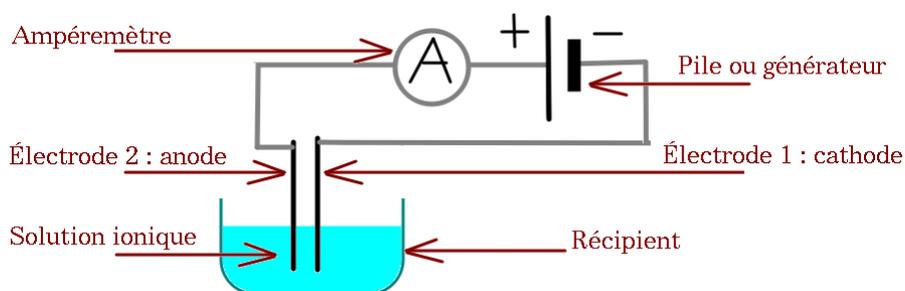


FIGURE 2.7 – Expérience de conductivité pour les solutions ioniques.

Dans cette expérience l'ampèremètre va indiquer une intensité différente de 0 A ce qui sera signe du passage de courant électrique dans la solution ionique. La conductivité s'exprime en S/m (*Siemens par mètre*) et dépend de plusieurs facteurs : la nature du solvant, la température, la taille des ions, la concentration du soluté, etc...

Les ions se déplacent ! Dans une solution ionique soumise à une tension électrique on voit les ions migrer (lentement et subtilement), cette expérience le montre :

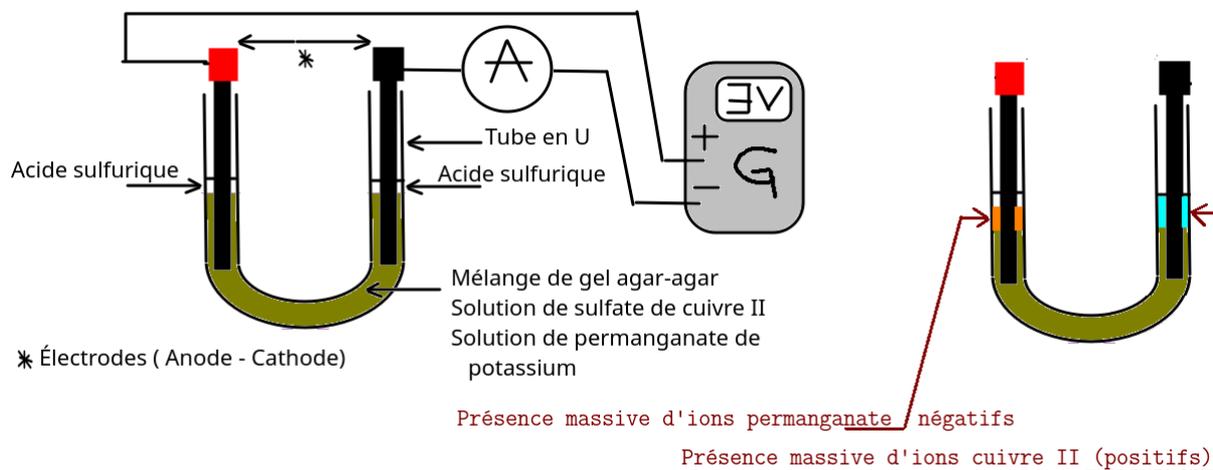


FIGURE 2.8 – Une expérience de migration ionique dans un tube en U.

Dans cette expérience les quatre ions étaient tous mélangés (violets et bleus avec le marron clair du gel agar-agar qui est un gel végétal gélatineux, voir 2.1.5 à gauche de l'image) et après quelques minutes ou quelques heures d'exposition à une tension électrique faible, et l'aide d'acide sulfurique H_2SO_4 pour assurer la conduction électrique est observée une coloration à chaque extrémité des solutions, du côté de l'électrode positive (à gauche) c'est la couleur orange qui est visible, donc les ions négatifs et du côté de l'électrode négative, ce sont les ions positifs qui sont perçus. (voir 2.1.5 à droite de l'image).

Dans une migration ionique, les ions positifs sont attirés vers l'électrode négative et les ions négatifs sont attirés vers l'électrode positive.

Tests de reconnaissance des ions

Pour reconnaître les ions dans une solution on procède à un test de reconnaissance des ions. Ces manipulations sont basées sur un principe simple : certains ions sont incompatibles en solution, dès qu'ils se rencontrent alors on obtient un **précipité**⁷ solide, la couleur, l'aspect et les propriétés de ces précipités permettent de savoir quel est l'ion testé. Le schéma suivant montre une façon de procéder, le tableau qui suit donne la liste des tests vus au collège. Notez que pour procéder au test cela se fait uniquement avec une petite partie de la solution d'origine sinon toute la substance est perdue.

7. Un précipité est une poudre solide en suspension d'aspect fin ou floconneux qui s'utilise en chimie pour séparer des constituants ou pour reconnaître des substances par réaction de précipitation.

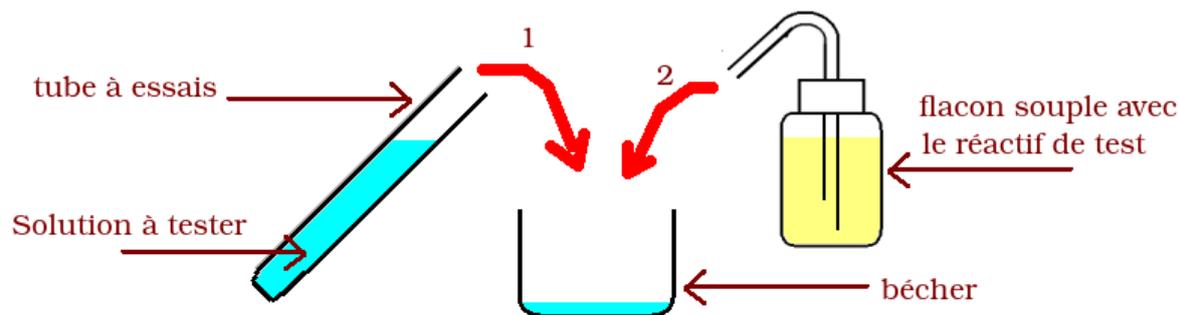


FIGURE 2.9 – Montage de test des ions.

Le tableau suivant montre les tests des ions vus en cours. Attention : certains précipités sont de la même couleur donc pour eux le test de reconnaissance s'effectue en plusieurs étapes.

nom de l'ion	produit de test	résultat à observer
ion chlorure Cl^-	nitrate d'argent $AgNO_3$	on observe un précipité blanc de chlorure d'argent $AgCl$ qui va griser s'il est exposé à une grosse quantité de lumière (particules d'argent Ag et présence de dichlore Cl_2 qui peut être dangereux si la concentration est trop forte)
ion cuivre II Cu^{2+}	hydroxyde de sodium HO^-	on observe un précipité bleu / bleu turquoise floconneux d'hydroxyde de cuivre
ion fer II Fe^{2+}	hydroxyde de sodium HO^-	on observe un précipité vert foncé ou vert morve d'hydroxyde de fer II à l'aspect floconneux qui vire à l'orange à la surface (contact avec le dioxygène de l'air)
ion fer III Fe^{3+}	hydroxyde de sodium HO^-	on observe un précipité orange-marron floconneux d'hydroxyde de fer III
ion zinc Zn^{2+}	hydroxyde de sodium HO^-	on observe précipité blanc floconneux d'hydroxyde de zinc qui reste stable même en ajoutant beaucoup d'hydroxyde de sodium en plus.
ion aluminium Al^{3+}	hydroxyde de sodium HO^-	on observe un précipité blanc floconneux d'hydroxyde d'aluminium qui disparaît quand on ajoute plus d'hydroxyde de sodium

TABLE 2.12 – Quelques tests de reconnaissance d'ions

Dans le cas de certains ions comme l'ion hydrogène aqueux ou l'ion hydroxyde (qui sont les " signatures " des substances acides et des substances basiques) on n'utilisera pas un réactif de test mais un appareil de mesure comme le pH-mètre.

nom de l'ion (aqueux)	méthode de test	résultat à observer
ion hydrogène (hydronium) H^+ (H_3O^+)	pHmètre	Le pHmètre doit indiquer un résultat inférieur strictement à 7.
ion hydroxyde HO^-	pHmètre	Le pHmètre doit indiquer un résultat strictement supérieur à 7.

TABLE 2.13 – Tableau récapitulatif des tests des ions H^+ et HO^-

2.2 À l'échelle humaine

L'échelle humaine ira dans ce document de la taille d'un micromètre (mais en réalité d'un millimètre) à 100 km, ce qui veut dire de 10^{-6} m à 10^5 m. Ce sont des choses qui sont touchables avec vos mains, ou visibles à l'oeil nu ou encore imaginables à votre âge. Ces choses font partie de notre quotidien et elles sont donc tout à fait représentables et facilement comparables les unes des autres.

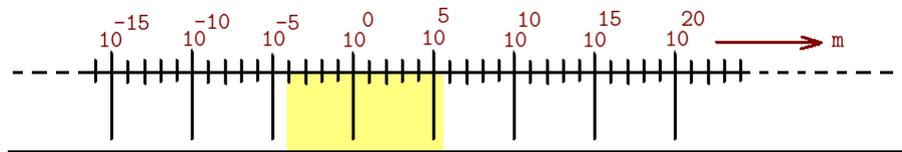


FIGURE 2.10 – L'échelle humaine en puissances de 10

2.2.1 La notion de corps pur

Un corps est pur s'il n'est composé que d'atomes ou de molécules identiques. Extérieurement il est homogène (mais pas forcément régulier) et ne montre pas de différences visibles (mais ce n'est pas une condition suffisante).

Cela signifie que dès qu'une molécule *différente* est présente et mélangée avec un groupe d'autres molécules identiques alors ce corps n'est plus pur. *Notez le paradoxe d'utiliser une échelle nanoscopique pour décrire une notion à échelle humaine.*

La masse volumique d'un corps pur solide

La masse volumique ρ d'un corps pur homogène est le rapport de sa masse "m" par son volume "V" ce qui se traduit par la formule mathématique suivante :

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V}} \quad (2.1)$$

À partir du moment où un corps est pur et qu'il est homogène (c'est à dire sans bulles à l'intérieur) on peut le séparer des autres corps aussi en utilisant leur masse volumique et en utilisant la formule :

$$\boxed{m = \rho \times V} \quad (2.2)$$

L'unité de ces lettres sont différentes suivant qu'on est en chimie ou en physique, d'habitude on exprimera les unités d'après celles écrites dans ce tableau (on peut en choisir d'autres notamment en physique le gramme-par-centimètre-cube g/cm^3) :

Nom de la grandeur	lettre de la formule	unité en physique	unité en chimie
masse	m	kilogramme	gramme
volume	V	mètre-cube	Litre
masse volumique	ρ	kilogramme par mètre-cube	gramme par litre

TABLE 2.14 – Les unités de masse volumique

Notez que $1kg/L = 1g/mL = 1g/cm^3$. On peut aussi utiliser la masse volumique pour les liquides, mais, par habitude, on va lui associer la notion du paragraphe suivant à savoir la *densité*.

La densité d'un liquide

La densité d'un corps est le rapport de la masse volumique de ce corps par la masse volumique de l'eau. La densité se note souvent d et n'a pas d'unité.

En effet la densité " d " se calcule à partir de la masse volumique de la substance " ρ " et de la masse volumique de l'eau " ρ_{eau} " par la formule $d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$. La chance est que la masse volumique de l'eau $\rho_{eau} = 1 g/L$, aussi souvent la densité d est assimilée directement à la masse volumique " ρ " exprimée en gramme-par-litre (g/L) ou ses équivalents à savoir gramme-par-centimètre-cube.

Si deux liquides ne se mélangent pas, la densité peut être utilisée pour les séparer dans une ampoule à décanter (voir paragraphe) et si un liquide A se place au dessus d'un liquide B cela veut dire que la densité de A est plus faible que la densité de B.

substance	densité
eau	1
ethanol (éthanol)	0.798
huile	0.85
Lait	1,03

1

Un exemple : Le pétrole et l'eau ne sont pas miscibles.(voir 2.2.3) en les mélangeant on obtient 2 phases (le pétrole sur l'eau) car la densité du pétrole est 0,85 et celle de l'eau est 1 (pour l'eau douce) et 1,2 (pour l'eau salée, à vérifier) en moyenne. C'est pour cela que lorsqu'un bateau transportant du pétrole coule ou bien fuit, les "barrages" pour retenir le pétrole sont posés à la surface. C'est aussi pour cela qu'une marée noire est dangereuse : le pétrole à la surface va contaminer les oiseaux qui viennent à la surface de l'eau se nourrir mais aussi le plancton qui sert de nourritures à beaucoup d'animaux marins et par la même les contamine aussi. C'est aussi pour cela qu'on retrouve le pétrole sur les plages par la suite par le jeu de déplacement des marées.

2.2.2 Les métaux

Dans le cadre du cours les métaux ont été étudiés car ils possèdent des caractéristiques spéciales par rapport aux autres substances solides. Tous les métaux quand ils sont proprement brossés sont brillants à la surface, c'est un moyen de les reconnaître. De même tous les métaux sont des conducteurs électriques et thermiques. A température ambiante la quasi-totalité des métaux sont à l'état solide (sauf le mercure Hg qui est à l'état liquide d'où son utilisation il y a quelques dizaines d'années dans les thermomètres et il y a plus d'un siècle pour faire briller les chapeaux⁸.

La particularité électrique de conductivité des métaux est due à la présence d'électrons qui sont peu stabilisés autour du noyau atomique au sein des atomes constituant les métaux. Cette fragilité rend ces électrons facilement mobiles et permet un type de connexion (liaison) entre atomes appelée *liaison métallique* dont la particularité est qu'en la reliant à une source de courant électrique elle laisse passer le courant car les électrons issus du courant électrique vont aller se placer à la place des électrons fragilisés, et par ricochet les atomes ayant trop d'électron feront sauter vers l'atome voisin l'électron en trop, etc.. ce qui permet de faire circuler les électrons d'atome en atome à une très grande vitesse et forme... le courant électrique. Ce déplacement de proche en proche est très rapide, de l'ordre de 175 000 km/s. Par contre l'avancée des électrons un à un le long du circuit est très lente (quelques cm/h).

Notez qu'un métal EST FORCÉMENT UN CORPS PUR car sinon ce n'est pas un métal mais un alliage.

Hors programme : Quelques alliages Voici quelques exemples d'alliages qu'on trouve souvent dans le commerce sous forme d'objets confectionnés.

- fonte : fer et de 1,7 à 4 % de carbone
- acier : fer et moins de 2,1 % de carbone et quelques autres résidus, souvent appelé "Acier carbone".
- acier inoxydable : fer et carbone et nickel et chrome quelquefois molybdène, vanadium
- ...
- bronze : cuivre et étain ; "l'airain" est l'ancien nom du bronze
- laiton : cuivre et zinc

Notez aussi que l'Or métallique (c'est à dire pur) étant mou, tous les bijoux que vous achetez sont en fait un alliage d'Or, de cuivre et d'argent pour le rendre plus dur ou qu'il y ait des nuances de couleur. La pureté de l'Or est exprimée en Carat (ou en 1000e) :

8. l'utilisation des sels de mercure aurait inspiré le personnage du chapelier fou dans le roman de Lewis Carroll "Alice au pays des merveilles", car à l'époque les chapeliers utilisaient des sels de mercure pour faire briller les chapeaux, les gens travaillant souvent 16h par jour 6 jours sur 7, les vapeurs de ces sels provoquaient à force la folie puis / ou la mort, car le mercure est un neurotoxique connu.

Nom commercial	% d'Or	nb. de carat	nb. de 1000e
Or pur	100 %	24	999
Or	75 %	18	750
Or	58,5 %	14	585
Or	37,5 %	9	375

TABLE 2.15 – Quelques puretés de l'or commercial source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage#Exemples>

Nom de l'alliage	% Or jaune	% argent	% cuivre
Or jaune	75 %	12,5 %	12,5 %
Or blanc	75 %	25 %	0
Or rose	75 %	5 %	20 %
Or rouge	75 %	0	25

TABLE 2.16 – Pourcentages et composition des différents ors utilisés en bijouterie, notez que pour l'or blanc il y a un peu de palladium ajouté à l'or et à l'argent.

2.2.3 Les mélanges

Les mélanges sont des corps non-purs. Ces mélanges peuvent être homogènes ou hétérogènes, au collège vous avez croisé des mélanges liquides et des mélanges gazeux. Les mélanges de solides existent, ce sont les alliages dont il a été fait mention au paragraphe précédent.

La plupart des mélanges étudiés en cours sont liquides, certains mots de vocabulaires sont nécessaires pour pouvoir les décrire. Chaque corps qui est ajouté et mélangé aux autres est appelé "constituant" du mélange.

Les solvants

Un solvant est une substance (liquide la plupart du temps) qui va dissoudre une autre substance en elle.

Par exemple : quand je dissout du sucre (saccharose) dans de l'eau, l'eau est le solvant. Autre exemple, lorsque vous enlevez du vernis à ongles (plastique), le dissolvant est un solvant qui va dissoudre le vernis sec.

Les solutés

Un soluté est une substance (quelque soit son état physique) qui va être dissoute dans un solvant.

Pour reprendre les deux exemples précédents, le sucre est le soluté dans le premier cas, le vernis sec est le soluté dans le second cas.

Les solutions

Une solution est le mélange d'un soluté dissout dans un solvant.

Pour reprendre les deux cas précédents : la première solution est une solution de fructose dans le second cas une solution de vernis.

Remarque : miscibilité, non-miscibilité, phases et émulsion Notez que si les deux corps sont liquides et qu'ils se mélangent ces deux corps sont dits miscibles. Dans le cas contraire les deux corps ne se mélangent pas et restent dans deux phases différentes, ils sont alors dits non-miscibles, c'est le cas par exemple de l'huile et du vinaigre ou du pétrole et de l'eau. Lorsqu'on mélange les deux corps et que des petites gouttelettes microscopiques se forment pour donner l'impression d'un mélange qui par décantation reprend sa séparation, le résultat temporaire obtenu est appelé une émulsion.

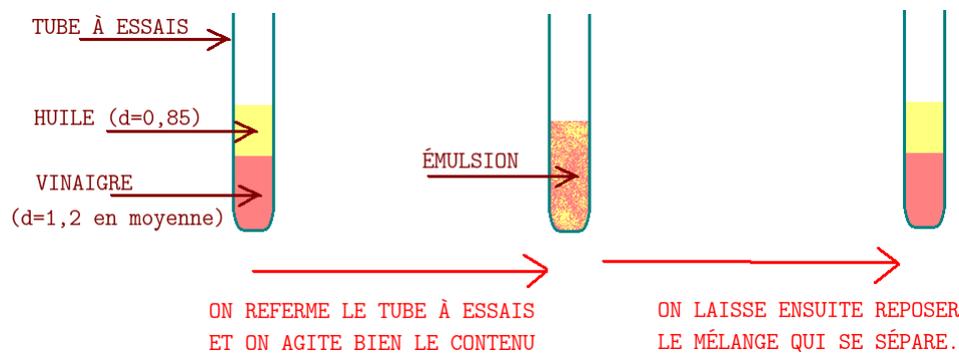


FIGURE 2.11 – Exemple de solution biphasé et d'émulsion non stable.

Les solutions aqueuses

Une solution aqueuse est le mélange d'un soluté dissout dans de l'eau qui est alors le solvant.

Pour reprendre les deux cas précédents : Dans la solution de fructose l'eau est le solvant c'est donc une solution aqueuse de fructose, par contre le solvant qui a dissout le vernis à ongles ne contient pas d'eau, la solution de vernis **n'est pas** une solution aqueuse.

La concentration massique

Par définition la concentration massique " C " d'un soluté (le corps dissout) dans un solvant est le rapport entre la masse du soluté " m " introduit dans la solution et le volume " V " du solvant où il a été dissout, ce qui donne la relation :

$$C = \frac{m}{V} \quad (2.3)$$

Généralement la masse m sera en kilogramme (kg), le volume V sera en Litre (L) et par conséquent la masse volumique C sera en gramme par litre (g/L). Attention dans certains cas la concentration massique s'exprime dans d'autres unités, comme par exemple en % de masse, en ° d'alcoolémie etc.

Les différents mélanges

Il y a deux sortes de mélanges :

- Les mélanges homogènes.
- Les mélanges hétérogènes.

Un mélange homogène...

... est un mélange où tous les constituants sont dans le même état physique, donc on arrive pas à les distinguer à l'oeil nu.

Un mélange hétérogène...

... est un mélange où il y a au moins un constituant qui n'est pas dans le même état physique que les autres ou dans la même phase que les autres, l'oeil nu arrive donc à le séparer du reste.

Séparer les différents mélanges

En sciences physiques et principalement en chimie (aux cycles 3 et 4) on a très souvent besoin de séparer les résultats d'une transformation chimique qui forment un mélange. Certains des constituants sont à conserver pour la suite et à séparer du reste.

Pour séparer les différents constituants on utilise des techniques de séparation⁹ qui s'utilisent en fonction des cas avec les mélanges homogènes ou les mélanges hétérogènes.

Il y a principalement 5 techniques de séparation vues au collège :

- La décantation (à l'air libre ou en ampoule)
- La filtration
- La centrifugation
- La distillation
- La chromatographie sur plaque mince

Dans les paragraphes suivants sont passées en revue les différentes techniques citées.

9. Une technique de séparation est une expérience à réaliser où on rentre le mélange dans les appareils et où on sépare réellement ou partiellement certains constituants les uns des autres

La décantation Cette technique s'utilise sur un mélange hétérogène. Dans la vie de tous les jours on dit "laisser décanter" ou "laisser se reposer". Cette technique est lente, elle ne sépare pas réellement les solides qui coulent ou qui flottent du liquide mais elle permet au moins d'avoir un liquide assez propre et elle est utilisable sur d'énormes quantités de liquide (bassins de rétention, piscines, cuves, etc).

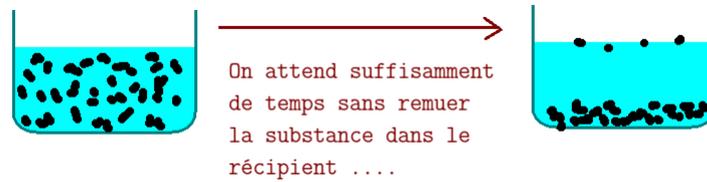


FIGURE 2.12 – Exemple de montage d'une décantation.

Dans le dessin ↑ les particules solides (en noir) sont en suspension dans le récipient à gauche, puis, avec le temps elles décanter, une majorité va au fond car elles sont plus denses que le liquide, quelques-unes flottent à la surface car elles sont moins denses que le liquide.

La décantation peut aussi se faire dans une ampoule à décanter ↓ dans ce cas c'est un mélange hétérogène appelé émulsion qui est séparé par la décantation (la phase plus dense se retrouve en bas, la phase moins dense en haut). Notez qu'un bouchon ferme normalement l'ampoule à décanter (afin de remélanger ou d'éviter une évaporation par exemple) mais je ne l'ai pas dessiné ici. Au moment de séparer les phases il faut bien sûr retirer ce bouchon sinon le liquide coule doucement.

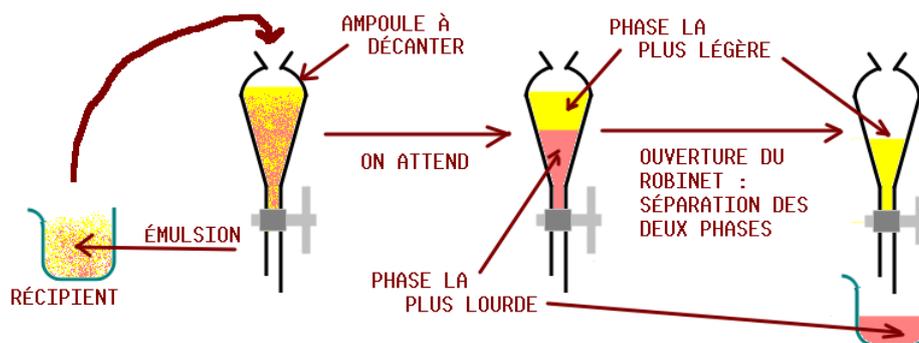


FIGURE 2.13 – Exemple de montage d'une décantation dans une ampoule à décanter.

La filtration La filtration est l'une des techniques les plus couramment employées au quotidien (les sachets de thé, les dosettes sont des filtres!), elle s'utilise sur un mélange hétérogène, le filtre va garder les particules solides plus grosses que les trous du filtre, la substance liquide finale qui a traversé le filtre se nomme **filtrat**. Ainsi une infusion de thé, un café filtre ou issu d'une dosette est chimiquement un filtrat (hé oui!).

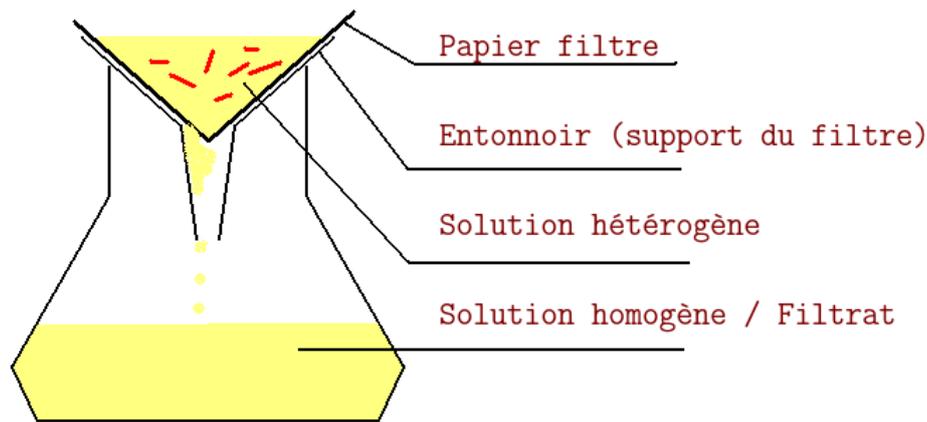


FIGURE 2.14 – Exemple de montage de filtration.

Notez qu'on peut effectuer une filtration sur un système avec une dépression appelé filtration sur Büchner, c'est une filtration sur des filtres circulaires posés sur un système aspirant ce qui rend ultra-rapide la filtration.

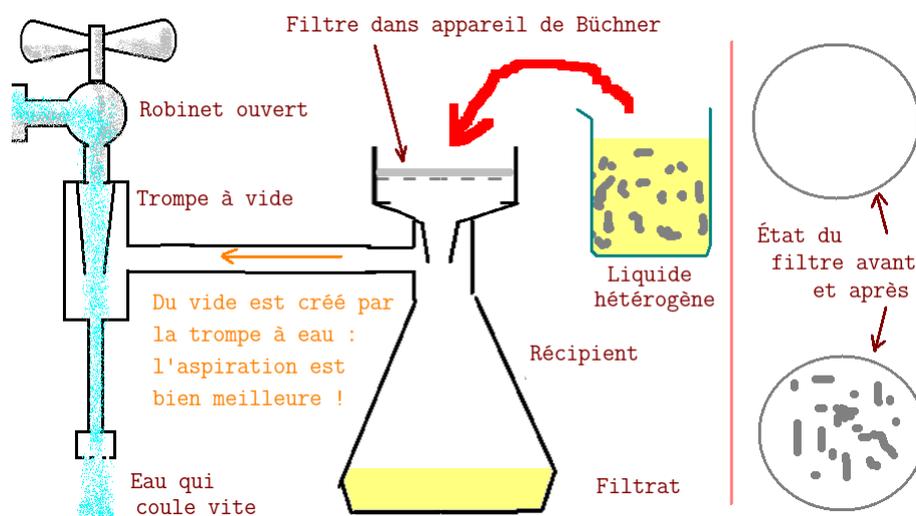


FIGURE 2.15 – Exemple de montage de filtration avec Büchner. A droite l'état du filtre avant ↑ et après ↓, la trompe à vide aspirante s'active en ouvrant le robinet à fond et en créant une dépression par la rapide circulation d'eau.

”Le sachiez-tu ?” *Le café contient une molécule qui accélère le fonctionnement du corps en général, la caféine (c'est aussi la même caféine que dans le thé, elle porte le nom de théine pour des raisons historico-publicitaires) or la caféine par son effet peut empêcher de dormir, on trouve cette caféine aussi dans les boissons de type "cola" d'où leur usage intensif par nombre de codeurs et codeuses. Dans la vie quotidienne il y a 2 moyens de faire un café à l'occidentale : soit en le filtrant naturellement, l'eau chaude traverse le café en poudre puis est filtrée et va dans le récipient, soit dans une machine à vapeur et à pression appelée machine à Espresso. Laquelle de ces deux méthodes fait que le café a le plus de caféine ?*

... La filtration normale ! En effet cette méthode fait que l'eau traverse le café plus lentement, ce qui lui laisse le temps de se gorger de caféine contrairement à la machine à espresso où

l'eau passe si vite à travers le café en poudre qu'elle se charge en goût du café mais pas en caféine. Notez aussi qu'un café s'obtient pour une température moyenne de 65 °C alors qu'un thé s'obtient vers 95°C.

La centrifugation La centrifugation est la technique où on utilise une centrifugeuse, elle s'applique à un mélange hétérogène. On introduit de petites quantités de liquides hétérogènes dans la centrifugeuse qui va se mettre à tourner très vite poussant vers le fond du récipient. Le résultat est très rapide mais les quantités de liquides traitées sont faibles. C'est idéal pour les laboratoires où de petites quantités de liquides sont en jeu.

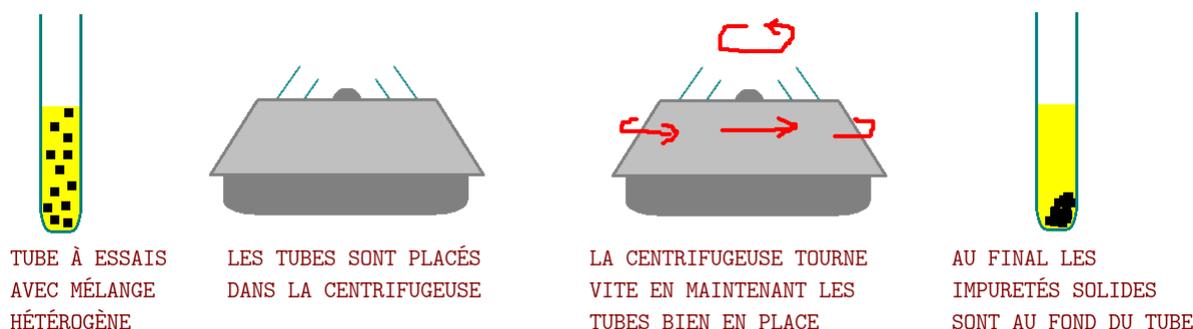


FIGURE 2.16 – Exemple de montage de centrifugation.

Ici une centrifugation dans un appareil automatique électrique. Le tube à essais à gauche contient un liquide jaune et des particules solides en suspension (noires), après passage quelques dizaines de secondes dans la centrifugeuse qui tourne (flèches rouges) le tube à essais ressemble à celui de droite : le liquide surnage et les particules solides ont été "collées" au fond du tube (vous avez noté qu'elle sont collées en biais car les tubes sont penchés dans la centrifugeuse).

La distillation La distillation est une technique qui s'utilise plutôt pour les mélanges homogènes, elle utilise un distillateur¹⁰. Attention cette technique est très réglementée¹¹ ! Le mélange est chauffé, une partie, la plus volatile, s'évapore et les parois du réfrigérant les liquéfient, mais elles se réchauffent progressivement, aussi la vapeur progresse et finit par atteindre le réfrigérant à eau où le tube intérieur est gardé toujours froid par de l'eau (ou un autre fluide) qui circule entre le tube interne et le tube externe. En phase stable la vapeur sera donc toujours refroidie dans le réfrigérant à eau et quand assez de gouttes du liquide séparé sont accumulées alors le liquide s'écoule et on récupère un distillat dans le récipient final.

10. Le distillateur est le descendant des alambics inventés par les arabes au moyen âge et qui a été ensuite amélioré, le principe reste le même : chauffer, évaporer, refroidir et récupérer le liquide résultant

11. La distillation est interdite pour les particuliers, seuls les professionnels et les scientifiques et les enseignants sur leur lieu de travail ont le droit de distiller ... mais pas n'importe quoi, certaines distillations nécessitent une demande d'autorisation auprès de la préfecture.

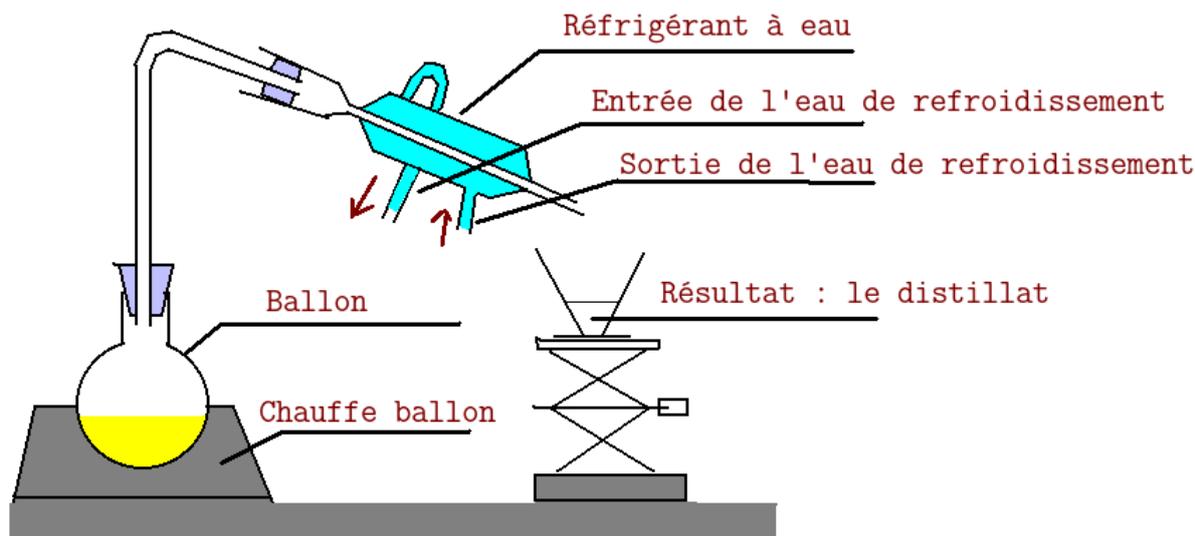


FIGURE 2.17 – Montage typique d'une distillation simple.

Notez bien que le liquide bleu reste toujours à l'extérieur du tube où circule la vapeur issue du liquide jaune, il n'est jamais en contact direct avec lui. Vous notez aussi que l'arrivée d'eau se fait du point le plus éloigné de la source de chaleur en direction de celle-ci. Ce dernier point fait parfois des discussions entre chimistes.

La chromatographie sur plaque mince La chromatographie sur plaque mince est une technique qui exploite la capillarité¹² d'une substance posée sur une plaque mince (ou formant une plaque) où un liquide appelé éluant¹³ va entraîner une substance posée sur un endroit de la plaque (une ligne tracée à 1 cm du bord). La plaque doit être placée verticalement dans la cuve à élution (le récipient). Au fur et à mesure de la montée du liquide, par capillarité, (le même phénomène que la sève des arbres), les liquides vont suivre \pm vite. Au bout d'un temps fixé on mesure la hauteur de l'éluant, celle du liquide et on compare à des tableaux où les différentes substances connues sont répertoriées.

Dans l'exemple suivant une substance inconnue est placée en début d'expérience sur la plaque, puis à la fin on observe deux taches différentes. En comparant avec la plaque d'à côté on voit que cette substance inconnue est composée des substances pures B et D.

12. La capillarité est un phénomène où l'eau (ou un autre liquide) progresse naturellement par des petits canaux très fins comme des cheveux (capilla) qu'on appelle aussi des capillaires. C'est ce qui fait qu'un arbre peut amener jusqu'à sa cime la sève qu'il tire du sol pour alimenter les feuilles jusqu'à leur extrémité. C'est aussi pour cela qu'il ne faut pas écorcher un arbre car si par malheur son écorce est sectionnée sur toute sa périphérie alors la sève ne peut plus monter et l'arbre meurt.

13. Un éluant est un solvant qui va se déplacer sur la plaque mince. La plupart du temps l'éluant est composé de différents liquides dont un aux propriétés électriques (eau ou acide par exemple). Ceux utilisés au cycle 4 sont 70 % d'eau salée à 40g/L + 30 % d'éthanol ou bien 2/3 de cyclohexane + 1/3 d'acetone (les proportions sont en volume car les substances sont aussi pures que possible).

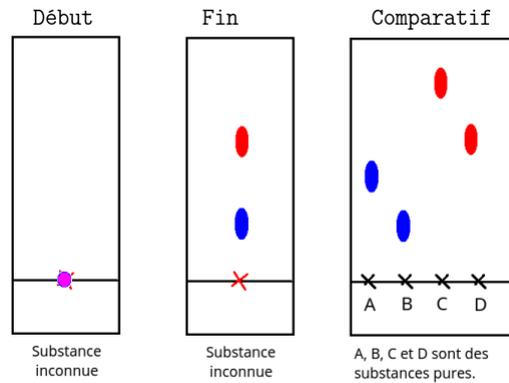


FIGURE 2.18 – Exemple de montage expérimental pour une chromatographie.

On peut aussi simplement (s'ils s'agit de substances colorées par exemple) mettre la goutte de liquide inconnu, des gouttes d'autres liquides à côté et observer les hauteurs des unes et des autres comme dans le document numérisé suivant :

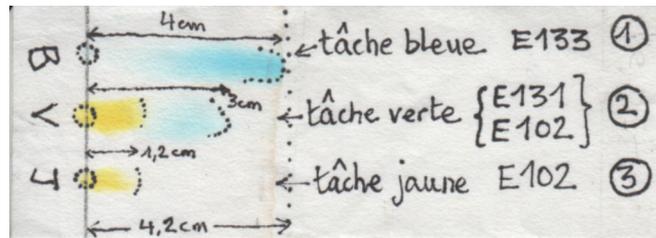


FIGURE 2.19 – Exemple de résultat obtenu par chromatographie.

Dans l'exemple numérisé ci-avant une tache verte (V) a été posée entre une tache bleue de E133 et une jaune de E102. Après quelques minutes l'éluant étant arrivé à la ligne pointillée (4,2 cm) on peut voir que le vert a été séparé en jaune et bleu. Les tâches jaunes sont à la même hauteur, il s'agit donc du même composant, le E102. Par contre la tache bleue est différente, le colorant bleu faisant partie du vert n'est pas du E133 (quelques recherches rapides ont montré que c'est du E131).

solubilité d'un corps

La solubilité d'un corps est le maximum de concentration qu'il peut avoir. Elle est notée " s " et se mesure aussi en gramme par litre ou en kilogramme par litre avec la formule $s = \frac{m_{max}}{V}$.

Nom substance	solubilité
sel	365 g/L
sucre	2000 g/L

TABLE 2.17 – Tableau de quelques solubilités pour certaines substances usuelles.

2.3 notre planète

Je vais considérer l'échelle planétaire entre 1000 km 10^6 m et 100000 km 10^8 m ce qui correspond à l'échelle d'un pays (donc qui est vu dans un semble plus vaste, continental ou planétaire) jusqu'à un ordre de grandeur correspondant à ce qui nous sépare de l'objet céleste naturel le plus proche de nous (la lune étant grosso-modo à 385000 km de la terre c'est à dire $3,85 \times 10^8$ m).

La planète terre effectue une révolution autour du soleil en 1 an c'est à dire 365,25 jours¹⁴, chaque jour étant d'une durée de 24 heures. Cette révolution s'effectue à une distance moyenne de 149 597 887,5 millions de kilomètres (1,0000001124 ua, ua est la fameuse unité astronomique, voir : 2.4) mais varie entre l'aphélie¹⁵ à 152 097 701 km (1,016 710 333 5 ua) et la périhélie¹⁶ à 147 098 074 km (0,983 289 891 2 ua).

La terre est une planète tellurique dont le rayon équatorial est d'environ 6367 km. Ce qui fait un diamètre d'environ 12734 km. Sa masse est de $5,9736 \times 10^{24}$ kg. Du fait de sa révolution autour du soleil, la rotation terrestre ne dure pas exactement 24h mais dure 23 h 56 min 4,084 s. Environ 70,8 % de sa surface est recouverte d'eau. Le point le plus profond sous la surface des océans est la fosse des Mariannes située à $11^{\circ}21'N$ et $142^{\circ}12'E$ à une profondeur de 11034 m. Le point le plus haut se trouve être le mont Éverest à une altitude de 8 848 m dans le massif de Mahalangur Himal de la chaîne montagneuse de l'Himalaya au Tibet, entre la Chine et le Népal, ce mont est situé à $27^{\circ}59'18''N$ $86^{\circ}55'31''E$.



FIGURE 2.20 – Photo de la Terre prise par la NASA, le fond noir autour de la terre a été retiré.

La lune notre satellite naturel

La Lune est le satellite naturel de la Terre. Différentes théories existent actuellement sur sa création, l'une d'entre elles est celle d'un impact géant d'un objet de la taille de mars (appelé

14. ce qui fait 3 années à 365 jours + 1 année à 366 jours pour équilibrer les 0,25 jours de décalage sauf tous les 400 ans. La valeur la plus précise trouvée sur wikipedia donne une période de Période de révolution 365,256363 j c'est à dire 365 j 6h 9min 9,504s

15. L'aphélie est le point le plus éloigné du centre de masse (donc pour nous du soleil) lors d'un trajet orbital.

16. La périhélie est le point le plus proche du centre de masse lors d'un mouvement orbital.

Théia) 42 millions d'années après la naissance du soleil au moment où tout le système solaire était en création et formation et où les événements cataclysmiques planétaires étaient plus probables ce qui correspondrait à de nombreuses observations de l'analyse des roches lunaires rapportées par les missions Apollo montrant dans des proportions légèrement différentes le même type de roches ayant approximativement le même âge.

La lune est une boule d'un diamètre de 3 474 km (donc un rayon en moyenne de 1736 km). La distance moyenne séparant la Terre de la Lune est de 381 500 km. (0,00257 ua) mais il varie entre son apogée¹⁷ avec 406300 km (0,0027 ua) et sa périgée¹⁸ à 356 700 km (0,0024 ua).

La lune a une masse de $7,3477 \times 10^{22}$ kg (0,0123 fois la masse de la Terre). Le plan de rotation de la lune n'est pas le plan de l'écliptique, du coup il existe 2 positions spéciales où la lune coupe le plan de l'écliptique appelés "noeuds".

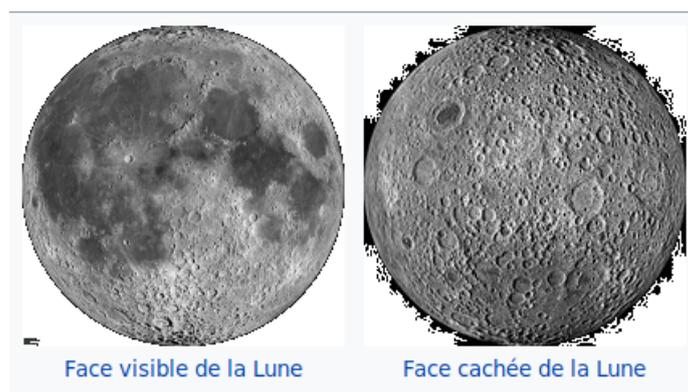


FIGURE 2.21 – Photos de la lune et de sa "face cachée" / site Wikipedia + NASA

La lune contiendrait un noyau non encore figé mais en cours de refroidissement donnant de légères propriétés magnétiques à notre satellite.

La période de rotation de la lune autour de la terre est en moyenne de 28 jours. Suivant le point de vue (héliocentrique, par rapport aux étoiles lointaines) on obtient des périodes de révolution lunaire oscillant entre 27 et 29 jours suivant le point de vue et le type de révolution considérée. Pour simplifier retenir 28 jours de lune environ ce qui en fait environ 13 par an en arrondissant.

Concernant la lune, comme le montre la photographie ci-avant (voir : 2.3) la lune montre aux terriens toujours le même côté (la même face) c'est pour ça qu'on parle de la face cachée de la lune (celle que nous ne pouvons voir depuis la terre sans utiliser des satellites artificiels envoyés autour de la lune).

La lune est l'objet céleste le plus proche de nous. En vaisseau spatial les astronautes des missions Apollo s'y rendaient en 4 jours environ.

Actuellement des missions seraient en préparation (chine ? Russie ? États-Unis ?) pour créer sur la lune une base permanente qui serait le point de départ de futures explorations spatiales car la gravitation y étant moindre elle permettrait de fabriquer des vaisseaux plus gros. Notez

17. L'apogée est pour la lune par rapport à la terre comme l'aphélie est pour la terre pour le soleil à savoir le point de l'orbite lunaire où la lune est la plus éloignée de la terre.

18. La périgée est pour la lune par rapport à la terre comme la périhélie est pour la terre autour du soleil : le point de l'orbite lunaire où la lune est la plus proche de la terre.

aussi que ces bases seraient construites dans des grottes affleurant des zones de tranquillité météoritique.

Jeux d'ombres chinoises entre la terre, le soleil et la lune

Les phases de la lune La lune n'émet aucune lumière d'elle-même, mais comme la lune tourne autour de la terre qui tourne elle-même autour du soleil alors la lune reçoit la lumière du soleil et la renvoie partout où elle peut, y compris sur la terre où nous pouvons ainsi voir notre satellite. Lors de sa révolution lunaire durant en gros 28 jours on a pu noter 8 formes particulières de la lune auxquelles on a attribué un nom : une phase lunaire. Cette propriété est due au déplacement en ligne droite puis au rebond de la lumière sur le sol lunaire.

Les phases de la lune (ou phases lunaires) sont l'image de la lune vue depuis la terre. Il y a 8 formes à connaître qui reviennent environ tous les 28 jours.

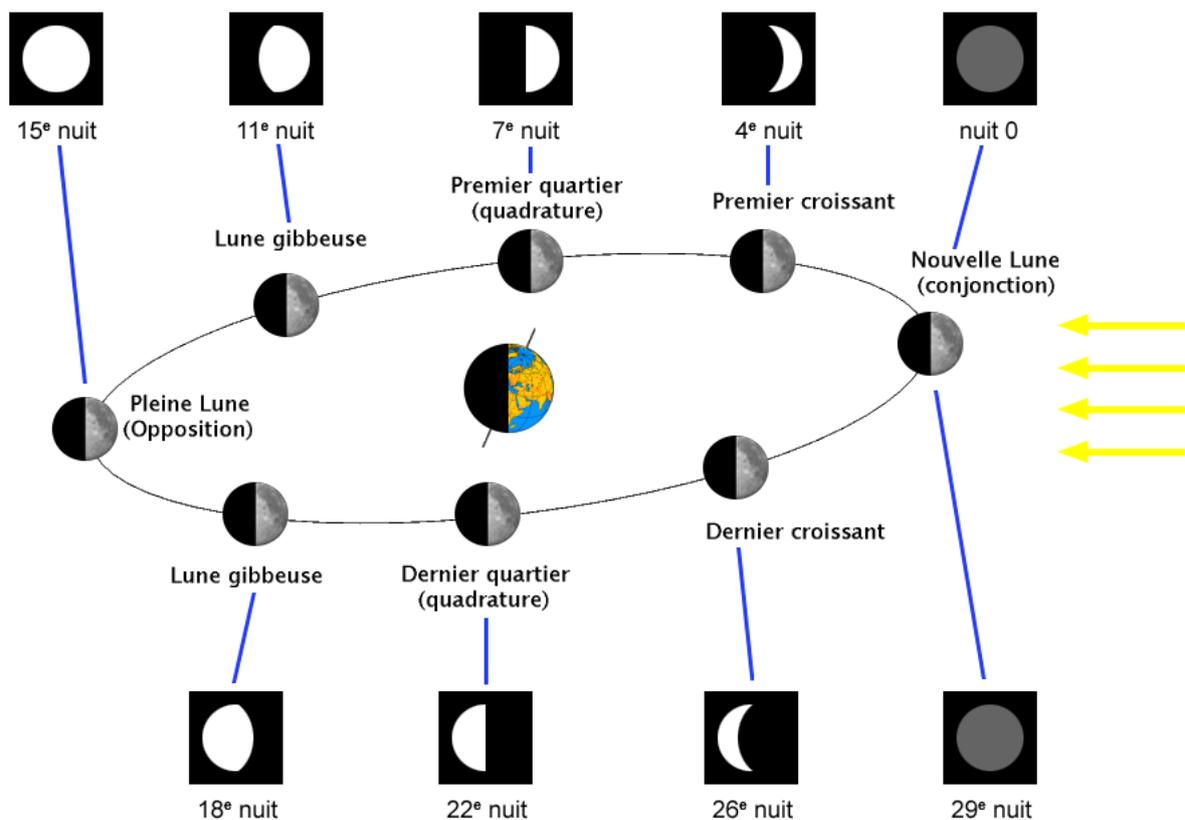


FIGURE 2.22 – Les phases de la lune et la position des 3 objets célestes à chaque fois. Source ” Looxix ” adaptée de Bloody-libu de Wikipedia/Phases Lunaire sous licence Creative Commons Attribution.

Les éclipses de soleil Deux fois par mois la lune vient se placer sur ses noeuds et 2 fois par an ces noeuds s'alignent avec le soleil, il se forme alors un alignement soleil ☼ — lune ☾ — terre ☁. C'est alors une éclipse de soleil. En effet si on observe (avec toutes les précautions d'usage) la lune et le soleil avec le même télescope le jour d'une éclipse on remarque qu'ils ont le même diamètre apparent (la même ”taille” vue de la terre) car même si la lune est très petite elle est très proche de nous et le soleil bien que très grand est quant à lui très éloigné.

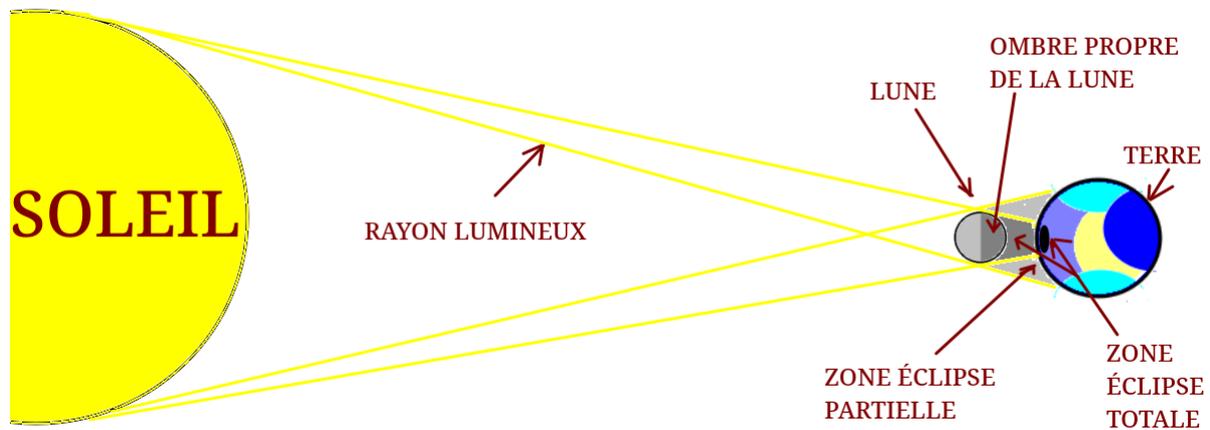


FIGURE 2.23 – Une éclipse de soleil, les rayons lumineux et les différents jeux d'ombres.

ATTENTION : même en cas d'éclipse totale la couronne de soleil qui borde la lune envoie assez d'énergie lumineuse pour rendre aveugle en quelques dizaines de secondes, d'ailleurs à chaque éclipse de soleil en France, les urgences hospitalières ont reçu des gens ayant eu l'inconscience de tenter des concours du genre " qui résiste le plus longtemps à regarder le soleil sans protection " ... entre oedèmes oculaires ou cécités temporaires avec perte partielle d'acuité visuelle ou des cécités définitives... **PROTÉGEZ-VOUS!** Protégez vous aussi du froid car lors d'une éclipse totale de soleil la température baisse comme si vous étiez en début de nuit ou au petit matin.

Ce spectacle ne durera pas éternellement, en effet, par l'éloignement progressif de la lune par rapport à la terre (environ 3,8 cm par an) et le grossissement progressif du soleil en vieillissant la lune n'aura quasiment plus voire plus du tout le même diamètre apparent que celui du soleil et donc elle ne parviendra plus à faire des éclipses totales. Ce phénomène devrait arriver dans environ 600 millions d'années (on est rassuré-e-s on a le temps d'en profiter encore!)

Les éclipses de lune Quinze (15) jours avant ou après une éclipse de soleil c'est au tour de la lune d'être éclipsée. L'alignement est différent entre la terre, le soleil et la lune car désormais c'est un alignement Soleil ☼ — Terre ☾ — Lune ☾ qui est obtenu. La lune vient se placer dans le cône d'ombre de la Terre qui ... n'est pas vraiment totalement obscure : une fine quantité de lumière rouge vient en effet, par diffraction dans l'atmosphère terrestre dévier les rayons lumineux rasants et renvoyer vers le cône d'ombre les rayons rouges et infrarouges. Une partie d'entre eux vient toucher la lune donnant alors à notre satellite la couleur rouge-sombre du sang. C'est l'éclipse de lune.



FIGURE 2.24 – la lune photographiée à différentes étapes de son éclipse, travail de Bertrand GRONDIN disponible sur wikipedia/Éclipse lunaire, licence Creative Commons Attribution

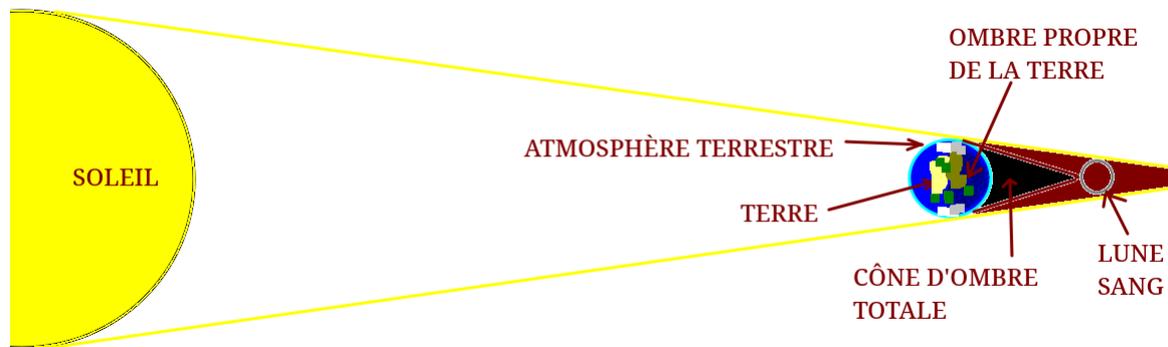
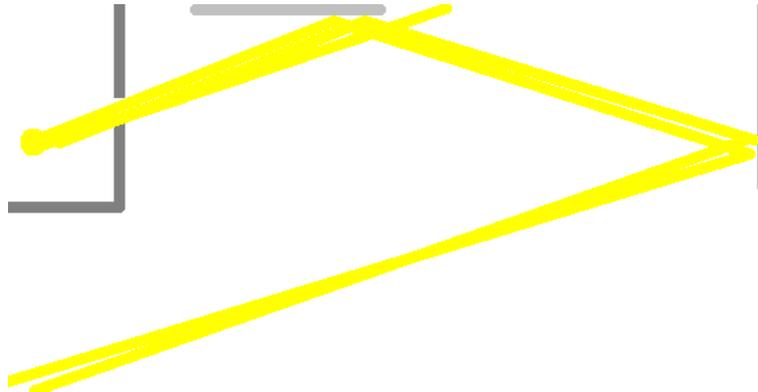


FIGURE 2.25 – Le positionnement du soleil, de la terre et de la lune.

Pour mémoire si vous avez suivi l'actualité vous savez que fin juillet 2018 il y a eu une splendide éclipse de lune visible (pour les chanceux et chanceuses) depuis la France qui a été la plus longue de ce siècle avec environ 1h45 d'éclipse totale. Nous n'avons pas eu cette chance là où nous étions, ciel couvert :-).

la propagation rectiligne de la lumière pour comprendre ces phénomènes Si ces deux phénomènes précédents sont possibles c'est parce que la lumière se déplace¹⁹ en ligne droite jusqu'à croiser un obstacle ou rebondir sur une surface réfléchissante.



Dans le dessin ↑ la source de lumière émet dans toutes les directions, ils se déplacent en ligne droite (ce sont les segments de droites jaunes) mais seuls les rayons passant par l'ouverture passent, ceux qui touchent les miroirs (gris clair) rebondissent et la lumière peut ainsi changer de direction.

2.4 À l'échelle de notre système solaire

Notre système solaire est vieux de 4,6 milliards d'années. 100 millions d'années avant notre soleil actuel un protosoleil a vécu 60 millions d'années puis s'est éteint, 40 millions d'années plus tard notre soleil naissait. Notre système solaire actuel n'a qu'un seul soleil (ce qui est

¹⁹. Dans le cycle 4 le terme "propagation" pour la lumière est à éviter, on utilisera donc le mot mouvement tout comme dans le cas d'un objet.

minoritaire dans l'espace). Autour de lui gravitent des planètes sur un même plan, le plan de l'écliptique et des astéroïdes dans deux ceintures (la ceinture principale entre Mars ♄ et Jupiter ♃) et la ceinture de Kuiper au-delà de Neptune ♆. Notre soleil est un soleil de type naine jaune. Ce soleil a environ 4,5 milliards d'années d'existence, il est actuellement dans une phase de stabilité. Le Soleil est une étoile naine jaune qui se compose de 74 % de noyaux d'atomes d'hydrogène, de 24 % de noyaux d'hélium et 2 % de noyaux d'éléments plus lourds.

Entre 4,1 et 3,8 milliards d'années avant aujourd'hui il y a eu une période dite de grand bombardement où les planètes telluriques ont été fortement exposées à des pluies de météorites, ces météorites auraient été envoyées depuis le fond du système solaire (après Neptune) par des modifications des orbites de Saturne et de Jupiter, attirant puis projetant en direction du soleil plein d'astéroïdes, qui bien sûr ont croisé les orbites des planètes telluriques.

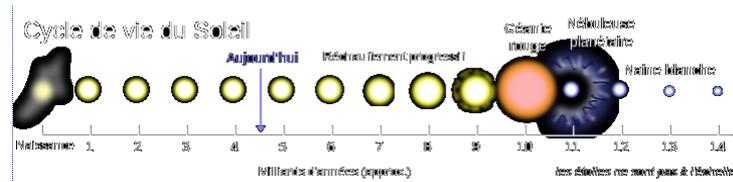


FIGURE 2.26 – L'évolution de notre soleil / wikipedia-wikicommons / licence libre.

Au centre du système solaire : Notre soleil ☼ Le soleil a un diamètre de 1 392 684 km en moyenne (environ 109 fois la taille de la terre) car il n'est pas parfaitement sphérique à cause de sa rotation propre et se déplace dans la galaxie à la vitesse de 217 km/s. Il se situe à $2,50 \times 10^{17}$ km du centre de notre galaxie (16,7 millions d'ua ou bien 26,3 al) dont il fait un tour en $2,26 \times 10^8$ années. Actuellement le soleil en est à peu près à la moitié de sa vie, après un démarrage en douceur il émet un rayonnement stable qui va diminuer sur le dernier milliard d'année de sa vie alors qu'il deviendra une géante rouge, il explosera alors laissant après quelques temps place à une nouvelle étoile de type naine blanche, qui après sa vie deviendra une naine brune.

L'unité astronomique

L'unité astronomique (ua ou UA) est la distance moyenne entre la terre et le soleil, cela sert de mesure étalon. Sa valeur est de 149,6 millions de km (sera à retenir environ **150 millions de km**) et c'est une unité très pratique pour mesurer les distances entre les objets du système solaire. D'ailleurs au lieu d'utiliser des millions de kilomètres pour la suite des descriptions, j'utiliserai volontairement des unités astronomiques ou des années lumières.

$$1 \text{ u.a.} = 149,6 \text{ millions de km.}$$

Le système solaire interne

Le système solaire interne est la partie du système solaire située entre le soleil et la ceinture d'astéroïdes c'est à dire entre 0 et 2 ua. On y trouve 4 planètes telluriques de petite taille qui sont, par ordre croissant d'éloignement Mercure, Vénus, Terre et Mars.

mercure ☿ Mercure est la première planète du système solaire car la plus proche du soleil. Elle possède une atmosphère infinitésimale (la proximité du soleil fait que la quasi-totalité de cette atmosphère a été absorbée par le soleil). Elle se situe à 57 909 176 km (0,38709893 ua) du soleil. La planète a une grosse excentricité²⁰ faisant varier la distance planétaire de 46 à 70 millions de km. Cette planète tourne sur elle même en environ 58 jours et tourne autour du soleil en environ 88 jours, ce qui fait qu'une année mercurienne dure 1,5 jour mercurien (c'est cool un anniversaire mercurien chaque jour et demi). La quasi-absence atmosphérique alliée à sa grande excentricité et à sa proximité solaire font que les températures sur Mercure vont de -180°C à l'ombre et dans des cratères et jusqu'à 430°C à sa surface sous le soleil lorsqu'elle est au plus proche de lui. Dans ces conditions extrêmes aucune forme de vie à base d'eau connue ne pourrait survivre. Cette planète se déplace très vite dans le ciel autour du soleil, est-ce pour cela que les anciens y ont vu la représentation du dieu Mercure / Hermès messenger des dieux aux bottes ailées lui donnant vitesse et agilité ?



FIGURE 2.27 – Source : Nasa/JPL, licence libre

vénus ♀ Vénus est la seconde planète du système solaire. Elle se trouve environ à 108208930 km (0,723332 UA) du soleil avec une très légère variation (0,718 ua → 0,728 ua). Sa révolution (autour du soleil) est de 224,701 jours terrestres. Elle est d'une taille quasi-identique à celle de la terre (environ 12400 km de diamètre). Son atmosphère est si dense que la chaleur est très conservée à sa surface rendant la planète inhabitable. ...(ajouter plus de renseignements).

Mes dernières recherches et articles concernant vénus abordent la colonisation de la haute atmosphère de cette planète car elle contiendrait de la vapeur d'eau. La densité atmosphérique de l'atmosphère vénusienne permettrait ainsi de créer des cités volantes qui flotteraient sur cette atmosphère et qui utiliseraient la vapeur d'eau environnante pour fabriquer de l'énergie et du dioxygène.

20. Pour faire simple l'excentricité est la déformation d'un cercle pour le faire ressembler à une ellipse. Plus l'excentricité est importante moins le cercle est rond, ce qui fait que la différence entre le point le plus proche (périhélie) et le point le plus éloigné (aphélie) est grande si l'excentricité est importante.



FIGURE 2.28 – Planète vénus en couleurs réelles, source Nasa/JPL, licence libre

terre ☿ Troisième caillou après le soleil, vous êtes ici. La terre a été conscientisée en tant que planète dans l'espace vers le Ve siècle avant JC pour être ensuite considérée comme tel à partir du IIIe siècle avant JC. Son rayon est approximativement 6400 km. La gravité à la surface est d'environ 9,8 N/kg. Elle possède une atmosphère gazeuse d'environ 100 km d'épaisseur. Cette planète fait une révolution en 365,25 jours environ et une rotation en 1 jour de 24 h. La température moyenne terrestre est aux alentours de 15°C avec des extrêmes (records mondiaux) allant de -93,2 °C à 56,7 °C (températures sous abris homologuées). La terre se compose d'une surface recouverte à plus de 70 % d'eau, son point le plus élevé est le mont Everest (8848 m d'altitude) et son point le plus profond est la fosse des mariannes (pacifique, -10994 m). La terre se compose d'une croûte (d'une cinquantaine (à vérifier) de km d'épaisseur) solide en dessous de laquelle se trouve un manteau de lave (magma) d'environ 3000 km d'épaisseur. Au centre de la Terre un noyau de fer solide en rotation entouré d'une couche fondue de métal en fusion (noyaux liquide).



La présence de ce noyau au centre de la Terre crée un champ magnétique protecteur autour de notre planète (magnétosphère) qui nous protège des particules et du vent solaire. Lorsque des particules réussissent à passer ce champ (aux pôles) se créent alors des aurores boréales ou australes.

mars ♂ Mars est la quatrième planète du système solaire, elle est située à 227 939 100 km (en moyenne) du soleil, avec une aphélie à 227 939 100 km et une périhélie à 206 669 000 km. L'énergie solaire reçue varie entre 1/5e et 1/2 de celle reçue sur Terre. La température moyenne à sa surface est d'environ -60 °C avec un minimum de -130 °C et un maximum de -3 °C. L'eau liquide à des températures comme sur Terre et dans des conditions de salinité identiques n'existe pas, les découvertes de fin juillet 2018 avec ce gigantesque lac d'eau liquide sous la calote polaire a d'ailleurs été rapidement expliquée par les scientifiques, l'eau liquide à ces températures très basses ne peut exister que si elle est extrêmement salée.

La croûte martienne fait en première approximation en moyenne 50 km avec des extrema entre 3 et 92 km. Mars est une petite planète, son rayon (3 389,5 km) est à peu près la moitié de celui de la Terre ♂ (53.2 %) ce qui fait que la surface de Mars est à peu près 1/4 de celle de la terre. La gravitation martienne est de 3,711 N/kg (environ 37 % de celle de la terre). Il n'y a quasiment pas d'atmosphère sur Mars et s'il y a une magnétosphère elle est très faible pour ne pas dire inexistante.

Il n'y a pas de magnétosphère martienne mais des traces de magnétisme ancien "rémanent" ce qui fait que la planète n'est pas protégée contre les rayons et particules solaires.

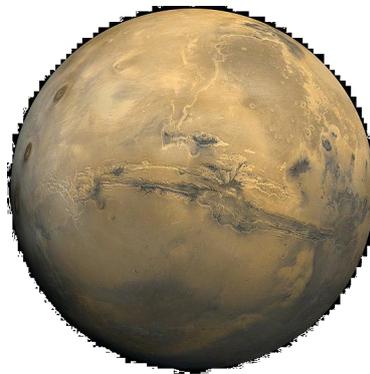


FIGURE 2.29 – Mars prise par la sonde Viking 1 en 1980, source Nasa, licence libre.

Nom	Symbole	distance au soleil (ua)	nombre de satellites naturels
mercure	☿	0.39	aucun
vénus	♀	0.72	aucun
terre	♁	1	1
mars	♂	1,52	2

TABLE 2.18 – Les planètes telluriques du système solaire.

La ceinture (principale) d'astéroïdes

Entre Mars $\♂$ et Jupiter $\♃$ il existe un anneau qui fait tout le tour du soleil et qui contient tout un tas d'astéroïdes de tailles très diverses, c'est la ceinture (principale) d'astéroïdes. Il s'étend d'une distance de 1,7 à 4,5 u.a. [2.4](#). Depuis la découverte de la ceinture de Kuiper (voir [2.4](#)) la terminologie " ceinture d'astéroïdes principale " commence à s'utiliser. Au milieu de tous ces astéroïdes dont la taille varie du grain de poussière à des planétoïdes de quelques centaines de kilomètres on trouve cependant une planète naine appelée Cérés. En 2018 d'après Wikipedia on a trouvé 240 astéroïdes ayant un diamètre supérieur à 100 km dans cette ceinture.

Cérés $\♁$

La planète naine Cérés se trouve à environ 2,77 u.a. (voir [2.4](#)) du soleil. Son diamètre est petit (954 km environ) c'est à dire un peu moins que l'hexagone français du nord au sud. Elle fait un tour autour du soleil en 4,61 années terrestres.

Le système solaire externe

Le système solaire externe se situe entre la ceinture d'astéroïdes principale et la ceinture de Kuiper (objets transneptuniens). Il se compose de 4 planètes gazeuses de grandes dimensions, toutes ces planètes n'ont pas de sol : elles sont composées de gaz atmosphériques suivies d'un noyau (ou d'un océan dû à un gaz liquéfié par le froid). Autres points communs : elles disposent de nombreuses lunes d'un part, et d'anneaux d'autre part. Même à notre époque on fait encore des trouvailles les concernant, la dernière datant du 19 juillet 2018 avec 12 nouvelles lunes pour jupiter !

Jupiter $\♃$ Jupiter est une planète géante gazeuse située en moyenne à 5,203 ua (mais sa distance varie entre 4,95 ua pour sa périhélie et jusqu'à 5,46 ua pour son aphélie). Cette planète dont le diamètre fait à peu près 11 fois celui de la terre possède 3 anneaux principaux et depuis le 19 Juillet 2018 on lui recense 79 satellites connus (nom + orbites). La gravité sur cette planète est de 2,3 environ (un humain de 100 kg sur terre aurait l'impression d'y peser 230 kg s'il pouvait s'y poser). L'atmosphère de cette planète est très colorée et en bandes avec une composition de 86 % de H_2 et 13 % de He . La rotation de cette planète sur elle même est de 9h55min27s (en temps terrien) et qu'elle fait une révolution (autour du soleil donc) en 11,862 années terrestres (autrement dit quand elle a fait un tour autour du soleil notre terre en a fait presque 12). À sa surface la température varie entre -160 °C et -110°C.

Cette planète a des caractéristiques intéressantes : sa masse est si importante $1,8986 \times 10^{27}$ kg (317,8 Terres) que le point d'équilibre (on dit barycentre) entre la planète Jupiter $\♃$ et le soleil $\☉$ se situe hors du soleil, ce qui le fait osciller autour de sa position centrale dans notre système solaire.

Jupiter ou Zeus dans la mythologie grecque était le dieu de l'olympes. Son attribut était une gerbe d'éclairs (forgés par le dieu Vulcain / Hephaïstos).

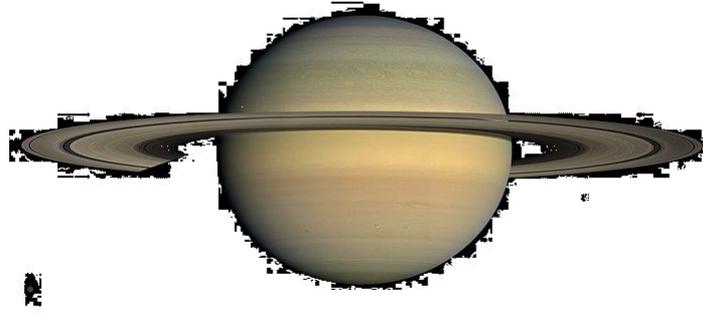


FIGURE 2.32 – La planète saturne, photo par la sonde cassini, source Nasa/JPL

Le dieu Saturne / Chronos était le père de Zeus. La légende veut que comme il détrôna son propre père Ouranos (Uranus) et qu'il ne voulait pas qu'il lui arrive la même chose il dévorait ses enfants juste nés (belle métaphore du temps qui dévore toute chose). L'un de ses enfants Zeus (Jupiter) fût remplacé par une pierre au moment où Chronos allait le manger (comme quoi l'intelligence ...) et Zeus fût nourri par une chèvre (Amalée) dont sa corne fût la légendaire corne d'abondance et sa peau serait devenue l'égide de Zeus. D'autres légendes ne lui attribuent pas ce nom mais bien le rôle nourricier. Une fois grand Zeus renversa son père Chronos et prit la tête des dieux de l'Olympe.

Uranus ♂ distance : 18,282 ua < 19,189 < 20,096 ua

révolution : 84,016846 années terrestres

diamètre : 25559 km / 4,0075 fois la terre.

27 satellites connus, 13 anneaux, pôle à 92 ° d'inclinaison

Découverte par William Herschel le 13 Mars 1781. Elle était observable avec les moyens de l'époque mais sa très faible luminosité et son déplacement très lent n'avaient pas attiré l'attention sur elle comme étant une planète.

Gravité de surface : 8.87 N/g

période de rotation -0.718 jours terrestres (17.23992 h) le "-" c'est parce qu'elle est rétrograde (rotation à l'envers des autres).

Température de surface -210°C en moyenne.

composition atm : 83 % H₂ / 15 % He / 2.3 % CH₄ / 0.01 % NH₃ qqs traces d'Éthane et d'Éthène.

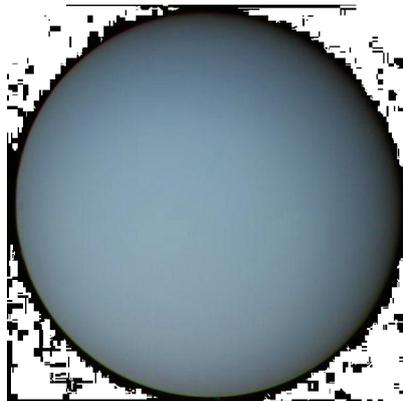


FIGURE 2.33 – Photo d'Uranus par la sonde Voyager 2, source Nasa.

Neptune ♆ Distance au soleil : 29 766 ua < 30,104 ua < 30,441 ua

Durée de révolution 60 224,9036 jours terrestres / 164 a 323 j 21,7 h

14 satellites dont triton est le plus connu, 5 anneaux principaux

Rayon moyen : 24 622 km (3,865 celui de la terre)

gravité de surface 11,15 N/kg

température moyenne de surface : -215 °C

compo atm : H₂ 80 % He 19 % CH₄ 1 % qqs traces d'autres molécules Découvertes : Urbain Le Verrier (par le calcul le 31/08/1846) et Johann Gottfried Galle (observation sur les indications de Le Verrier le 23/08/1846).

Neptune a la particularité d'avoir été une planète découverte par le calcul d'après les observations de la trajectoire d'Uranus et les modifications engendrées par la présence de Neptune. La paternité de cette découverte semble avoir fait débat entre la France et la Prusse avant d'avoir été officiellement attribuée au Français.



FIGURE 2.34 – Planète Neptune, source Nasa, licence libre

tableau récapitulatif des planètes du système solaire externe

Nom	Symbole	distance au soleil (ua)	nombre de satellites naturels
jupiter	♃	5,20	69
saturne	♄	9,54	200+
uranus	♅	19,18	27
neptune	♆	36,07	14

TABLE 2.19 – Les planètes gazeuses du système solaire.

Les objets transneptuniens et la ceinture de Kuiper

Les objets transneptuniens sont des découvertes du XXe et du XXIe siècles. Ils sont placés dans la ceinture de Kuiper²¹. Souvent basées sur des observations du XXe mais non identifiées correctement c'est au XXIe qu'elles ont pu être analysées plus finement grâce aux progrès techniques. Ces objets sont de très petites tailles (les seuls gros connus sont Pluton et Éris) et beaucoup n'ont même pas de nom hormis une dénomination utilisée en astronomie. Il y a plusieurs sous-catégories dans ces objets, par exemple celle des plutoïdes, des sednaiens etc...

21. Gerard Peter Kuiper 7/12/1905 - 23/12/1973 était un astronome néerlandais naturalisé par la suite américain qui fût directeur de l'observatoire de Yerkes et de celui de McDonald. Il découvrit le satellite Miranda (Uranus), c'est lui qui eut l'idée et suggéra la présence de la ceinture qui porte son nom au delà de Pluton et il découvrit la présence de CO₂ sur Mars ♂.

Pour l'heure ces objets sont à des distances inférieures à 1000 ua (voir 2.4). Certains de ces objets transneptuniens sont très petits (moins grands qu'une région française) ou plus grands, certains ont des lunes, d'autres pas ... il en existe des centaines qui sont répertoriés, le tableau suivant récapitule certains de ces objets notables au-delà de Neptune.

nom objet	nb lunes	date 1ère observation	date de découverte	distance au soleil (ua)	durée révolution (a)	diamètre polaire (km)
Pluton	1	1914	1930	39,45	247,74	2370
Orcus	?	1951	2004	39,45	247,80	946,3
Varuna	?	1954	2000	43,07	282,65	668
Ixion	?	1982	2001	39,42	247,5	759
Quaoar	?	1954	2002	43,25	284,5	1280
Hauméa	2	1955	2004	43,34	285,3	1518 à 1960
Makémaké	?	1955	2005	45,71	309	env. 1430
Éris	1	1954	2005	67,65	556,4	2326
Sedna	?	1990	2003	515,5	.	995

TABLE 2.20 – Tableau récapitulatif de la ceinture de Kuiper

Cette liste ne présente que les objets bien connus du public à la sensibilité astronomique et bien évidemment elle sera évolutive. Une liste plus complète mais qui mérite d'être mise à jour est disponible sur le site de wikipedia à l'adresse du lien suivant : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_d'objets_transneptuniens.

Vous aurez observé que mis à part Pluton (découverte en 1930) les autres objets transneptuniens sont des découvertes récentes (entre 2000 et 2005) grâce aux progrès des appareils optiques mais aussi à l'exploration spatiale (le télescope Hubble placé hors de l'atmosphère terrestre, les sondes spatiales envoyées observer les étoiles ...) et à la puissance accrue des ordinateurs qui traitent la masse de données et les images provenant de ces appareils .

Le nuage d'Oort

Le nuage d'Oort²²

22. Jan Hendrik OORT fût un astronome néerlandais (1900 - 1992) à qui on doit des découvertes comme la répartition des étoiles dans l'espace mais aussi la découverte de ce nuage stellaire situé au delà de 40000 ua de notre soleil et s'étalant jusqu'à près de 100000 ua.

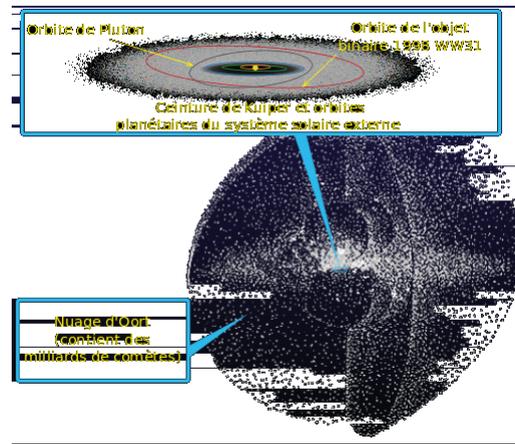


FIGURE 2.35 – Le nuage d'Oort au delà de la ceinture de Kuiper. Cette photo provient de Wikipedia / NASA et donc n'est soumise à aucune restriction d'utilisation.

L'exploration spatiale humaine, vers l'infini et au-delà ?



FIGURE 2.36 – Buzz l'éclair ... vers l'infini et au delà !

La conquête de l'espace date de la fin des années 1950 (plus précisément vers 1957) avec le lancement dans l'espace de sputnik, une petite boule avec 3 antennes ... assez rapidement, cette avancée soviétique se traduit par une réponse américaine : la création de la Nasa et l'envoi d'un satellite dans l'espace comparable à celui des soviétiques. La conquête spatiale a été le jeu de ping-pong entre les deux camps de la guerre froide avec comme moment d'apothéose l'arrivée des spationautes américains en juillet 1969 sur la lune avec la mission apollo XI.

En parallèle l'histoire officielle continue avec l'exploration spatiale du système solaire et au delà par l'envoi de sondes vers des planètes proches puis de plus en plus éloignées. La décennie des années 1980 voit de nouveaux objets envoyés vers l'espace : les navettes spatiales américaines, la première station spatiale (MIR), le télescope spatial Hubble ... l'exploration lointaine et l'étude de la santé humaine et de la biologie dans l'espace commence à prendre son essor.

Un écueil important attend les humains : l'étoile la plus proche est à 4,2 al de la terre, soit environ $3,983 \times 10^{13}$ km. C'est gigantesque. Pourtant l'humain a envoyé vers l'espace lointain 2 sondes : voyager I et voyager II. Voyager I est à 21 191 040 000 km du soleil le 29 mars 2018 à 22 :23, elle voyage depuis son lancement le 5 septembre 1977, voyager II a été lancée quant à elle le 20 août 1977 (oui ce n'est pas une erreur, c'est AVANT voyager I) avec une trajectoire différente, c'est pour cela qu'elle n'était qu'à 17 298 880 000 km au 11 octobre 2017. Ces deux sondes ont un aspect extérieur identique, il n'y a qu'à l'intérieur que les nuances sont visibles.

Malgré le temps mis par ces engins la distance ne représente que 0,0022 al ... après 41 ans de voyage spatial!



FIGURE 2.37 – Une photo de la sonde spatiale voyager II

source : Wikipedia

Est-ce l'information la plus éloignée que l'humain a envoyé vers l'espace? Que nenni! En effet, dès que l'humanité a commencé à utiliser des émetteurs de rayons électromagnétiques pour transporter du son (radio) ou du son et des images (télévision) et que les émetteurs ont été assez puissants, alors ce signal est parti dans l'espace à la vitesse de 300 000 km par seconde, et, même en tenant compte de toutes les perturbations engendrées par tout ce qui peut traîner dans l'espace en plus des étoiles, on peut aisément imaginer qu'une minuscule trace de rayonnements puisse être reçue loin dans l'univers, si les appareils de mesure sont suffisamment fins et capables de bien séparer un signal extrêmement fin du bruit environnant. Notez cependant qu'au-delà d'une certaine distance le signal sera infinitésimal (c'est à dire très très très faible) donc non détectable tout de même (ne rêvez pas). Cet envoi d'onde électromagnétique reçu préalablement par une entité non terrestre qui décide de répondre en renvoyant le signal et en y ajoutant des informations complémentaires cachées est d'ailleurs le point de vue abordé dans un (vieux) film appelé " Contact " où l'actrice Jodie Foster joue le rôle d'une scientifique du programme SETI²³ qui reçoit un message venu de l'espace renvoyant l'écho d'une transmission humaine issue du passé.

Hors sujet ... ?

Très certainement, quelques planètes ne sont pas habitées, mais d'autres le sont et, parmi toutes ces planètes, il doit exister la vie dans diverses conditions et phases de développement. Nikola Tesla.

Une question m'est souvent demandée par les élèves (surtout d'ailleurs en 6e et 5e), à savoir si je crois que des extra-terrestres existent (et certain-e-s ont des idées très empruntées des dessins animés ou séries qu'ils regardent et qui en présentent). La question n'est pas de savoir si on croit ou pas à la présence de vie ailleurs, mais, au fait que pourquoi elle n'existerait pas?

Beaucoup de raisons pourraient faire que la vie existe ailleurs et qu'on ne puisse pas communiquer avec, les distances entre étoiles,

23. Le programme SETI pour Search ExtraTerrestrial Intelligence est un programme d'écoute des rayonnements électromagnétiques venant de l'univers dans une gamme étendue de fréquences assez large à la recherche d'une information qui puisse être émise par des êtres intelligents depuis quelque part dans l'univers. Ce programme a eu quelques alertes (Wow! par exemple https://fr.wikipedia.org/wiki/Signal_Wow!) mais n'a encore à ce jour rien donné de concret.

En classe dès que j'aborde la question de ces sondes spatiales, inmanquablement il y a toujours une ou plusieurs personnes pour me parler des extraterrestres et de savoir si j'y crois (ou pas). En tant que scientifique, sachant qu'il existe des centaines de milliards de galaxies et que ces galaxies ont toutes des centaines de milliards d'étoiles il me semble statistiquement possible que des phénomènes tout aussi aléatoires puissent avoir donné naissance à des formes vivantes mais pas forcément au sens humanoïde (avec une tête, des bras etc.) : ce peuvent être des bactéries, des plantes, d'autres formes dont nous n'avons pas la capacité d'imaginer la forme (s'il y a forme).

La question se pose alors de la communication, plusieurs théories sont actuellement avancées, pour les résumer grossièrement on peut :

- Imaginer que ces êtres vivants ne soient pas en mesure de communiquer avec nous :
 - car nous ne pouvons les percevoir naturellement
 - car nous ne pouvons les percevoir à l'aide des machines que nous construisons
- Imaginer qu'ils en soient à un stade moins évolué que le nôtre (par exemple qu'ils en soient à l'époque des dinosaures, des hommes préhistoriques ou même de la révolution industrielle de notre XIXe siècle terrien.
- Que nous soyons tellement éloignés qu'ils n'ont pas encore pu nous contacter et que le jour où nous nous recevions mutuellement, l'une ou l'autre des civilisations ait disparue.
- ou au contraire qu'ils soient beaucoup plus avancés et que donc ils nous observent de façon cachée (car nous n'avons pas leur technologie) à la façon d'un zoologue qui va observer des animaux en se camouflant pour ne pas perturber leur écosystème naturel (ou le moins possible).

Dans tous les cas nous ne pourrions entrer en contact avec une autre civilisation (qui de toutes façons serait encore trop éloignée pour qu'on la visite du moins dans le cas de nos connaissances scientifiques actuelles²⁴) En effet les premiers signaux électromagnétiques (EM) assez puissants pour sortir de l'atmosphère datent des années 1930, ce qui signifie qu'au delà de 88 al de la Terre ♂ rien n'a encore pu les recevoir.

2.5 À l'échelle de notre galaxie

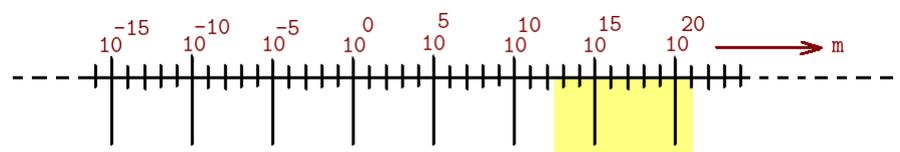


FIGURE 2.38 – L'échelle galactique en puissance de 10.

Notre galaxie s'appelle la voie lactée²⁵, elle contient environ 400 milliards d'étoiles. C'est une galaxie spirale dont le diamètre est environ de 100 000 al. Notre soleil se trouve dans le bras d'Orion de cette galaxie à environ 35 000 al du centre (information à vérifier). Notez

24. et non il ne me semble pas possible de traverser un trou noir pour voyager instantanément à l'autre bout de l'univers, ou du moins qu'on puisse le traverser en restant vivant.

25. Le nom de notre galaxie, la voie lactée vient du latin *via lactea* et du grec ancien *galaxías kýklos* selon wikipedia.

qu'originellement le terme galaxie provient du grec et signifie "cercle laiteux" (ou quelque chose de similaire).

Une al (année lumière) est la distance parcourue par la lumière en 1 an à la vitesse approximative de 300000 km/s, cela fait environ 9400 milliards de kilomètres *Vous pouvez retenir en gros dix mille milliards de km.* Ci-après, une photo d'une galaxie semblable à la notre prise par le télescope Hubble de la NASA.²⁶

Une année lumière AL ou al = 9461 milliards de kilomètres



FIGURE 2.39 – Une photo de galaxie spirale semblable à celle de la voie lactée prise par la NASA

Les galaxies se déplacent les unes par rapport aux autres, on peut étudier par rapport à nous leur vitesse de rapprochement ou d'éloignement. Certaines galaxies sont regroupées (relativement) et forment des "amas galactiques". La galaxie la plus proche de nous est la galaxie d'Andromède (qui est à environ 2,54 al) située comme son nom l'indique dans la constellation d'Andromède.

2.6 À l'échelle de notre univers connu

" Il y a deux choses qu'on dit infinies, la bêtise humaine et l'univers. Je ne suis pas certain du second. " A. Einstein.

L'univers a-t-il une limite ? C'est la grande question qui intéresse beaucoup de scientifiques. Actuellement le satellite Planck (lancé en 2013) a scruté le fond de l'univers ce qui a permis d'affiner encore l'âge de l'univers connu. L'âge qui lui est donné est actuellement de 13,8 milliards d'années.

²⁶. NASA : National AeroSpace Agency ou Agence spatiale américaine civile publique, les photos issues de ses observations et explorations sont placées dans le domaine public (car payées par le contribuable américain) et donc sont utilisables librement.)

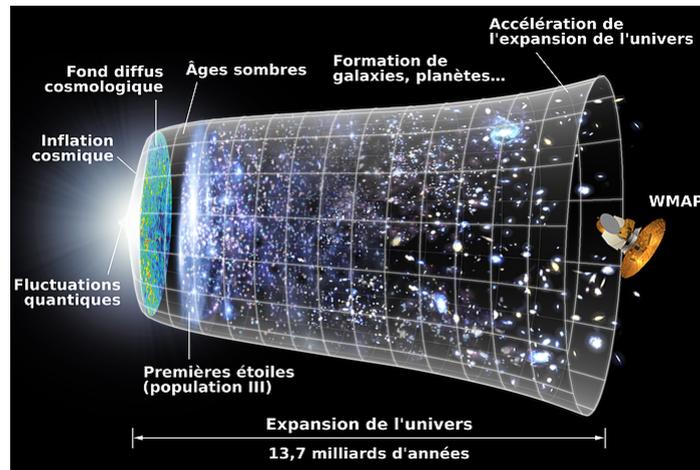


FIGURE 2.40 – Le big bang et l'expansion de l'univers.

Parmi les théories de la création de l'univers connu, la plus admise est la théorie dite du Big Bang²⁷, dans cette théorie initiée par le savant russe Alexandre Friedmann et étayée par les observations de l'astronome Edwin P. Hubble, l'univers serait né il y a environ 13,7 milliards d'années lors d'une explosion d'une violence inimaginable dans le volume d'un atome et accompagnée d'un rayonnement énergétique électromagnétique intense. Cette théorie a été ensuite synthétisée par le savant russe George Gamow. Les observations ultérieures des astronomes Penzias et Wilson sur le rayonnement fossile prédit par Gamow ont conduit à la validation de cette théorie.

Dans cet univers infinitésimal les températures au début de l'existence de l'univers sont délirantes, des milliards de milliards de milliards de degrés celsius. En quelques fractions de seconde (quelques cent mille milliardièmes de milliardièmes de milliardièmes de seconde) l'univers grossit à la taille d'une dizaine de centimètres et commencent à apparaître les premières particules, les électrons e^- , vers le millionième de seconde après la naissance de l'univers les protons p^+ naissent suivis aussitôt par les neutrons n . L'univers est encore trop chaud, quelques 10000 milliards de degrés celsius, vers 3 minutes après le début, la température de l'univers a un peu baissée, elle n'est plus que de quelques centaines de millions de degrés celsius, les premiers noyaux atomiques peuvent se stabiliser, l'univers va peu à peu se refroidir sur les centaines de milliers d'années suivantes et avec son expansion, sa température baisse à quelques dizaines de milliers de degrés celsius, les atomes peuvent exister, les gaz se former, et cela donne naissance, environ 1 milliard d'années terrestres après la naissance de l'univers aux premières étoiles dans un univers déjà à $-200\text{ }^\circ\text{C}$. Actuellement notre univers est assez connu, sa température la plus froide (le zéro absolu) est de $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$ c'est l'univers dans lequel vous vivez.

27. Ce terme a été introduit par un journaliste dans un article de vulgarisation de cette théorie d'expansion de l'univers.

Chapitre 3

Les transformations de la matière

Après avoir décrit la matière en fonction de ses propriétés les plus diverses et variées, un nouveau domaine d'étude est là qui nous tend les bras, celui des transformations de la matière. Ces transformations peuvent être de deux sortes : des transformations physiques c'est à dire d'état physique, elles peuvent être nucléaires et concerner l'intérieur des atomes ou bien elles peuvent être chimiques et toucher à la fois l'état physique tout comme les liens entre atomes au sein des molécules.

3.1 Les transformations physiques (ou changements d'état)

Les transformations physiques aux cycles 3 et 4 sont une transformation où un corps va seulement changer d'état physique. Lorsque la glace (eau pure) fond elle reste de l'eau pure, seul son état change de solide à liquide. Les transformations physiques obéissent à des propriétés qui sont détaillées dans les paragraphes suivants.

Les principales caractéristiques de ces changements d'état sont que le corps est chimiquement le même du début à la fin (ce sont les mêmes molécules, les mêmes atomes) et que ces transformations sont réversibles, il est possible de revenir à l'état du début (exemple eau solide → eau liquide → eau solide).

3.1.1 Les 6 transformations physiques

Les six transformations physiques sont celles de la liste suivante :

- La solidification
- La fusion
- La vaporisation
- La liquéfaction
- La sublimation
- La condensation ¹

1. En S.V.T. – et sauf mise à jour – la liquéfaction et la condensation portent respectivement les noms de " condensation à l'état liquide " et " condensation à l'état solide " .

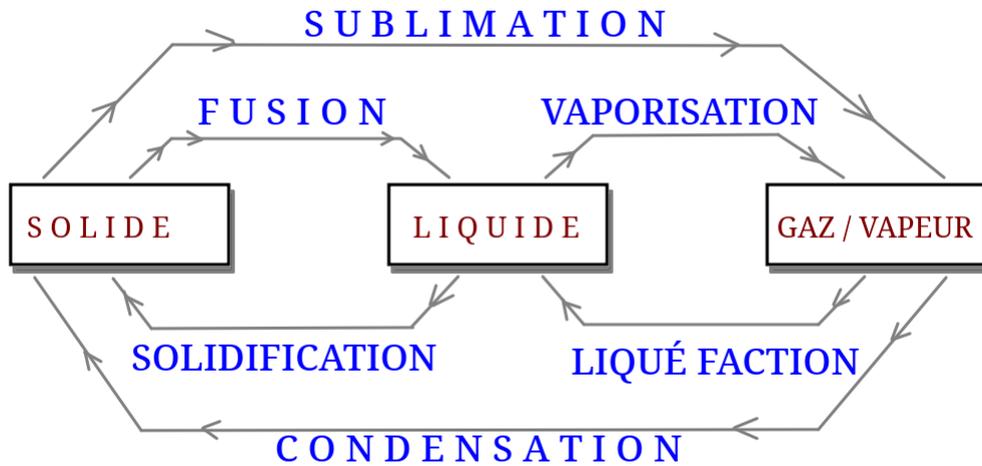


FIGURE 3.1 – Diagramme des différentes transformations physiques et de leur sens.

Le diagramme ci-avant vous donne les noms et les sens des 6 transformations de la matière les plus habituelles (notez cependant que la sublimation et la condensation ne sont pas si habituelles que ça). Attention à la condensation : elle n'a pas le même sens que celui qui est utilisé dans la vie quotidienne et qui correspondrait à une liquéfaction.

3.1.2 La conservation de la matière lors d'une transformation physique

Lors d'une transformation physique la masse est conservée.



FIGURE 3.2 – Expérience montrant la conservation de la masse lors d'une transformation physique.

Comme le montre l'expérience, les 103,0 g d'eau solide (glace) et du récipient deviennent après la fusion de cette glace 103,0 g d'eau liquide et de récipient. On peut aisément comprendre que le récipient n'a pas évolué (donc sa masse aussi), ce qui change c'est l'état physique de l'eau, mais sa masse elle est restée constante. Cela vérifie bien la propriété citée avant l'image en gras.

3.1.3 La non-conservation du volume lors d'une transformation physique

Lors d'une transformation physique le volume n'est pas conservé.

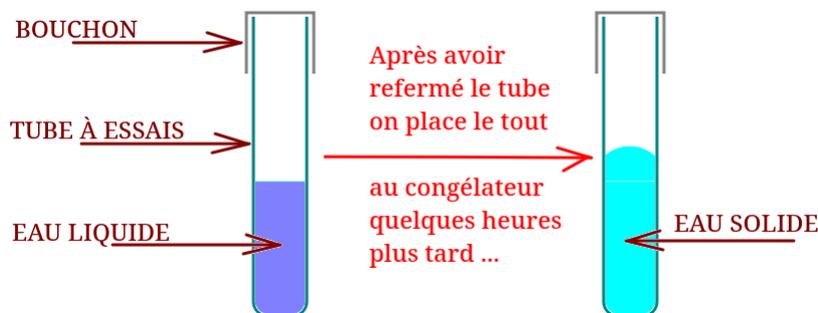


FIGURE 3.3 – Expérience montrant la non-conservation du volume lors d’une transformation physique.

Dans l’expérience dessinée ci-avant le liquide (à gauche) a une surface libre bien horizontale (comme tout liquide dans un récipient) et monte à une certaine hauteur (donc a un volume bien défini), or, après solidification dans un congélateur la surface est bombée et monte plus haut que le liquide initial, cela signifie que le volume a augmenté (celui de l’eau devenue glace bien sûr, on suppose que le verre n’a été que très peu affecté). Comme le récipient est bien fermé du début à la fin (présence du bouchon) ce volume supplémentaire ne vient pas de l’extérieur du tube. Quant au tube, il est solide du début à la fin et n’a pas subi de transformation notable.

3.2 Les transformations chimiques

Dans les transformations chimiques le résultat de la transformation n’est plus de même nature que celui du début. Cela veut dire que l’on fabrique de nouvelles substances. Il y a un peu de vocabulaire à connaître et une loi qui régit le fonctionnement de ces réactions. Le lieu où se produit la transformation chimique est appelé le **milieu réactionnel**.

3.2.1 Un peu de vocabulaire

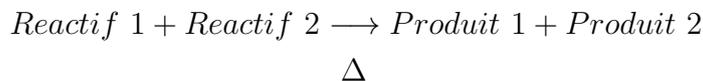
Réactif Un réactif est une matière qui a été mise dans le milieu réactionnel au début de la transformation chimique. Cette matière va disparaître au fur et à mesure que la transformation dure. Si les quantités sont bien calculées il ne doit rester aucun réactif à la fin de la transformation.

Exemple : dans la combustion du carbone C dans le dioxygène O_2 donnant du dioxyde de carbone CO_2 après combustion à l’aide d’une flamme, les deux réactifs sont le carbone C et le dioxygène O_2 .

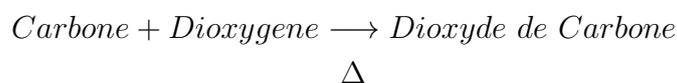
Produit de la transformation Un produit de la transformation est une substance qui apparaît au fur et à mesure que la transformation se déroule. C’est une substance qui est donc présente à la fin de la transformation.

Exemple : dans la combustion du carbone C dans le dioxygène O_2 donnant du dioxyde de carbone CO_2 après combustion à l’aide d’une flamme, le produit de la transformation est le dioxyde de carbone CO_2 .

Bilan de la transformation Un bilan de transformation est une façon d'écrire une transformation en la résumant à l'extrême. Cette notation très contractée est utile pour garder rapidement la trace d'une transformation. Par exemple au lieu d'écrire " Réactif_ 1 " réagit avec " Réactif_ 2 " en présence d'une flamme² pour donner les produits de la transformation " Produit_ 1 " et " Produit_ 2 " sera écrit le bilan :



Par exemple : au lieu d'écrire : La combustion du carbone dans le dioxygène donne à l'aide d'une flamme du dioxyde de carbone :

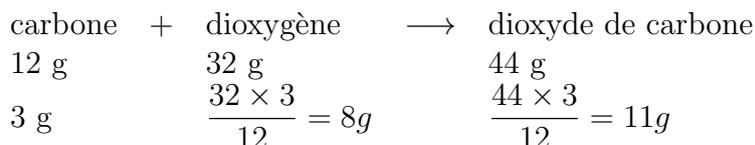


La flèche placée au milieu du bilan et plus tard au milieu d'une équation de transformation chimique a un rôle important, car elle donne le sens de la transformation, de quoi on part et vers quoi on arrive. Pour le moment ces flèches sont unidirectionnelles, plus tard vous verrez autre chose.

Équation de la transformation Une équation de la transformation est presque la même chose qu'un bilan de transformation à 2 points près : on utilise uniquement des formules et symboles chimiques ET il y a des nombres présents ajoutés devant les formules et symboles afin de valider la loi de Lavoisier??.

3.2.2 La conservation de la matière, loi de Lavoisier et proportionnalités

Une propriété des transformations chimiques : Il y a la proportionnalité des masses et des volumes lors d'une transformation chimique. Que faire si on a une recette de gâteau pour 4 personnes et qu'on désire faire un gâteau pour 8 ? On multiplie tous les ingrédients par 2 ! Et bien ce constat est valable aussi en chimie où il y a proportionnalité pour les masses et les volumes dans une transformation chimique (la flamme n'a pas été représentée) :



Dans la réaction connue (ligne 2) : on sait qu'il faut 12 g pour 32 g et cela donne 44 g, si au lieu de 12 nous avons 3 g (il faut tout diviser par 4) : 32 donnera 8, 44 donnera 11. Tout est proportionnel. *Notez que cela fonctionne aussi avec les volumes !*

2. flamme qu'on symbolisera par le symbole Δ .

Autre propriété de la matière lors d'une transformation chimique : la conservation de la masse ou "Loi de Lavoisier"³

Lors d'une transformation chimique l'addition des masses des réactifs est égale à l'addition des masses des produits de la transformation. Cela induira la 2^e version de cette loi (avec les atomes et molécules)

Lors d'une transformation chimique les atomes de chaque élément chimiques sont conservés entre le début et la fin de la transformation.

Cependant il existe un 3^e énoncé plus connu historiquement et adapté d'une phrase du philosophe grec Anaxagore : **Dans une transformation chimique rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.**

3.2.3 Une catégorie de transformations chimiques particulière : la combustion

Une combustion est une transformation chimique où un carburant⁴ va brûler avec un comburant⁵ s'il y a une flamme ou une source de chaleur pour démarrer la combustion. Les pompiers utilisent l'image du triangle de feu donc chaque sommet du triangle représente un de ces 3 acteurs. Si quelque part ces 3 sont réunis, le triangle est complet, un incendie (donc une combustion) existera tôt ou tard. Les réactions de combustion peuvent être effectuées avec toutes sortes de substances, solides, liquides ou gazeuses.

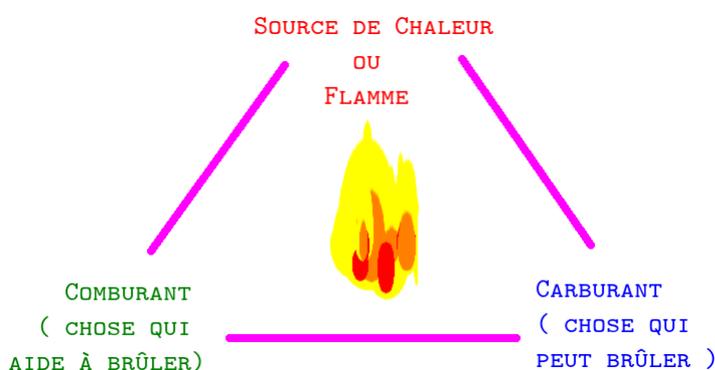


FIGURE 3.4 – Image du triangle de feu.

Si le dioxygène est présent en quantité suffisante, alors la combustion sera complète et s'arrêtera quand il n'y aura plus rien à brûler, s'il n'y a pas assez d'oxygène il restera un peu

3. Antoine Laurent de Lavoisier (1743 - 1794) fût entre autre un chimiste français qui a créé les bases de la chimie moderne basée sur l'observation précise et les mesures, utilisant aussi les mathématiques. Il a joué des rôles politiques, économiques et scientifiques *mathématiques, biologie, physique et chimie*. L'une de ses plus notables découvertes a été l'étude des oxydations métalliques ce qui l'a conduit à comprendre que l'air n'était pas un corps pur mais qu'il était formé d'un gaz (qu'il n'appelait pas encore dioxygène) jouait aussi un rôle dans la respiration. Il fût décapité en mai 1794 suite à une décision de justice où le juge aurait affirmé "La République n'a pas besoin de savants, ni de chimistes ; le cours de la justice ne peut être suspendu." lorsque Lavoisier aurait demandé un sursis le temps de finir une expérience. Le lendemain de sa mort, Lagrange (*grand mathématicien français*) aurait dit : "Il ne leur a fallu qu'un moment pour faire tomber cette tête et cent années, peut-être, ne suffiront pas pour en reproduire une semblable."

4. Un carburant est une matière qui brûle.

5. Un comburant est une substance qui aide à faire brûler, typiquement du dioxygène O_2 .

de carburant et les produits de la transformation seront différents. Par contre il est possible de calculer les quantités exactes de l'un et de l'autre pour tout brûler sans laisser de restes, la réaction sera alors complète. Toute les combustions émettent de la chaleur (vulgairement : elles chauffent) c'est pour ça qu'elles sont dites exothermiques.⁶ Dans les bilans et équations il est d'usage d'ajouter un triangle ou le mot "flamme" en dessous des flèches indiquant le sens de la transformation, je ne l'ai pas fait (pour l'instant) dans certains bilans et équations qui vont suivre.

Il faut faire très attention aux combustions, les combustions des gaz peuvent être très dangereuses car dans les proportions parfaites un gaz explosera car le dégagement d'énergie provoquera une surpression énorme et très rapide. Les combustions des liquides ou des solides peuvent produire des gaz toxiques ou des fumées. (voir 1.1.2) En général on va admettre deux genres de combustions : la combustion complète où tout est fourni dans les conditions suffisantes pour tout brûler entièrement, la flamme aura une couleur spéciale, ou la combustion incomplète où la quantité de dioxygène n'est pas suffisante et la matière brûle peu ou mal.

À la fin du cycle 4 vous avez à connaître quelques combustions :

La combustion du carbone C Elle est donnée par la transformation dont le bilan est : " carbone + dioxygène \rightarrow dioxyde de carbone " cela donne l'équation suivante (qui obéit à la loi de Lavoisier) : $C + O_2 \rightarrow CO_2$. La combustion est complète et fabrique du dioxyde de carbone.

Preuve que la loi de Lavoisier est bien respectée, car il y a 1 atome de carbone de part et d'autre de la flèche et 2 atomes d'oxygène aussi de part et d'autre :

Élément chimique	nombre avant	d'atomes	le plus grand nombre (voir 3.2.3)	nombre après	d'atomes
carbone (C)	1		= 1 =	1	
oxygène (O)	2		= 2 =	2	

TABLE 3.1 – Équilibrage de la combustion du carbone

Les combustions du méthane CH_4 Le méthane est le gaz issu du pétrole le plus léger et le plus simple. Sa formule chimique est CH_4 cela signifie qu'il contient 1 atome de carbone et 4 atomes d'hydrogène, il peut brûler de façon complète ou incomplète.

En combustion complète le méthane va produire de la vapeur d'eau H_2O et du dioxyde de carbone CO_2 . On obtient alors le bilan suivant :

méthane + dioxygène \rightarrow dioxyde de carbone + eau

l'équation de la transformation est : $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Vérifions si la loi de Lavoisier est respectée :

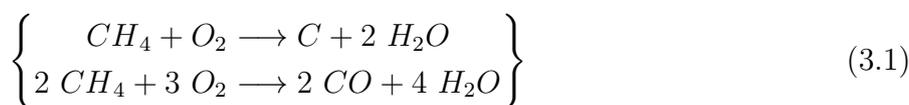
6. Exothermique : envoi de la chaleur vers l'extérieur.

Élément chimique	nombre avant	d'atomes le plus grand nombre (voir 3.2.3)	nombre après	d'atomes
carbone (C)	1	= 1 =	1	
hydrogène (H)	4	= 4 =	2×2	
oxygène (O)	2×2	= 4 =	$2 + 2 \times 1$	

TABLE 3.2 – Équilibrage de la combustion du méthane

On obtient bien dans le tableau précédent le même nombre d'atomes de part et d'autre de la flèche (donc avant et après la transformation chimique).

Dans l'autre situation la combustion sera incomplète, la faible quantité de dioxygène empêche la formation de dioxyde de carbone, **il sera formé du monoxyde de carbone CO et de la fumée de carbone C (suie) et bien sûr de l'eau**. Parfois il y aura un peu de dioxyde de carbone car très localement il y aura eu une toute petite zone où il y aura eu assez de dioxygène.



Remarque sur les deux tableaux précédents Dans les deux tableaux précédents l'une des colonnes indique le plus grand nombre d'atomes, il y a une explication logique à cela : Plus vous mettez d'atomes ou de molécules au contacts d'autres, plus la chance que quelque chose se passe augmente (c'est un peu comme une foule : plus il y a de gens, plus il y a de chances que quelque chose arrive voire plusieurs choses). Aussi on recherche des coefficients qui multiplient les atomes (et non les divisent).

3.2.4 Encore un type de transformation chimique : les transformations acidobasiques

Une transformation acidobasique (pour abrégé une réaction A/B) est une transformation chimique entre un corps appelé acide⁷ et un autre corps appelé base⁸. Dans ces réactions il y a échange d'ion H^+_{aqueux} entre ces deux corps. Si l'acide et la base sont dits " forts " alors la transformation est totale et irréversible c'est à dire qu'elle se fait dans un seul sens. L'équation de transformation typique étudiée entre de l'acide chlorhydrique HCl et de l'hydroxyde de sodium (communément appelé soude ou soude caustique⁹) NaHO est :



7. On utilise ici la notion d'acidité au sens de Brønsted et non au sens de Lewis. Dans cette définition un acide est une molécule de type A-H qui peut facilement se séparer d'un proton (le noyau de l'atome de H) tout en gardant l'électron excédentaire, ainsi on aura $A - H + eau \longrightarrow A^- + H^+$

8. une base est une substance dite basique, non car elle est simple mais parce qu'une base est acidobasiquement le contraire d'un acide. Attention cependant, si elle est concentrée, une base est très corrosive

9. La soude caustique ou Hydroxyde de sodium ou Lessive de Soude (si liquide très concentré) libère en solution l'ion sodium Na^+ et l'ion hydroxyde HO^-

La première équation est l'équation avec les corps, la seconde présente les ions en détail. Notez que **cette transformation est exothermique, et si les substances sont très concentrées elle peut être violente**. Certains des ions ici apparaissent des deux côtés de la flèche, ils ne participent pas à la transformation chimique mais sont là pour équilibrer les charges électriques positives et négatives). Ces ions spéciaux sont appelés ions spectateurs¹⁰.

Vous avez remarqué car vous avez l'oeil aguerri que l'ion HO^- et l'ion H^+ se sont réunis pour former la molécule d'eau par la réaction suivante :



Note : Dans les armoire de laboratoire et pour des mesures de sécurité les acides et les bases telle que la soude sont conservés dans des armoires différentes si possible, sinon dans des étagères différentes et les récipients sont eux même posés dans des bacs afin de récupérer toute substance qui pourrait suinte des récipients.

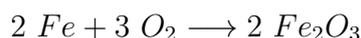
3.2.5 Les transformations d'oxydoréduction

L'oxydation d'un métal par le dioxygène

Les transformations ou réactions d'oxydoréduction sont les réactions entre une substance appelée " oxydant " et une substance appelée " réducteur ". L'oxydant attaque le réducteur et l'oxyde. Cela se traduit par un produit de la transformation plus lourd (car plus oxygéné). Au cycle 4 du collège la réaction d'oxydoréduction le plus souvent étudiée est l'oxydation d'un métal par le dioxygène de l'air, cette oxydation ayant pu être accélérée *Le terme exact est catalysée*¹¹ par la présence d'eau salée.

Ont été vues en documents ou en expérience les oxydations du cuivre avec la formation du vert-de-gris (statue de la Liberté, dôme de la gare des bénédictins de Limoges, ...¹²), la formation de la rouille (oxyde de fer III Fe_2O_3 couleur orange¹³), la formation de l'alumine (oxyde d'aluminium Al_2O_3).

En classe vous avez étudié la transformation schématisée ci-après :



10. Un ion spectateur est un ion présent dans une solution ionique mais qui ne participe pas à une transformation chimique. Son rôle est d'assurer l'électroneutralité du mélange de solutions ioniques par sa présence.

11. Un catalyseur est une substance (solide ou liquide la plupart du temps) qui permet d'accélérer une transformation chimique en abaissant la quantité d'énergie nécessaire à son fonctionnement. Cela se traduit généralement par la fabrication d'une réaction intermédiaire avec des substances intermédiaire dont il ne reste aucune trace à la fin, le catalyseur est récupéré intégralement au final sans altération.

12. C'est en réalité un oxyde qui forme un complexe avec diverses molécules de l'air ambiant, sa formule n'a pas d'intérêt ici, pour plus de détails la page wikipedia consacrée à l'oxyde de cuivre <https://fr.wikipedia.org/wiki/Vert-de-gris> vous donnera plus d'informations.

13. L'oxyde ferrique ou oxyde de fer III ou plus communément "rouille" a une particularité détestable : il est poreux et laisse le dioxygène pénétrer plus profondément dans le métal, aussi cet oxyde est destructeur comparé aux autres qui altèrent la surface du métal produisant un oxyde protecteur et étanche.

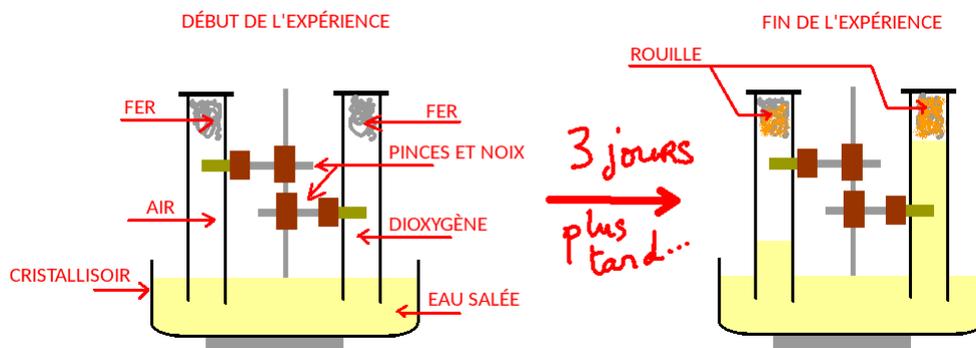
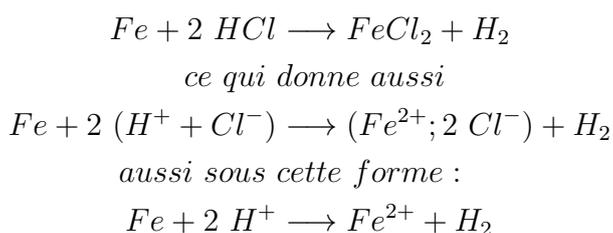


FIGURE 3.5 – La transformation d’oxydation du fer par le dioxygène de l’air et sa catalyse par présence de chlorure de sodium.

Dans cette transformation un des tubes contenait de l’air composé de 21 % de O_2 et de 79 % de N_2 (1 L) et l’autre contenait du dioxygène pur (1 L). La quantité de laine de fer introduite au début ayant été suffisante les transformations se sont arrêtées lorsque tout le dioxygène avait été utilisé, faisant monter l’eau dans le tube par aspiration, dans le premier cas le volume d’eau est monté de 210 mL (ce qui correspond bien aux 21 % de dioxygène dans l’air) et dans l’autre cas le volume est monté jusqu’en haut (le dioxygène étant pur il représentait 100 % du volume de l’éprouvette graduée).

Oxydation par un acide : Cas de l’attaque du fer par l’acide chlorhydrique

Cette fois-ci ce n’est pas l’oxygène (lentement) qui va attaquer le métal fer (ou de l’acier car c’est plus facile à obtenir) mais de l’acide chlorhydrique (formule HCl). L’attaque est (quasi)instantanée¹⁴ La réaction qui se produit est :



3.3 Les transformations nucléaires

Les transformations nucléaires sont une nouveauté de la réforme de 2015. Avec cela on touche à une des plus récentes transformations de la matière étudiée par l’humain. Son énergie est incroyable, sa dangerosité aussi. Cette énergie pose beaucoup de questions quant à son utilisation et est le siège de nombreux enjeux politiques et écologiques. Nous en resterons au cadre strictement scientifique : comprendre ce que c’est, comment cela fonctionne. La liberté

14. Parfois un délai est nécessaire car si le fer a déjà été oxydé il faut que l’acide traverse la rouille pour commencer à attaquer le métal sain. De plus, s’il s’agit d’une plaque de fer et non de la laine de fer on a aussi un délai.

de chacun·e d'entre vous sera ensuite, une fois éclairé·e·s sur la nature de ces transformations d'aller plus loin ou pas.

Ces transformations peuvent être qualifiées de physiques car elles ne font pas intervenir de substances chimiques stables au début (donc elles ne sont pas chimiques), cependant je les ai dé

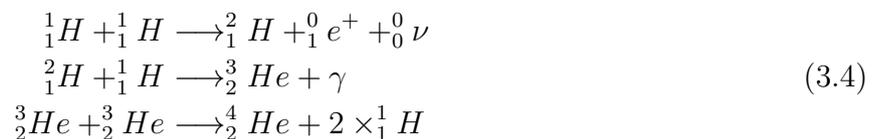
Il existe deux sortes de transformations nucléaires vues au cycle 4 :

- Les transformations de fusion nucléaire
- Les transformations de fission nucléaire

La réaction de fusion nucléaire

Une réaction de fusion nucléaire¹⁵ utilise des atomes légers, propulsés à grande vitesse pour obtenir une grande énergie (en l'aidant avec une pression gigantesque et une température démentielle). Ces atomes légers et rapides sont envoyés les uns contre les autres afin qu'ils s'explodent (littéralement) ensemble et qu'ils forment un noyau¹⁶ plus lourd. Cette union fait que le noyau final est plus léger que l'addition des deux autres, la différence de masse est transformée en énergie (la célèbre équation d'Einstein $E = m \times c^2$), cette énergie peut être réellement énorme.

Où trouve-t-on ce genre de réaction ? Dans les accélérateurs de particules pour les étudier, dans certaines armes (bombes H ou bombes thermonucléaires) et dans les étoiles (dont notre soleil). Dans notre soleil les réactions se font à partir d'atomes d'hydrogène (H)¹⁷ pour former de l'hélium (He). Voici quelques-une des possibilités des réactions :



Comme vous le voyez dans ces 3 équations, on part d'atomes d'hydrogène léger ${}^1_1\text{H}$ pour former au final un nouvel atome d'hélium ${}^2_1\text{He}$ qui est plus lourd, au passage de l'énergie est libérée γ sous forme de rayonnement électromagnétique. Au final le soleil fabrique (et envoie un peu dans l'espace) des noyaux d'hélium (aussi appelé radioactivité α) qui parfois captés par les pôles magnétiques de la magnétosphère terrestre formant les aurores boréales et australes.

La réaction de fission nucléaire

La réaction (ou transformation) de fission nucléaire est une transformation où un noyau lourd et instable se brise en morceaux (noyau souvent placé en bas de la classification périodique de

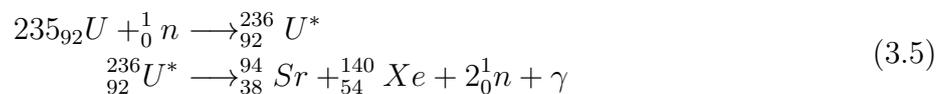
15. on dit aussi bien fusion nucléaire que fusion chaude ou encore réaction thermonucléaire.

16. Dans le cas des réactions thermonucléaires la température est si élevée, supérieure à 2 millions de degrés celsius que les atomes sont impossibles à former, comme peu après la naissance de l'univers, aussi j'ai tendance à utiliser le mot "noyau". Si ce terme vous gêne ici, barrez le pour utiliser le terme "atome".

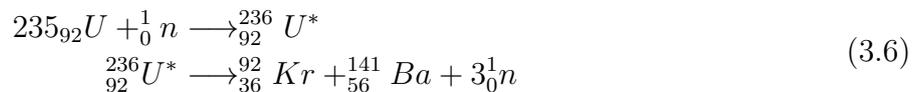
17. L'atome d'hydrogène représente 73,9 % des atomes de l'univers, c'est l'élément chimique le plus abondant, le 2e est l'hélium (He) avec 24 %, le 3e est l'oxygène (O) avec 1 %, le 4e est le carbone (C) avec 0,5 % ... voir ici : https://fr.wikipedia.org/wiki/Abondance_des_%C3%A9l%C3%A9ments_chimiques

mendeleiev). Ce type de réaction se trouve dans les bombes A (A comme atomiques) telles que celle lancée sur Hiroshima le 6 août 1945, mais aussi dans les réacteurs des centrales nucléaires (filiale à eau pressurisée) utilisés en France (hormis quelques réacteurs expérimentaux tels que phénix et super-phénix et le futur réacteur dit "EPR" de Flamanville en Normandie). La France possède (en juin 2018) 58 réacteurs nucléaires en fonctionnement répartis sur 19 sites actifs fournissant environ 75% de l'énergie électrique consommée dans le pays, le carburant utilisé est de l'uranium (voir le MOx à chercher ultérieurement).

Lorsque par impact d'un neutron accéléré sur un noyau d'uranium $^{235}_{92}\text{U}$ un noyau instable d'uranium $^{236}_{92}\text{U}^*$ se forme, dans 16 % des cas le noyau restera stable, mais dans 84 % des cas on aura cette réaction qui fabrique des atomes de Strontium (Sr) et de Xénon (Xe) avec production de 2 neutrons (1_0n) du rayonnement électromagnétique (γ) (autrement dit de la lumière invisible très énergétique) :

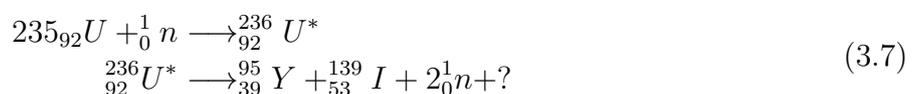


ou bien cette autre réaction qui fabrique des atomes de Krypton (Kr) et de Baryum (Ba) et 3 neutrons (1_0n) :



Notez qu'une très faible fraction de transformations nucléaires ne produira pas ces deux équations et donc ces 4 déchets mais produira du plutonium $^{239}_{94}\text{Pu}$. Ce plutonium servant à fabriquer des bombes thermonucléaires. En effet dans l'uranium enrichi servant de carburant aux centrales nucléaires on trouve du plutonium 238 qui est peu radioactif mais qui va capturer certains neutrons issus de la fission de l'uranium 235 et se transformer en plutonium 239 $^{239}_{94}\text{Pu}$.

Toutes les personnes habitant à une distance maximale de 10 km près d'un lieu où le nucléaire est utilisé (ou stocké?) se voit régulièrement avertie sur l'absorption de pastilles d'iode (plus précisément du Iodure de Potassium KI) en cas d'accident nucléaire. L'iode peut effectivement être fabriqué lors des transformations nucléaires d'un réacteur et il représente l'un des ions absorbés par un organe appelé thyroïde qui est présent dans notre cou. Absorber de l'Iode va saturer la thyroïde et ainsi l'Iode radioactif provenant de l'incident nucléaire ne prendra pas la place de celui déjà présent. Cependant : Cet iode sera vite éliminé, donc il faut prendre des pastilles régulièrement ET il n'y a pas que de l'iode qui soit fabriqué dans ces cas là, vous trouvez également du Césium, du Baryum, etc... La réaction avec production d'iode est :



*Note : Dans les équations précédentes le symbole " * " indique que l'atome est instable*

Le phénomène de radioactivité naturelle

Dans la nature on trouve des minerais dégageant naturellement du rayonnement électromagnétique (rayonnement γ) ou des électrons ou des noyaux d'hélium. Ce phénomène est de la radioactivité naturelle et ces objets sont dits " radioactifs ". Lorsqu'ils sont actifs, une réaction de fission nucléaire se produira.

De nombreux éléments chimiques ont cette particularité car dans un même élément chimique il peut y avoir des isotopes¹⁸ différents.



FIGURE 3.6 – L'élément uranium, un élément radioactif naturel.

Dans chaque substance pure composée d'un seul élément il y a une proportion d'atomes radioactifs. Cette proportion est optimale tant que l'objet échange des atomes avec d'autres, mais, une fois l'objet " mort " (c'est à dire n'échangeant plus d'atomes pour simplifier) sa quantité d'atomes radioactifs diminue. Au bout d'un moment on obtient la moitié de la proportion initiale, c'est ce qu'on appelle une demi-vie ou encore une période radioactive. Cette propriété sert par exemple à dater des fossiles (pour le carbone 14) par exemple.

On utilise aussi la radioactivité naturelle de certains éléments introduits dans un corps humain pour tracer la circulation sanguine lors d'un scanner.

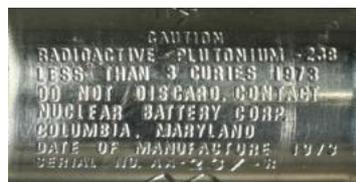


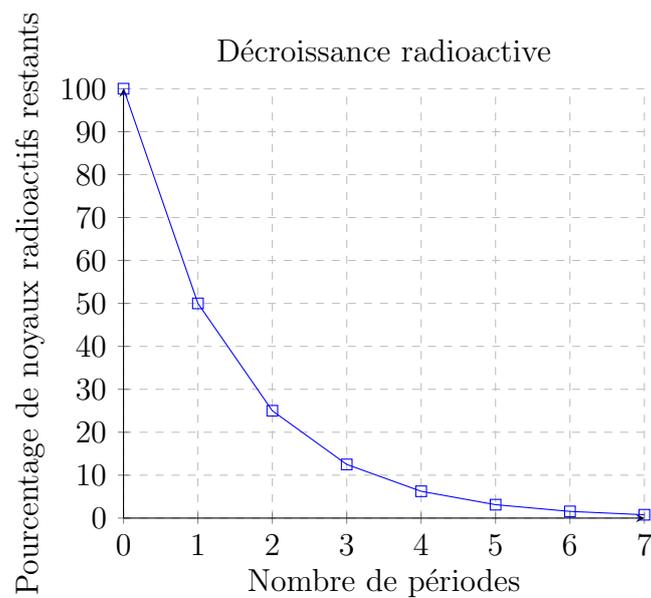
FIGURE 3.7 – L'élément plutonium, un élément radioactif naturel.

18. Un isotope est un atome ayant le même nombre de protons que l'élément auquel il appartient mais ayant un nombre différent de neutrons. Par exemple : Le carbone stable $^{12}_6C$ possède 6 protons et $12-6 = 6$ neutrons, il n'est pas radioactif, mais le carbone 14, $^{14}_6C$ qui lui possède 6 protons et $14-6 = 8$ neutrons est quant à lui radioactif.

Élément chimique	Élément stable	Isotope radioactif	Durée de demi-vie
Carbone 14	${}^{12}_6C$	${}^{14}_6C$	5730 ans
Plutonium 239	${}^{244}_{94}Pu$	${}^{239}_{94}Pu$	24 110 ans
			357 500 ans
Uranium 235	${}^{238}_{92}U$	${}^{235}_{92}U$	703,8 millions d'années
Cobalt 60	${}^{59}_{27}Co$	${}^{60}_{27}Co$	5,2714 ans
Strontium 90	${}^{88}_{38}Sr$	${}^{90}_{38}Sr$	28,78 ans

TABLE 3.3 – Quelques périodes radioactives (ou demi-vies) de quelques éléments chimiques.

Le tableau ↑ vous donne quelques durées de demi-vie (ou période radioactive) pour quelques éléments chimiques radioactifs. Le graphique ↓ quant à lui montre ce qu'est la décroissance radioactive commençant à 100 % de radioactivité puis décroissant au fur et à mesure que le nombre de périodes augmente.



Deuxième partie

Mouvements et interactions mécaniques

Chapitre 4

Les mouvements

L'une des parties du programme de 2015 est l'étude et la description des mouvements et de ce qui va avec : la vitesse, l'énergie, ... Le principal obstacle consiste à faire changer de point de vue la pensée des élèves en les incitant à voir les différents phénomènes avec d'autres yeux que les leur, et donc un autre point de vue c'est à dire relativiser les mouvements. C'est une étape d'abstraction très importante. Les paragraphes qui vont suivre vont introduire du vocabulaire qui est INDISPENSABLE pour se comprendre.

4.1 Référentiel, Système

Le référentiel Lors de toute étude de mouvement il y a besoin de savoir qui est immobile pour savoir ce qui est en mouvement. Sera donc choisi un objet qui va être considéré immobile pour toute la durée de l'expérience. Cet objet est appelé **Référentiel**. Le plus souvent les mouvements sont observés depuis le référentiel (autrement dit : le référentiel sert de point de vue, c'est là qu'est la personne qui observe le mouvement).

Le système Le système est tout simplement l'objet (au sens large) dont le mouvement est étudié.

Par exemple (très à la mode en ces temps de coupe du monde) : lors d'un match le référentiel naturellement choisi (et de façon désormais inconsciente) est le terrain de foot. Les systèmes étudiés sont naturellement les joueurs, les arbitres ou le ballon.



FIGURE 4.1 – Exemple de mouvement d'une voiture (système) par rapport à une pierre ou à la route (référentiels).

4.2 Mouvement, Chronophotographie, Trajectoire

Le **mouvement** est le déplacement d'un système par rapport au référentiel, ce mouvement est observé par l'observateur ou l'observatrice et donc dépendra du point de vue.

Dans l'image précédente le mouvement est le déplacement (en marche avant) de la voiture par rapport à la pierre (ou à la route).

Une **chronophotographie** est une superposition de photographies prises par l'observateur ou l'observatrice et qui donne le mouvement du système par rapport à l'observateur. Ces images sont toutes prises avec le même écart de temps entre 2 prises successives. L'exemple ci-après montre un équivalent d'une chronophotographie (j'appelle cela un chronodessin).

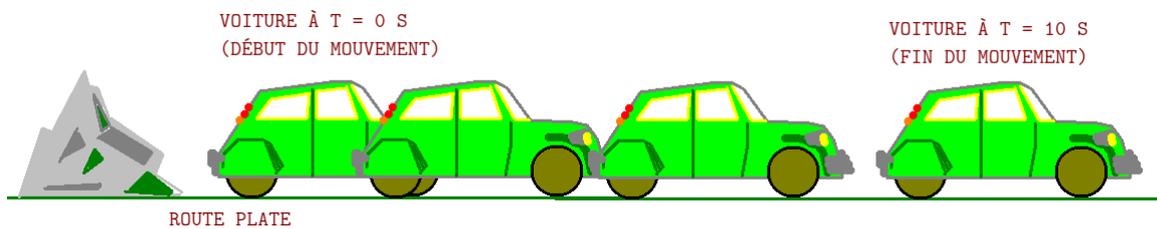


FIGURE 4.2 – Un exemple de chronophotographie décrivant un mouvement.

La **trajectoire** est un dessin du mouvement, c'est à dire un trace de tous les endroits où un des points de l'objet en mouvement est passé pendant le mouvement. Grâce aux trajectoires il est possible d'étudier les mouvements.

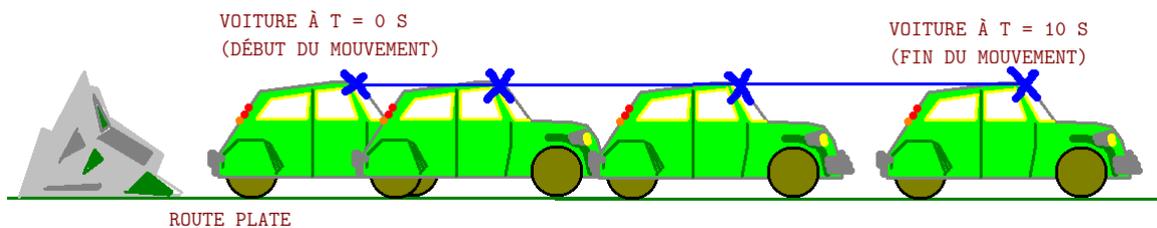


FIGURE 4.3 – Dans cette figure est étudié le point à l'extrémité du pare-brise (croix bleue) et en reliant toutes les positions où cette croix est passée on obtient un tracé bleu, ce tracé est la trajectoire du point lors du mouvement.

4.3 Notion de vitesse

La vitesse indique la distance parcourue (km ou m ou ...) par unité de temps (h ou s ou ...), elle est souvent notée " v " en minuscule. Pour la calculer (si l'objet va en ligne droite) on utilise la formule mathématique :

$$v = \frac{d}{t} \quad (4.1)$$

par soucis de simplification et de mimétisme avec d'autres équations du programme on vous a donné souvent en classe une formule légèrement différente à savoir $d = v \times t$. De même la formule de la vitesse ou sa version alternative ne sont en réalité valables que pour un mouvement rectiligne (voir : 4.4).

Pour les unités s'utilisent principalement 2 jeux différents :

- La vitesse est en m/s si la distance est en m et le temps en s.
- La vitesse est en km/h si la distance est en km et le temps en h.

mais on peut bien sûr utiliser d'autres unités en fonction des besoins. Vous avez aussi à retenir ce facteur de conversion fort pratique pour la suite **1 m/s = 3,6 km/h**.

Valeur de vitesse (m/s)	valeur de vitesse (km/h)	Exemple(s) associé(s) à cette vitesse
10	36	vitesse d'un humain qui court
12,5	50	vitesse maximale en agglomération ou vitesse maximale hors agglomération en cas de brouillard épais
22,2	80	vitesse maximale sur route à simple voie sans séparation.
25	90	vitesse maximale sur route avec séparation
31,1	110	vitesse maximale sur route à double voie avec séparateur central
36,1	130	vitesse maximale sur autoroute.

TABLE 4.1 – Quelques exemples de vitesses.

4.4 Les mouvements rectilignes

Un mouvement rectiligne est par définition un mouvement en ligne droite, c'est un mouvement à 1 dimension. L'objet se déplace soit de plus en plus vite, c'est un mouvement rectiligne accéléré, soit de plus en plus doucement, c'est alors un mouvement rectiligne ralenti, ou bien à la même vitesse au même rythme tout au long de son déplacement, c'est alors un mouvement uniforme.

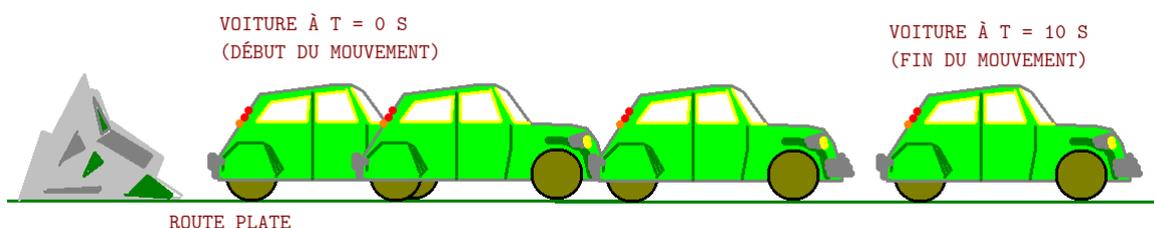
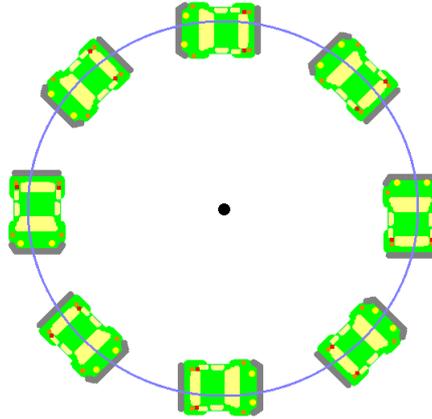


FIGURE 4.4 – Le chronodessin d'un mouvement rectiligne.

4.5 Les mouvements circulaires

Un mouvement circulaire est un déplacement d'un objet autour d'un axe de rotation (et de façon perpendiculaire à cet axe), ces mouvements se font dans un plan à 2 dimensions. L'objet est toujours à la même distance de l'axe. Cette rotation peut être à vitesse latérale (donc angulaire) constante, elle peut être accélérée (de plus en plus vite ce qui va poser des problèmes...) ou ralentie. La trajectoire obtenue est un cercle dont le centre est le point de l'axe qui coupe le plan de la rotation.

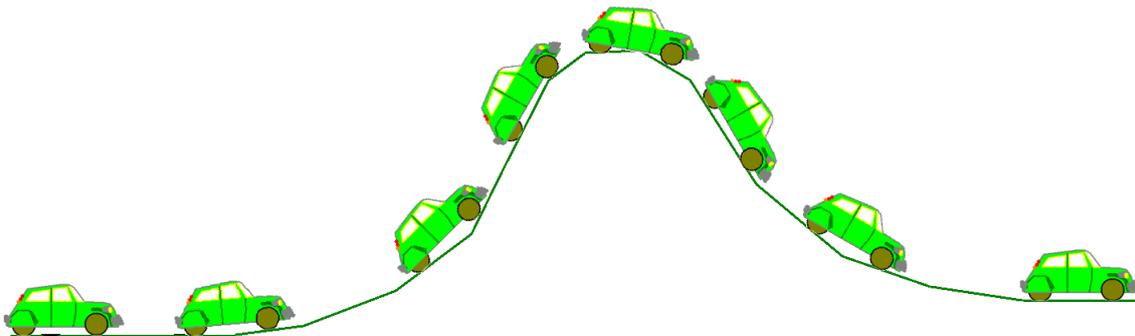


Dans l'image ↑ la voiture tourne autour du point central, la trajectoire de tous les points de cette voiture (même si en fait un seul est dessiné) est un cercle dont le centre est ce fameux point central.

Un mouvement circulaire est un mouvement où l'objet tourne autour d'un centre (et toujours à la même distance de ce centre). Il peut être ralenti, accéléré ou uniforme. Les exercices traités en classe ont majoritairement traité de mouvements uniformes.

4.6 Les mouvements curvilignes

Un mouvement est curviligne s'il n'est ni de translation ni de rotation.



Un mouvement curviligne n'est ni rectiligne ni circulaire, c'est un mouvement quelconque. Lui aussi peut être accéléré, ralenti ou uniforme.

4.7 Hors programme : d'autres mouvements

Il existe bien d'autres mouvements compliqués qui sont la combinaison de mouvements rectilignes et circulaires, par exemple le mouvement hélicoïdal (celui des extrémités des hélices d'un avion avançant en ligne droit par exemple) qui se compose d'une rotation avec une translation qui lui est perpendiculaire. Sans oublier des mouvements qui se décomposent en séries de rotations et de translations successives... mais vous verrez cela... bien plus tard au lycée ou après !

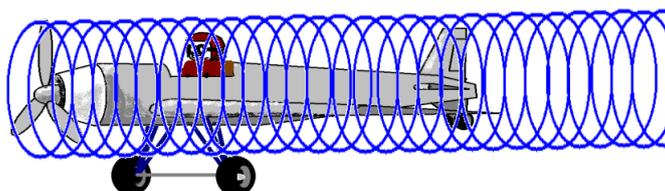


FIGURE 4.5 – Le mouvement d'une hélice d'un avion est hélicoïdal.

4.8 La relativité du mouvement

Le principe de relativité du mouvement explique simplement qu'en fonction du point de vue le mouvement n'est pas perçu comme étant le même.



FIGURE 4.6 – Un extrait d'interstellar (2014) avec une scène d'atterrissage vue sous un angle (vers 2h00min du film)



FIGURE 4.7 – Un extrait d'interstellar (2014) avec une scène d'abordage vue sous un autre angle (vers 2h00min du film)

Galilée en a même tiré un principe appelé **Relativité galiléenne du mouvement** : à savoir que si on change de référentiel pour un autre particulier (soit immobile, soit en mouvement rectiligne par rapport au 1er référentiel) alors les lois de la physique ne changent pas qu'on soit dans l'un ou l'autre des référentiels.

Chapitre 5

Les interactions mécaniques, les forces

Dès qu'un objet est quelque part, immobile ou en mouvement, il peut subir de son environnement des actions mécaniques, ces actions le feront changer d'état en le mettant en mouvement ou en le freinant, en le faisant changer de direction ou en le déformant ...

5.1 Le principe de l'inertie

Si un objet n'est soumis à aucune action ou que toutes les actions s'annulent alors l'objet est isolé ou pseudo isolé. Dans ces conditions l'objet est soit immobile, soit se déplace à vitesse constante.



FIGURE 5.1 – La navette spatiale, source : Nasa.

5.2 Les actions mécaniques

Les actions mécaniques sont le moyen de modifier l'état d'inertie d'un système. Dès qu'une action s'applique au système il sortira de son état d'inertie c'est à dire qu'il ne restera plus immobile ou qu'il n'ira plus en ligne droite. Dans un premier temps regardons les différentes sortes d'actions mécaniques, puis les effets que cela produit sur un système pour ensuite finir par apprendre comment cela est représenté et modélisé.

5.2.1 Les actions mécaniques à distance

Dans ces actions l'objet qui exerce l'action le fait sans toucher l'objet qui reçoit l'action. L'action s'exerce sur la totalité du receveur. Il y a quelques forces à distances dans l'univers :

- La force gravitationnelle
- Les forces magnétiques et les forces électriques que je regroupe ensemble dans cette liste même si elles sont étudiées indépendamment l'une de l'autre, plus tard, après le bac en sciences, vous comprendrez pourquoi je les lie.
- La force "forte" qui n'existe qu'à l'intérieur du noyau atomique
- La force "faible" qui existe à l'intérieur du noyau atomique

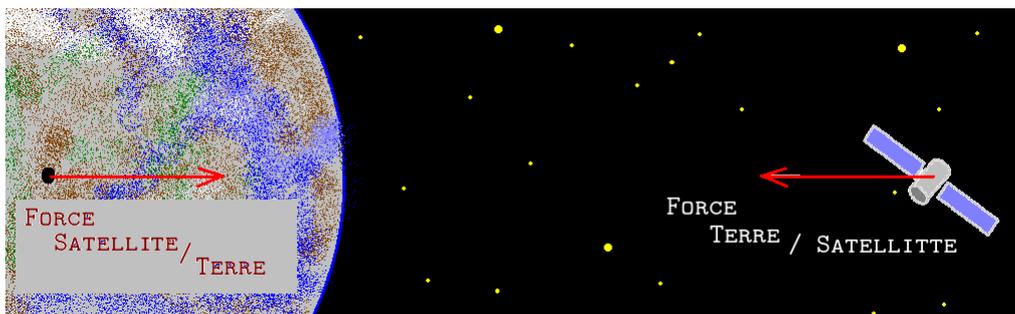


FIGURE 5.2 – La force gravitationnelle est une force à distance. La légende veut que Newton en ait eu l'idée en recevant une pomme sur la tête.

Dans le schéma ↑ le satellite "S" et la terre "♁" s'attirent mutuellement avec la même intensité de force. Cependant si vu de l'extérieur on a l'impression que seul le satellite est attiré c'est qu'il est très léger et donc la force le met facilement en mouvement alors que la terre est très très très lourde et donc elle bouge à peine. Dans la vie quotidienne cela revient (presqu') à pousser avec la même force une cuillère posée sur la table et ensuite le réfrigérateur plein : dans le premier cas la cuillère va bouger, dans le second cas il ne se passera rien.

5.2.2 Les actions mécaniques de contact

Les actions mécaniques de contact sont des actions où l'auteur de l'action touche le receveur. L'action est localisée au point de contact (ou à la surface de contact).

5.2.3 Effet des actions mécaniques

Les actions mécaniques ont deux effets sur les objets :

- Elle modifie la vitesse de l'objet (elle l'accélère ou le freine, elle le met en mouvement ou le stoppe)
- Elle modifie la direction du mouvement (si l'objet ne subit pas l'action il va en ligne droite mais l'action oblige l'objet à tourner, à être dévié ...)

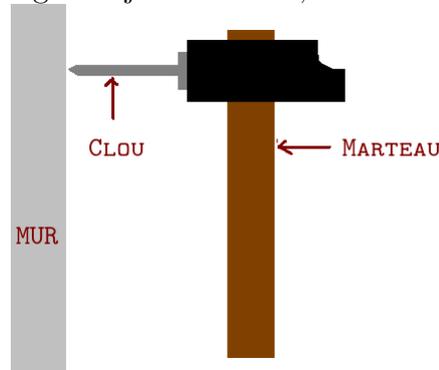


FIGURE 5.3 – savez-vous planter des clous ...

5.3 Modélisation d'une action mécanique : La Force

Pour représenter une action mécanique on utilise un objet qui permet de compresser en une seule représentation graphique les 6 éléments suivants :

- L'auteur de l'action
- Le receveur de l'action
- La direction de l'action
- Le sens de l'action
- Le point où s'applique l'action
- L'intensité de l'action.

Cet outil porte le nom de **Force**. Pour la représenter on utilise un outil venant des mathématiques à savoir *le vecteur* qui devient en sciences physiques *le vecteur force*. Lorsque la force est une force de contact on place la naissance du vecteur force au centre de la surface de contact, quand la force est une force à distance on place le vecteur soit au centre de l'objet, soit au centre de gravité de l'objet pour la gravitation et le poids.

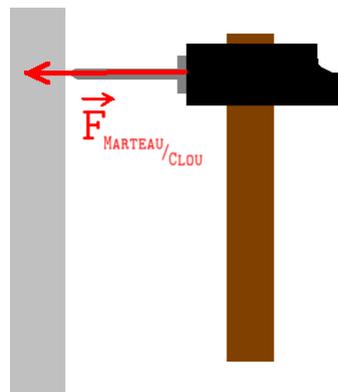


FIGURE 5.4 – savez-vous planter des clous ...

5.4 Étude d'une force à distance particulière : Le poids

Le poids est une force produite par la Terre sur tout objet qui tourne avec elle. Elle est toujours verticale, dirigée de haut vers le sol et s'applique à l'objet dans sa totalité. Pour la représenter on pose le vecteur force au centre de gravité de l'objet (G). Cette force représente l'attraction créée par la terre sur un objet à son voisinage (altitude faible).

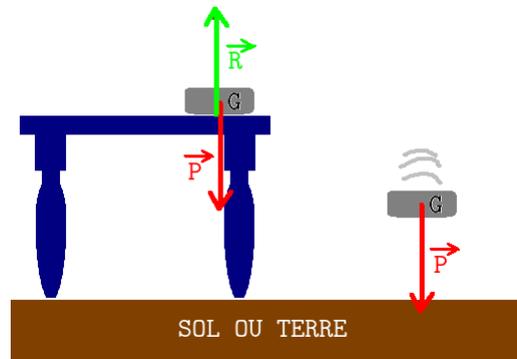


FIGURE 5.5 – Le poids attire l'objet

Dans le schéma ↑ l'objet posé sur la table est immobile¹ : l'addition des deux vecteurs s'annule alors que dans le cas de l'objet à droite il n'y a que le poids qui agisse, l'objet tombe car il est attiré par la terre.

5.4.1 La relation entre le poids d'un objet et sa masse

Lors d'une activité du cycle 4 vous avez eu à réfléchir aux raisons qui font que la fusée Ariane V est lancée depuis la base de Kourou en Guyane Française. Parmi toutes les raisons qui ont pu être trouvées en classe, l'une d'entre elles est liée à une notion simple : le poids de la fusée. Elle est " plus légère " en Guyane qu'en métropole (environ l'équivalent de 4 tonnes).

Il y a une relation de proportionnalité entre la masse d'un objet "m" en kilogramme (kg), son poids "P" en newton (N) et l'intensité de pesanteur "g" en newton-par-kilogramme (N/kg) qui est donnée par la relation suivante :

$$P = m \times g \quad (5.1)$$

Vous pouvez par exemple récupérer les résultats de cette expérience :

1. conformément à la 1ère loi de Newton l'addition des forces étant nulle $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$, l'objet est (pseudo-)isolé, son état est donc soit le repos, soit un mouvement rectiligne uniforme.

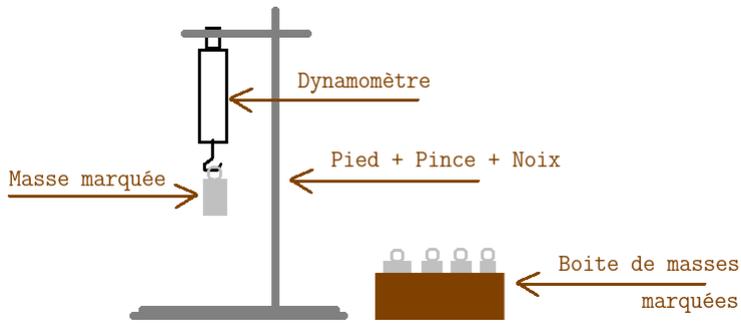
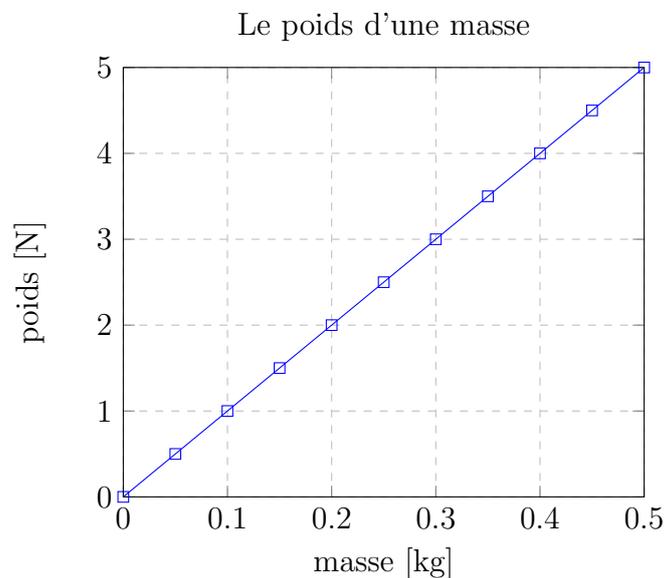


FIGURE 5.6 – Montage d'étude du poids en fonction de la masse

ce qui a permis l'obtention du tableau et du graphique correspondant qui suivent :

masse en kg	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
poids en N	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5



Comme cela se voit sur le graphique la relation est linéaire, donnant graphiquement une droite qui passe par l'origine du plan, ce qui prouve qu'il y a proportionnalité entre le poids "P" et la masse "m", autrement dit que $P = a \times m$. Ce "a" n'est autre que l'intensité de pesanteur "g".

5.4.2 Le poids n'est pas la force gravitationnelle

Si l'objet n'est pas lié à la Terre et qu'il peut se déplacer librement hors de la rotation terrestre car il est assez éloigné pour que l'altitude ne soit plus négligeable par rapport au rayon terrestre, au lieu du poids on utilisera la **force gravitationnelle dite de gravitation universelle** et découverte par Isaac Newton au XVIIIe siècle, **cette force est toujours attractive elle est égale d'un corps sur un autre et vice versa**². Si le premier objet appelé "A" possède une masse m_A et le deuxième objet appelé "B" possède une masse m_B

2. En prenant un exemple concret : la terre attire la lune tout autant que la lune attire la terre, or la terre étant un bon millions de fois plus lourde que la lune c'est la lune qui s'est mise à tourner autour de la terre et non

et que l'un et l'autre sont éloignés d'une distance d alors la force de A sur B notée $F_{A/B}$ est égale mais opposée à la force de B sur A notée $F_{B/A}$ et vaut :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = \mathcal{G} \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \quad (5.2)$$

Dans cette formule les unités sont : pour $F_{A/B} = F_{B/A}$ le newton " N ", pour \mathcal{G} il s'agit du $N \times m^2/kg^2$, pour m_A et m_B il s'agit du kg et pour d il s'agit du m.

Les deux corps s'attirant, cela fait que les étoiles (y compris notre soleil) oscillent autour de leur centre car la présence de planètes crée des centres de gravitation entre les différents corps. Cette technique est utilisée aussi pour détecter la présence d'exoplanètes.

Les forces ne sont pas les mêmes mais ... pas si loin !

Au voisinage immédiat de la terre \oplus (rayon R_{\oplus} et masse m_{\oplus} , imaginons un objet " o " de masse " m " à une hauteur " h " du sol. La formule de la force gravitationnelle s'écrit alors :

$$F_{o/\oplus} = F_{\oplus/o} = \mathcal{G} \times \frac{m \times m_{\oplus}}{(R_{\oplus} + h)^2}$$

On va supposer que " h " est très inférieur à R_{\oplus} ce qui fait que $R_{\oplus} + h \approx R_{\oplus}$ et donc l'équation précédente peut s'écrire aussi sous la forme qui suit (disons en dessous de 10 km d'altitude, ainsi on a une erreur maximale tolérée de 0,16 % :

$$F_{o/\oplus} = F_{\oplus/o} = \frac{\mathcal{G} \times m_{\oplus}}{R_{\oplus}^2} \times m$$

Vous aurez noté que cela ressemble furieusement à $P = g \times m$ si on pose comme équivalent $g = \frac{\mathcal{G} \times m_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$

Vérifions si cela colle côté valeurs numériques :

- $\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
- $m_{\oplus} = 5,9736 \times 10^{24} \approx 6 \times 10^{24} \text{ kg}$
- $R_{\oplus} = 6400 \text{ km} = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$

Saisissons les valeurs approximatives dans la formule et effectuons le calcul :

$$\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{6,4 \times 10^6{}^2} \approx 9,77$$

La valeur moyenne terrestre pour $g = 9,80$ on y est presque !

le contraire. Pareil pour la terre et le soleil : ils s'attirent autant l'un que l'autre mais le soleil étant beaucoup plus massif il ne bouge quasiment pas par rapport à la terre, par contre la terre s'est mise en mouvement à cause de cette attraction gravitationnelle.

Troisième partie

L'énergie et ses transformations

Chapitre 6

Les circuits électriques

Les circuits électriques sont omniprésents dans la vie de tous les jours (quasiment tout fonctionne désormais avec la "fée électricité"¹), avant de sortir du collège vous avez au moins à comprendre comment ils fonctionnent car cela fait partie de votre environnement. Dans cet objectif il est indispensable de comprendre des schémas électriques simples, savoir les lire et pouvoir comparer cela à ce que vous voyez dans la vie réelle. Confronter un ensemble de câbles et de fils à un schéma, et surtout par dessus tout comprendre qu'il y a des règles de sécurité à respecter pour votre bien et celui des appareils.

6.1 Les symboles électriques élémentaires

Au collège vous avez vu les symboles électriques suivants (qui selon les besoins peuvent être dessinés horizontalement ou verticalement). Dans la jungle des composants électriques et électroniques il y a une famille de composants qui a été utilisée pour la quasi-totalité des circuits électriques qui ont été vus au cycle 4, ce sont les dipôles.

Un dipôle est un composant électrique ou électronique qui se branche par 2 extrémités.

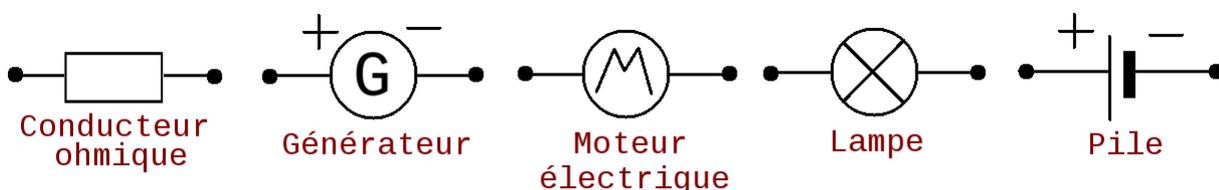


FIGURE 6.1 – Quelques symboles électriques, partie 1

Voici quelques symboles électriques avant et après ce texte. Ici les points noirs représentent les extrémités des dipôles.

1. L'expression "La fée Électricité" provient d'une série de tableaux de Raoul Dufy peints en 1937, elle se compose de 250 panneaux commandés par la mairie de Paris. Ces tableaux montraient l'utilisation faite de l'électricité pour améliorer la vie des habitant·e-s et des travailleurs et travailleuses. Cette expression a été forgée depuis ces tableaux.

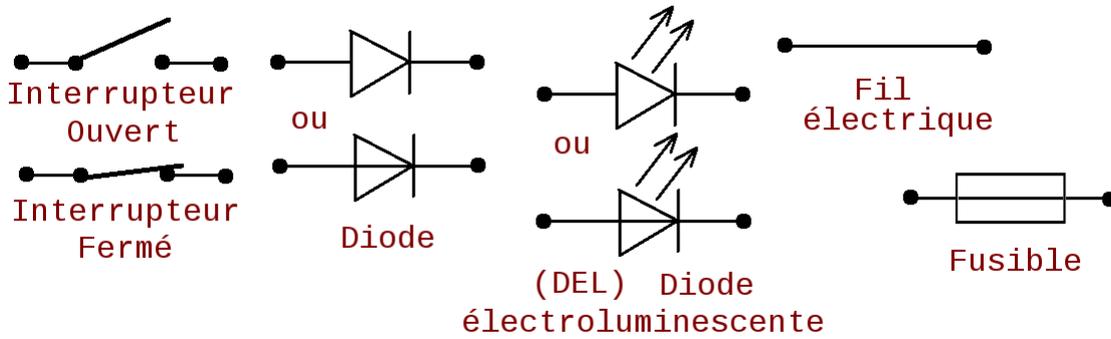


FIGURE 6.2 – Quelques symboles électriques, partie 2

Pourquoi utilise-t-on des symboles? Tout simplement car pour communiquer simplement entre électricien·ne·s et ingénieur·e·s dans le monde entier on apprend les mêmes symboles et ainsi la langue n'est plus un obstacle.

Un dessin n'est pas un schéma! L'image qui suit ↓ montre à gauche un dessin de circuit électrique et à droite son schéma, vous aurez remarqué que dans le schéma il n'y a que des symboles électriques.



FIGURE 6.3 – Dessin à gauche contre schéma à droite.

6.2 Les circuits électriques en série et leurs propriétés qualitatives

Les prochains paragraphes vont analyser ce qu'est un circuit en série et leurs propriétés lorsque des événements s'y déroulent. Dans les dessins et schémas qui suivent je prendrai quelques libertés avec les symboles afin de montrer visuellement des informations et leur état (allumé·e, éteint·e, fonctionnement normal, plus fort, plus faible ...)

6.2.1 Le circuit en série

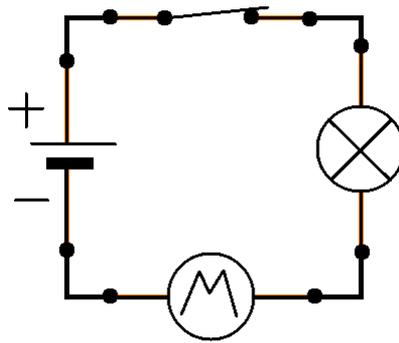
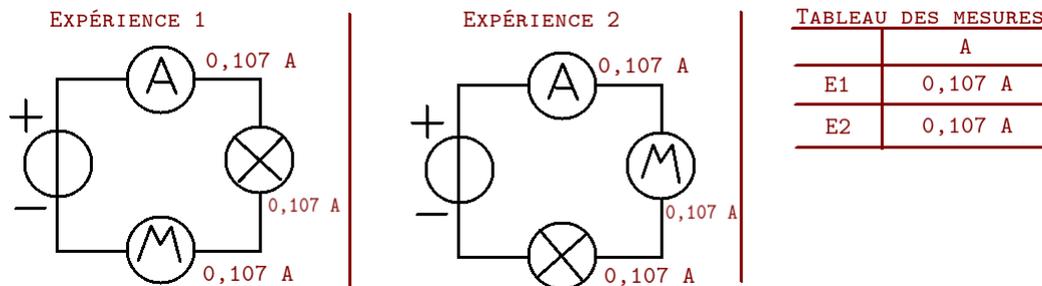


FIGURE 6.4 – Un exemple de circuit en série avec 4 composants électriques

Un circuit électrique en série est un circuit qui forme une seule et unique boucle. Tous les composants sont des dipôles et ils sont branchés à la queue-leu-leu². Le tout forme une chaîne de composants électriques.

6.2.2 L'influence de la permutation d'un dipôle par un autre dans un circuit en série

Voici une petite expérience où on remplace deux dipôles l'un par l'autre :



Ce qui est observé c'est que d'inverser le moteur et la lampe ne change rien : la lampe brille tout autant et le moteur électrique tourne aussi vite, l'ampèremètre mesure la même intensité du courant électrique également ce qui confirme les observations de fonctionnement des deux dipôles.

Dans un circuit en série la permutation de deux dipôles n'entraîne aucune modification du comportement des dipôles.

2. La " queue-leu-leu " désignait auparavant un jeu issu du moyen âge où les gens se tiennent les uns aux autres formant une chaîne linéaire. Le " leu " est le terme du vieux François désignant le loup. Le plus connu des leus est Ysengrin le lou qui apparaît dans le roman de Renard roman du moyen-âge où le héros était un goupil (ancien nom d'un renard) appelé Renard.

6.2.3 L'influence d'un dipôle qui grille dans un circuit en série

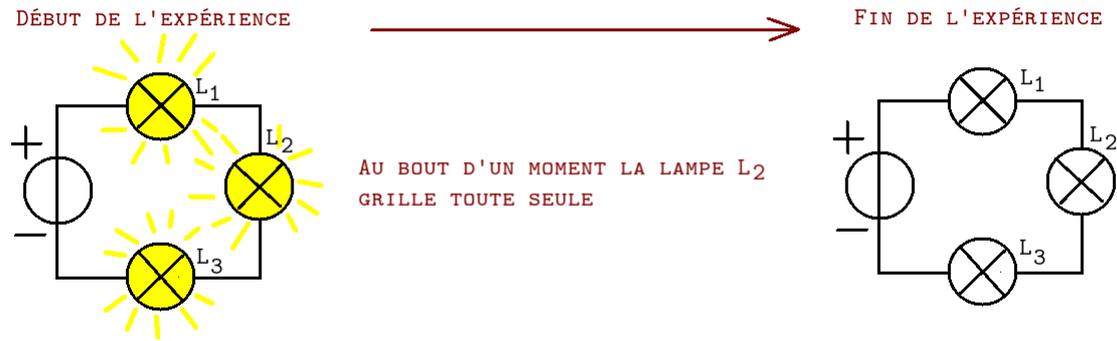


FIGURE 6.5 – Dipôle qui grille dans un circuit en série

Afin de procéder à une expérience similaire on va simuler une lampe grillée dans le même circuit, pour cela on la dévisse un peu jusqu'à ce qu'elle s'éteigne.

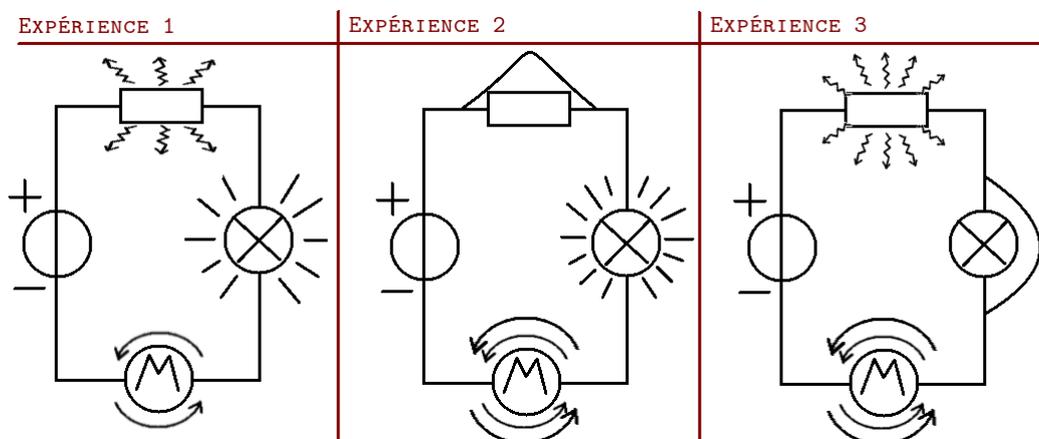
observation :

- si le dipôle L_1 grille, tout s'arrête dans le circuit.
- si le dipôle L_2 grille, tout s'arrête dans le circuit aussi.

Conclusion : si un dipôle grille dans un circuit en série, tous cessent de fonctionner.

6.2.4 L'influence d'un dipôle qui est mis en court-circuit dans un circuit en série

Voici un schéma d'expériences, la situation du départ où tout fonctionne est l'expérience 1. On passe ensuite de 1 à 2 puis de 1 à 3.



Dans l'expérience ↑ le circuit de l'expérience 1 (un conducteur ohmique qui irradie de la chaleur en fonctionnant, une lampe qui brille et un moteur qui tourne le tout branché en série

aux bornes d'un générateur de tension et d'intensité continues) on procède à deux expériences : 1er temps c'est le conducteur ohmique qui est court-circuité, 2nd temps c'est la lampe qui est mise en court-circuit.

observation :

- si le dipôle 1 est mis en court-circuit, il s'arrête de fonctionner par contre les autres sont encore en train de fonctionner et fonctionnent un peu plus fort : le conducteur ohmique n'irradie plus, la lampe brille plus fort (plus de traits autour d'elle) et le moteur tourne plus vite (4 flèches courbées au lieu de 2).
- si le dipôle 2 est mis en court-circuit, il s'arrête de fonctionner par contre les autres sont encore en train de fonctionner et fonctionnent un peu plus fort : le conducteur ohmique passe de 6 à 10 flèches irradiantes il chauffe donc plus, la lampe est éteinte et le moteur est lui passé de 2 à 4 flèches courbes donc tourne plus vite.

Conclusion : si un dipôle est en court-circuit dans un circuit en série, il cesse de fonctionner et les autres fonctionnent plus fort. Attention cependant : si les autres dipôles fonctionnant encore reçoivent trop de courant électrique (donc trop d'énergie électrique) alors ils vont griller !

6.3 Les circuits électriques en dérivation et leurs propriétés

6.3.1 Le circuit en dérivation

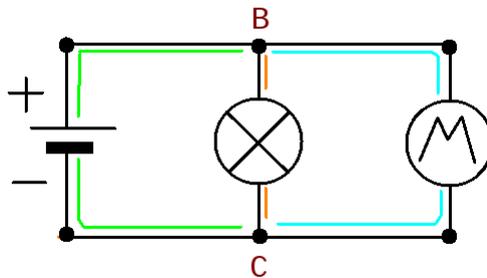


FIGURE 6.6 – Un circuit en dérivation élémentaire, ses deux nœuds et ses trois branches.

Vocabulaire :

noeud Un noeud est un point du circuit électrique où sont branchés au même endroit 3 fils ou plus. Dans le circuit de la figure 6.3.1 les noeuds sont les points B et C car au point B il y a 3 fils qui sont branchés ensemble et dans le point C il y a aussi 3 fils électriques.

branches une branche est un morceau de circuit électrique compris entre 2 noeuds. Dans le circuit de la figure 6.3.1 il y a la branche "verte" la branche "orange" et la branche "bleu cyan".

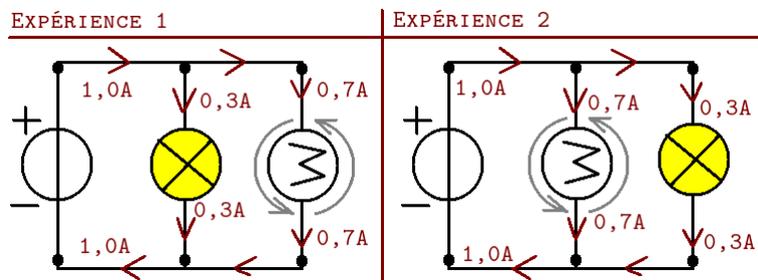
branche principale la branche principale est la branche d'un circuit en dérivation où il y a le générateur (au sens large). Dans le circuit de la figure 6.3.1 c'est la branche verte.

branche dérivée la branche dérivée est une branche d'un circuit en dérivation où il n'y a pas le générateur. Dans le circuit de la figure 6.3.1 ce sont les branches orange et bleu cyan.

boucle Une boucle est l'union de 2 branches reliées ensemble. Dans le circuit de la figure 6.3.1 on voit trois boucles la verte + orange, la verte + bleu cyan et l'organe + bleu cyan.

6.3.2 L'influence de la permutation d'un dipôle par un autre dans un circuit en dérivation

Voici une petite expérience où on remplace deux dipôles l'un par l'autre :



Ce qui est observé c'est que d'inverser le moteur et la lampe ne change rien : la lampe brille tout autant et le moteur électrique tourne aussi vite. Vous aurez aussi remarqué que l'intensité délivrée par le générateur est de 1,0 A dans les 2 expériences et que chaque dipôle a bien sa propre intensité qu'il soit près du générateur ou plus éloigné (à savoir 0,3 A pour la lampe et 0,7 A pour le moteur électrique)

Dans un circuit en dérivation la permutation de deux dipôles n'entraîne aucune modification du comportement des dipôles.

6.3.3 L'influence d'un dipôle qui grille dans le circuit en dérivation

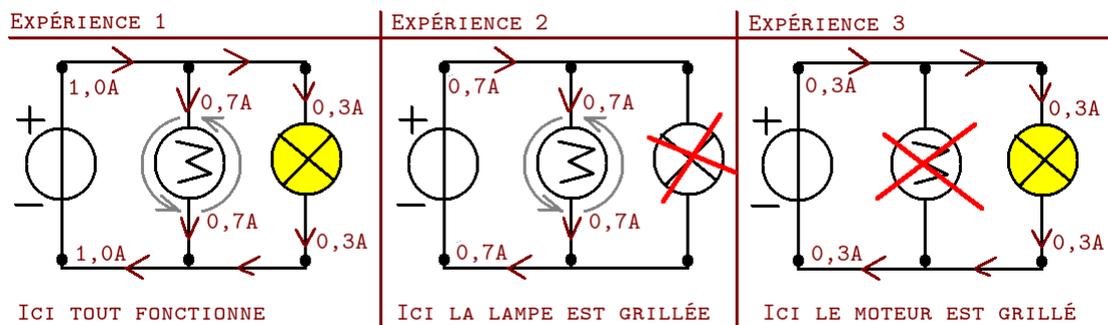
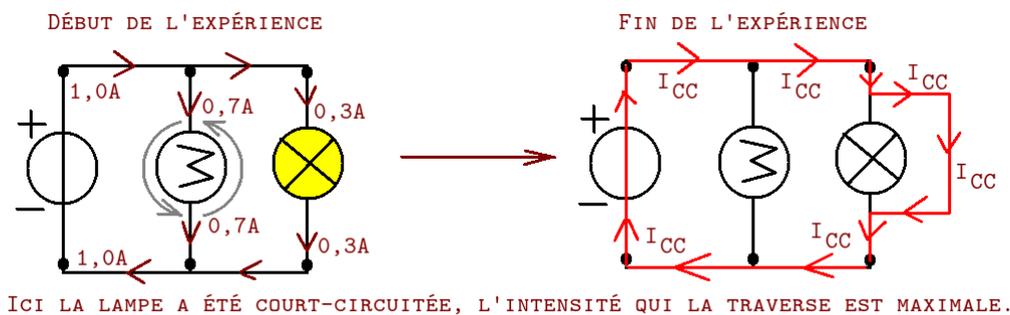


FIGURE 6.7 – Dipôle qui grille dans un circuit en dérivation.

Ici vous aurez remarqué bien sûr que lorsqu'un dipôle grille il n'y a plus de courant électrique (donc une intensité nulle, c'est à dire 0 A) ce qui fait que je ne l'ai pas dessiné (et les flèches le représentant ont été retirées). Dans le cas d'un tel circuit vous voyez que chaque dipôle ayant sa propre intensité c'est le générateur qui va s'adapter à ce qui lui est branché dessus (et qui fonctionne).

Si un dipôle grille dans un circuit en dérivation alors il s'arrête de fonctionner mais les autres continuent à fonctionner et fonctionnent un peu plus fort.

6.3.4 L'influence d'un dipôle qui est mis en court-circuit dans le circuit en dérivation



On voit ici que le fait de mettre en court-circuit un dipôle revient à tous les mettre en court-circuit et à relier le " + " et le " - " du générateur ce qui est dangereux car la pile fournit alors le maximum de courant qu'elle est capable de fournir (voir le fonctionnement de la pile 6.6.2) ce qui est noté dans le schéma I_{CC} et peut faire fondre les fils si c'est trop important (c'est pour cela que les fils où passe le courant électrique sont alors dessinés en rouge).

Si un dipôle est court-circuité dans un circuit en dérivation alors tout dans ce circuit est mis en court-circuit y compris le générateur. ATTENTION CELA EST DANGEREUX.

6.4 Le courant électrique et son intensité

Les prochains paragraphes traitent du courant électrique qui est l'une des grandes découvertes du XIXe siècle. Y sera aussi traitée l'intensité du courant électrique.

6.4.1 Le courant électrique

Dès qu'un circuit est fermé et que les dipôles semblent fonctionner cela signifie qu'un courant électrique a été établi dans le circuit électrique. L'information (le courant qui se met en marche) va très vite, de l'ordre de 175000 km/s. Le déplacement des particules quant à lui est de quelques centimètres par heure.

Le courant est formé de particules qui sont suivant le milieu :

- des électrons dans les solides conducteurs (comme les métaux ou le carbone).
- des ions dans les solutions ioniques

Au cours du cycle 4 il est vu que le courant électrique a un sens de déplacement :

Le courant électrique (conventionnel) va du pôle positif du générateur jusqu'au pôle négatif en traversant les dipôles³.

Le courant électrique réel est le déplacement des électrons qui vont du pôle négatif vers le pôle positif en traversant aussi tous les dipôles du circuit.

6.4.2 L'intensité du courant électrique

On peut pas mesurer le courant électrique. Cependant on peut mesurer la quantité de charge électrique venant du courant électrique qui circule par seconde en un point donné du circuit, cela s'appelle **l'intensité du courant électrique**.

L'intensité du courant électrique est le débit de courant électrique qui circule en un point du circuit. L'unité de l'intensité du courant est l'ampère (symbole d'ampère : A). On note par habitude l'intensité du courant électrique " I ".

unité		A		mA		μ A
-------	--	---	--	----	--	---------

TABLE 6.1 – multiples et sous-multiples de l'ampère.

unité	symbole de l'unité	puissance de 10	facteur de conversion
kiloampère	kA	10^3	1 kA = 1 000 A
ampère	A	1	N/A
milliampère	mA	10^{-3}	1 A = 1 000 mA
microampère	μ A	10^{-6}	1 A = 1 000 000 μ A

TABLE 6.2 – Tableau des facteurs de conversion entre unités de l'intensité

hors programme mais pour celles et ceux qui s'en sentent capables ... L'intensité du courant électrique est le débit de la charge électrique "Q" circulant en un point du circuit par seconde, autrement dit $I = \frac{Q}{t}$ avec "Q" en Coulomb (voir 1.1.1) "t" en seconde et "I" en ampère.

3. Dans cette définition le courant est conventionnel car il s'agit d'une convention, le sens de circulation du courant électrique ayant été posé bien avant la découverte des électrons.

Branchement de l'ampèremètre pour mesurer une intensité Comme le montre l'image ↓ on branche un ampèremètre en l'insérant dans le circuit électrique. Si bien que l'ampèremètre est traversé par le même courant que les dipôles qui sont dans son prolongement. C'est une utilisation délicate : si trop de courant traverse l'ampèremètre car vous avez choisi un calibre trop faible alors l'appareil (du moins son fusible interne) est grillé, l'appareil devient inutilisable jusqu'à remplacement du dit fusible.

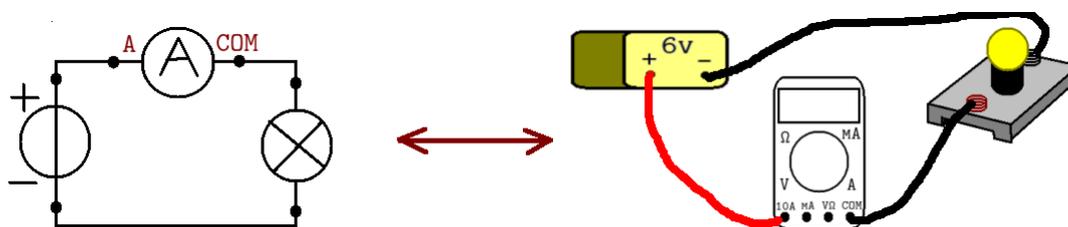


FIGURE 6.8 – Méthode de branchement d'un ampèremètre

Comment faire pour choisir le bon calibre ? Assez facile en fait : commencez toujours par le plus gros calibre (*si l'appareil grille avec le plus gros calibre il aurait grillé avec tous les autres*) lisez l'indication. Convertissez dans l'unité des calibres plus faibles (celle du calibre suivant suffit) et regardez si vous pouvez l'utiliser. La règle est simple : **un calibre est toujours supérieur à la valeur lue**. car un calibre représente le maximum que va pouvoir lire l'appareil. Au passage, si le calibre n'est plus dans la même unité (typiquement A ↔ mA) alors il faudra changer de borne de connexion entre A et mA.

Les appareils modernes n'ont plus cette notion de calibre, il suffit de brancher et c'est l'appareil qui choisit le calibre le plus adapté pour afficher la mesure la plus précise. Notez cependant que ces appareils ultramodernes sont un peu plus perturbants pour le circuit, un vieil appareil analogique est parfois plus précis !

6.4.3 La loi d'unicité du courant électrique

Comment fonctionne l'intensité du courant électrique dans un circuit en série ? C'est par la prochaine expérience qu'on pourra la savoir, et pour cela on commence par construire le circuit suivant :

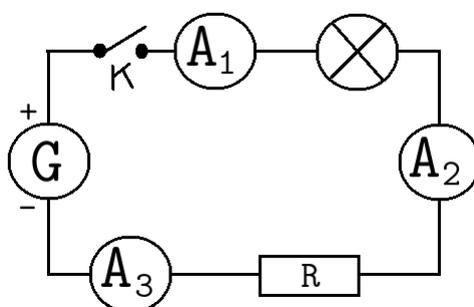


FIGURE 6.9 – Montage d'intensité dans un circuit en série.

En regardant les résultats :

Intensité	I_1	I_2	I_3	Position de K
valeur mesurée	0,343 A	0,343 A	0,343 A	K fermé
valeur mesurée	0 A	0 A	0 A	K ouvert

TABLE 6.3 – Mesures d'intensité dans un circuit en série.

Observation : L'intensité I_1 , I_2 et I_3 sont identiques.

Interprétation : Le courant électrique n'a qu'un seul chemin à traverser, il n'a pas le choix, chaque dipôle laisse donc passer le courant électrique sans le modifier car les valeurs sont pareilles aux différents points de mesure.

Conclusion : Loi d'unicité du courant électrique.

Dans un circuit électrique l'intensité du courant électrique est la même partout.⁴

6.4.4 La loi des noeuds ou loi d'addition des courants électriques

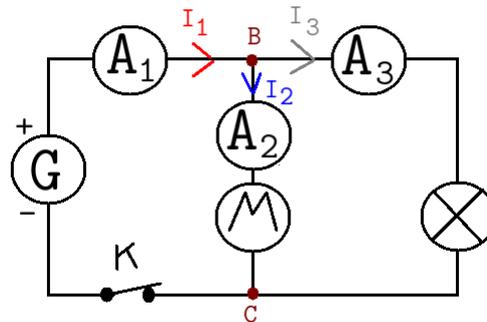


FIGURE 6.10 – Montage pour l'étude de la loi des noeuds.

En regardant les résultats :

Intensité	I_1	I_2	I_3	Position de K
valeur mesurée	0,570 A	0,310 A	0,260 A	K fermé
valeur mesurée	0 A	0 A	0 A	K ouvert

TABLE 6.4 – Mesures d'intensité dans un circuit en série.

Posons un peu de vocabulaire désormais :

- **Un noeud** est un point du circuit où se croisent au moins 3 fils, ici les points B et C sont les deux noeuds du circuit.

4. Heureusement que cette loi existe, car l'ampèremètre est branché en série dans le circuit, autrement dit il est traversé par le même courant que les dipôles qui sont sur la même branche que lui ! Si ce n'était pas le cas alors l'ampèremètre ne pourrait pas mesurer l'intensité du courant électrique du dipôle près de lui.

- **Une branche principale** est une portion de circuit contenant le générateur et comprise entre deux noeuds.
- **Une branche dérivée** est une portion de circuit ne contenant pas le générateur et comprise entre deux noeuds.
- **Un courant entrant** est un courant électrique qui entre dans un noeud.
- **Un courant sortant** est un courant électrique qui sort d'un noeud.

Avec ce nouveau vocabulaire regardons plus en détail les différents courants d'intensité I_1 , I_2 et I_3 au voisinage du noeud "B" :

- I_1 est l'intensité du courant électrique *dans la branche principale* et c'est un *courant entrant* du noeud B.
- I_2 est l'intensité du courant électrique *dans une des branches dérivées* et c'est un *courant sortant* du noeud B.
- I_3 est l'intensité du courant électrique *dans une des branches dérivées* et c'est un *courant sortant* du noeud B.

En ajoutant les deux courants entrants on obtient $I_2 + I_3 = 0,310 + 0,260 = 0,570$ or ... $0,750 = I_1$! **En conclusion on retrouve que :** $I_1 = I_2 + I_3$, autrement dit l'intensité qui rentre dans le noeud B à savoir I_1 vaut l'addition des courants électriques qui sortent du noeud $I_2 + I_3$. C'est la manifestation dans ce circuit de la loi **loi des noeuds** ou loi d'addition des courants électriques :

Dans un noeud l'addition des intensités des courants électriques entrant dans un noeud est égale à l'addition des intensités des courants électriques sortant du noeud.

Vous aurez remarqué qu'il s'agit (encore) d'une loi de conservation — mais cette fois ci c'est l'intensité du courant électrique qui est conservée au passage à travers un noeud.

6.5 La tension électrique

La tension électrique est une grandeur physique qui donne la différence d'état électrique entre 2 endroits d'un circuit électrique. La tension électrique est notée "U". La tension électrique entre le point X du circuit et le point Y du circuit est notée U_{XY} . L'unité de la tension électrique est le volt⁵ (symbole : V). La tension électrique est mesurée à l'aide d'un voltmètre branché en dérivation sur les points de mesure du circuit.

Voici un tableau d'unités :

...	kV			V		m V	...
-----	----	--	--	---	--	-----	-----

TABLE 6.5 – Tableau de quelques unités de tension électrique.

Voici comment brancher le voltmètre dans le circuit pour mesurer la tension entre les points

5. Le volt est l'unité donnée en l'honneur du savant italien Alessandro Volta, créateur en 1800 de la première pile électrique au monde dite pile Voltaïque.

B et C de ce circuit.

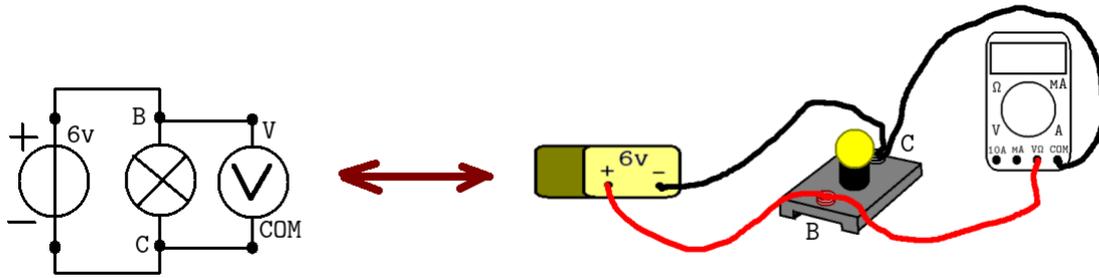


FIGURE 6.11 – Comment brancher un voltmètre.

Une propriété de la tension électrique intéressante : $U_{PN} = -U_{NP}$.

Note : Aux cycles 3 et 4 la tension sera toujours positive (donc elle peut être aussi nulle), par contre aux cycles suivants les tensions peuvent être aussi négatives.

6.5.1 Hors programme : Le potentiel électrique.

C'est une grandeur physique qui donne l'état électrique d'un point de l'espace, le potentiel électrique est noté "V". L'unité du potentiel électrique est le volt (symbole : V). C'est en mesurant la différence de potentiel électrique entre deux points de l'espace qu'on mesure la tension électrique du paragraphe 6.5.

Grâce à la notion de potentiel électrique on peut redéfinir facilement la tension électrique de la sorte : $U_{XY} = V_X - V_Y$. **Par convention dans les circuits électriques le pôle négatif, de la masse ou de la terre a une valeur de potentiel électrique nulle.**

6.5.2 La tension électrique pour deux dipôles en dérivation (ou plus)

Voici un circuit électrique simple composé d'un générateur de 6 Volts branché en dérivation à une lampe fonctionnant normalement avec 5,5 Volts elle même en dérivation avec un conducteur ohmique de résistance R qui vaut 220Ω

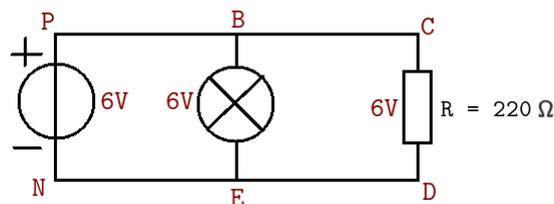


FIGURE 6.12 – Tensions dans un circuit en dérivation illustrant la loi d'égalité des tensions.

Pour des raisons qui seront vue au paragraphe suivant (6.5.3) on verra pourquoi nous allons éliminer la mesure de la tension des fils électriques. Concentrons nous donc sur les mesures des

tensions des dipôles (si les appareils sont branchés car si les appareils ne sont pas branchés c'est assez simple : tout vaut 0 Volt).

tension électrique	U_{PN}	U_{BE}	U_{CD}
valeur mesurée	6 V	6 V	6 V

TABLE 6.6 – Exemple de mesures de tensions électriques dans un circuit électrique en dérivation.

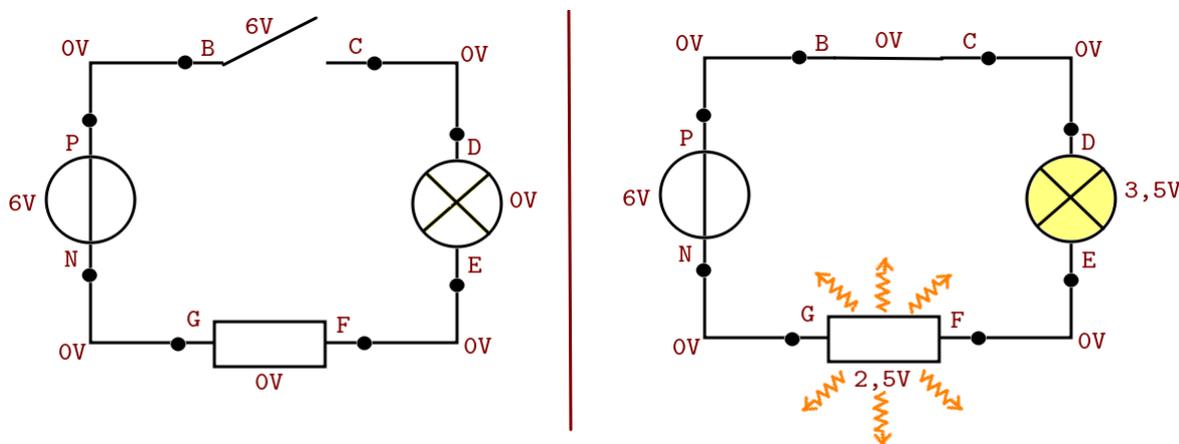
Que voyons-nous dans ces mesures ?

Les trois dipôles (générateur, lampe, conducteur ohmique) sont branchés en dérivation les uns des autres, quant à leurs valeurs elles sont égales. C'est la manifestation dans ce circuit de la loi d'égalité des tensions électriques :

Loi d'égalité des tensions : Lorsque deux dipôles sont en dérivation alors la tension électrique à leurs bornes est identique.⁶

6.5.3 La tension électrique dans un circuit en série

Voici un circuit électrique en série assez simple, il se compose d'un générateur de tension continue à 6 Volts, d'un interrupteur, d'une lampe fonctionnant en 3,5 Volts, d'un conducteur ohmique et de fils électriques. Ils sont reliés de la façon décrite dans le schéma qui suit :



C'EST LE JEU DES DIFFÉRENCES, REGARDEZ CE QUI CHANGE ENTRE LE CIRCUIT DE GAUCHE OÙ L'INTERRUPTEUR EST OUVERT ET LE CIRCUIT DE DROITE OÙ L'INTERRUPTEUR EST FERMÉ.

FIGURE 6.13 – Circuit en série ouvert et fermé avec tensions électriques

Regardez les deux circuits électriques ↑, c'est le même circuit en série à une différence près : à gauche il est ouvert et à droite il est fermé. Regardez les différences entre les tensions entre le circuit de gauche et le circuit de droite, regardez aussi les points communs.

Voici des résultats obtenus pendant une expérience en classe avec un groupe d'élèves de 4e :

6. Heureusement que cette loi existe ! En effet le voltmètre est branché en dérivation du dipôle dont la tension est mesurée, si cette loi était fautive alors le voltmètre ne donnerait pas la même valeur que la tension mesurée !

Tension électrique	U_{PN}	U_{PB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FG}	U_{GN}
En circuit ouvert	6 V	0 V	6 V	0 V	0 V	0 V	0 V	0 V
En circuit fermé	6 V	0 V	0 V	0 V	3,5 V	0 V	2,5 V	0 V

TABLE 6.7 – Des mesures de tension électrique continue dans un circuit en série.

Quels enseignements tirer ?

1 : La tension d'un fil électrique Si vous regardez attentivement les tensions U_{PB} , U_{CD} , U_{EF} et U_{GN} (à savoir les fils électriques) en circuit ouvert et fermé, leur tension est toujours nulle (égale à 0 V). C'est une des propriétés des " petits " fils électriques (moins de 5 mètres en gros).

Un fil électrique parcouru ou non par du courant et une tension électriques n'a pas de tension électrique à ses extrémités (ou bornes).

2 : La tension d'un interrupteur L'interrupteur est un cas intéressant car en circuit ouvert (rien ne fonctionne) il a une tension électrique (qui est ici égale à celle du générateur) mais en circuit fermé sa tension est nulle (ce qui est logique car un interrupteur fermé est un petit morceau de ... fil électrique!)

Un interrupteur a une tension nulle à ses bornes s'il est fermé et une tension non nulle à ses bornes s'il est ouvert.

3 : la loi d'addition des tensions Que voit-on dans ce circuit électrique ? Pour analyser les résultats je vais séparer les tensions en 2 groupes : celle du générateur dans un groupe car le générateur est un dipôle actif, et toutes les autres tensions électriques dans un autre groupe car ce sont des dipôles passifs.

- Lorsque le circuit électrique est ouvert : La tension du générateur U_{PN} vaut 6 V, l'addition de toutes les autres tensions vaut 6 V ($0 + 6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 6$).
- Lorsque le circuit électrique est fermé : La tension du générateur U_{PN} vaut 6 V, l'addition des autres tensions vaut 6V ($0 + 6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 6$) aussi.

En conclusion, la tension du générateur vaut l'addition des autres tensions que le circuit soit ouvert ou fermé, c'est la manifestation dans ce circuit de la loi d'addition des tensions *ou loi d'additivité des tensions* dans un circuit électrique :

Loi d'addition des tensions : dans un circuit électrique la tension électrique du générateur est égale à l'addition des tensions des dipôles en parcourant le circuit du pôle positif au pôle négatif.

6.5.4 Adapter un dipôle : tension et intensité de fonctionnement

Chaque dipôle est fabriqué en usine pour correspondre à des conditions de fonctionnement précise, à savoir une intensité et une tension précises pour une puissance de fonctionnement également précise.

6.6 Les conducteurs ohmiques

Les conducteurs ohmiques sont des conducteurs obéissant à la loi d'ohm. Ce sont des dipôles de forme cylindrique. Sur le corps du cylindre sont dessinés 4 ou 5 anneaux qui sont un code permettant d'avoir des informations sur ce conducteur ohmique et qui s'appelle le code des couleurs.

6.6.1 Résistance d'un conducteur ohmique

Chaque conducteur ohmique possède une résistance qui freine le passage du courant. **La résistance d'un conducteur ohmique, notée "R" est une grandeur physique qui se mesure avec un ohmmètre, l'unité de la résistance est le ohm dont le symbole est Ω .**

Il existe bien évidemment plusieurs unités multiples du Ω :

Unité	Symbole	Facteur de conversion
Mégohm	$M\Omega$	$1 M\Omega = 10^6 \Omega$
kilohm	$k\Omega$	$1 k\Omega = 10^3 \Omega$
ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \Omega$

TABLE 6.8 – Multiples de l'unité ohm Ω

Mesurer une résistance Pour mesurer la résistance d'un conducteur ohmique on utilise un ohmmètre qui est relié par ses bornes Ω et *COM* directement sur les bornes du conducteur ohmique seul (il ne doit pas être relié au circuit sinon la mesure est faussée).

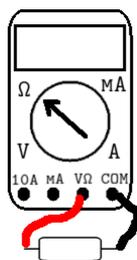


FIGURE 6.14 – Mesure directe d'une résistance de conducteur ohmique.

Le code des couleurs Le code des couleurs est un moyen rapide, quand il est connu, de repérer un conducteur ohmique avec la valeur de la résistance souhaitée. Ce n'est pas la valeur exacte de la résistance, celle-ci s'obtient comme au paragraphe précédent 6.6.1 mais cela donne, au milieu d'une boîte où tout est mélangé, un avantage pour choisir LE conducteur ohmique avec LA bonne résistance.

chiffre	0	1	2	3	4
couleur	noir	marron	rouge	orange	jaune
chiffre	5	6	7	8	9
couleur	vert	bleu	violet	gris	blanc

TABLE 6.9 – code des couleurs, signification des couleurs

Position de l'anneau	1re position	2e position	3e position	4e position
Signification	chiffre de dizaine	chiffre d'unité	puissance de 10	% d'erreur

TABLE 6.10 – code des couleurs, signification des anneaux

Exemple : Imaginez une résistance $R_1 = -[\text{Marron, Noir, Rouge, Doré}]$ – Quelle est sa résistance théorique ? Avec le code des couleurs elle a pouvoir être calculée :

Anneau	Marron (1er)	Noir (2e)	Rouge (3e)	Doré (4e)
Chiffres	1	0	2	$\pm 5 \%$
Calculs	1	0	$\times 10^2$	$\pm 5 \%$
	1	0	00	$\pm 5 \%$

TABLE 6.11 – Un exemple de calcul de résistance par le code des couleurs 1000 Ω

donc la valeur de la résistance est $R_1 = 1\,000\,\Omega \pm 5\%$.

6.6.2 Loi d'ohm pour un conducteur ohmique

La loi d'ohm pour un conducteur ohmique est la loi qui relie ensemble les trois grandeurs que sont la tension électrique U (qui doit être en volt), l'intensité du courant électrique I (qui doit être en ampère) et la résistance d'un conducteur ohmique (qui doit être en ohm). Cette relation est très simple et vaut :

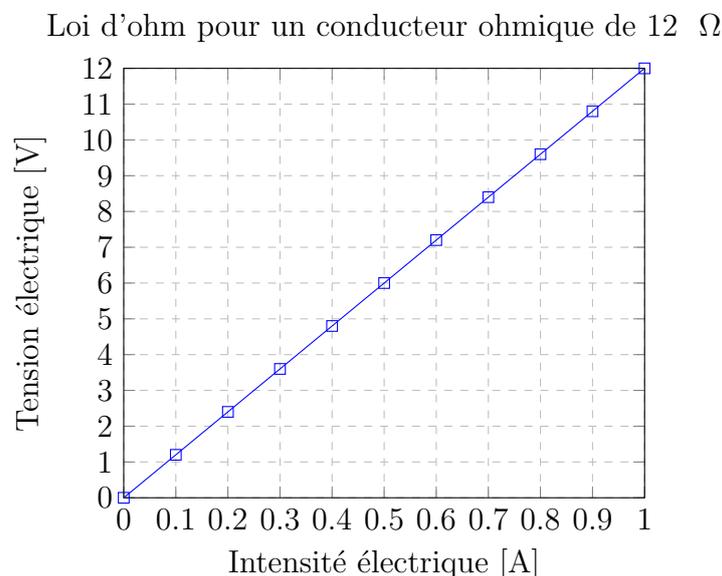
$$U_{\text{en } V} = R_{\text{en } \Omega} \times I_{\text{en } A} \quad (6.1)$$

En prenant une série de mesures :

intensité (A)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
tension (V)	0	1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12

TABLE 6.12 – Résultats expérimentaux Loi d'ohm pour un conducteur ohmique $R = 12\Omega$.

On obtiendra le graphique suivant :



Vous aurez bien sûr remarqué que cela forme une droite passant par l'origine du plan – croisement en $(0;0)$ – ce qui en classe de 4e a été interprété comme une situation de proportionnalité et en 3e aura été assimilé à une représentation graphique de fonction linéaire.

La proportionnalité de U et de I se retrouve aussi en ajoutant une 3e ligne au tableau des mesures, ligne contenant le rapport de U par I c'est à dire $\frac{U}{I}$:

intensité (A)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
tension (V)	0	1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12
$\frac{U}{I}$	impossible	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

TABLE 6.13 – Mesures expérimentales loi d'ohm pour un conducteur ohmique

Cette dernière ligne est utile pour 2 choses, la première est de voir que la fraction $\frac{0}{0}$ n'existe pas et en effet **il est impossible de diviser par zéro** dans les nombres réels. Effectuez ce calcul sur votre calculatrice et observez ce qu'elle affiche ce sera sans doute un **Math Error** qui indique donc une erreur mathématique. La seconde chose qui sera vu est que les autres rapports (hormis pour 0) sont tous égaux, ce qui corrobore bien la proportionnalité entre U et I .

Hors Programme : Le fonctionnement d'une pile

Une pile (ou générateur électrochimique) fonctionne comme cela est vu plus loin (ajouter le lien) comme un transformateur d'énergie transformant l'énergie libérée lors d'une transforma-

tion chimique à l'intérieur en énergie électrique. Cependant (et dans le cas "parfait") il existe un lien entre la tension électrique aux bornes de la pile " U ", l'intensité du courant électrique qu'elle envoie " I " et sa petite résistance interne (car oui l'intérieur d'une pile se comporte comme un petit conducteur ohmique) notée " r ", on appellera U_0 la tension maximale de cette pile (lorsque rien n'est branché dessus sauf le voltmètre pour faire la mesure).

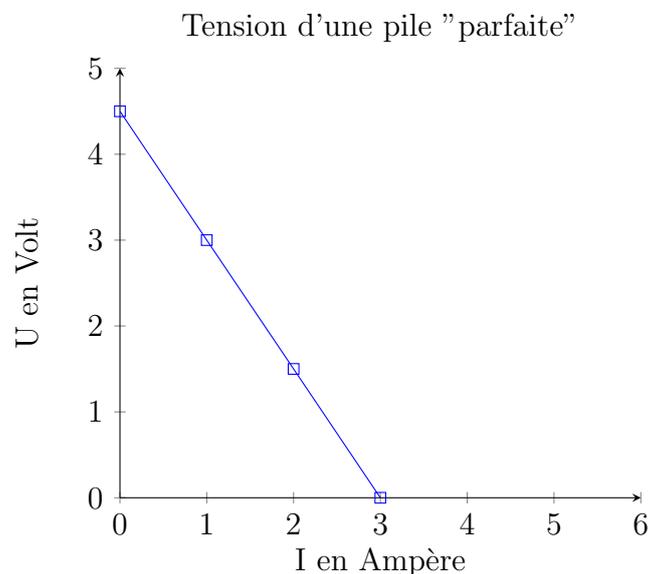
Cette relation est du style $U = U_0 - (r \times I)$. Votre œil exercé d'élève de fin de 3e aura sans doute reconnu l'expression mathématique d'une fonction affine type $f(x) = A + B \times x$.

On voit alors qu'il est possible d'atteindre une valeur maximale de l'intensité du courant électrique où la tension est nulle (c'est le point de croisement entre le segment de droite bleu et l'axe horizontal correspondant à une tension nulle $U = 0 \text{ V}$), ce point de croisement d'intensité maximale correspond alors à la résolution de cette équation :

$$\begin{aligned}
 U = 0 \text{ V} &= U_0 - r \times I_{CC} \\
 0 &= U_0 - r \times I_{CC} \\
 -U_0 &= -r \times I_{CC} \\
 U_0 &= r \times I_{CC} \\
 \frac{U_0}{r} &= I_{CC}
 \end{aligned}
 \tag{6.2}$$

C'est à dire à une valeur $I_{CC} = \frac{U_0}{r}$.

Voici le graphique obtenu avec $U_0 = 4,5 \text{ V}$ et $r = 1,2 \Omega$.



Hors programme : Calculer un point de fonctionnement par la loi de Pouillet

Si vous vous sentez d'attaque allons plus loin, il est possible, si on connaît parfaitement chaque dipôle utilisé dans un dispositif de calculer à l'avance le point de fonctionnement d'un

Hors programme : Association en série de 2 conducteurs ohmiques

Cette situation n'est pas étudiée en cours dans le cycle 4 mais apparaît parfois au détour d'un exercice et de façon détournée. Si je prends un peu de place ici pour vous la montrer c'est aussi pour vous dire que les théorèmes, les lois et les propriétés vues dans d'autres sous-parties des cours peuvent aider à montrer de nouvelles propriétés, et que c'est *aussi* quelque chose qu'on vous demandera par la suite.

Autre raison de sa présence : dans la vie réelle, un·e électronicien·ne aura besoin parfois d'associer en série des composants électroniques car dans ce qui est à disposition rien ne convient tel quel !

Dans cette section je vous propose de démontrer que vaut la valeurs d'un conducteur ohmique global formé de deux conducteurs ohmiques associés en série (par exemple : un conducteur $R_1 = 1000\Omega$ et un conducteur ohmique $R_2 = 457\Omega$ équivaut à une résistance globale équivalente appelée " R_S " de combien ?

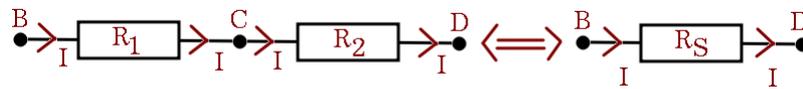


FIGURE 6.15 – Association de R_1 et R_2 donnant une résistance équivalent R_S .

D'abord vérifions quelles sont les notions et les données nécessaires à la résolution de ce problème. Les dipôles étant associés en série, cela va se comporter comme un morceau de circuit en série, et bien sûr ce sont des conducteurs ohmiques dont la loi d'ohm risque d'être très utile aussi.

1. Loi d'unicité du courant électrique dans un circuit en série : l'intensité I est toujours la même du début à la fin $I_1 = I_2 = I_3 = \dots$
2. Loi d'additivité des tensions électriques dans un circuit en série : la tension globale est l'addition des tensions individuelles $U_{AB} + U_{BC} = U_{AC}$
3. La loi d'ohm : $U = R \times I$

Procédons à la démonstration puis au résultat final : nous avons déjà cela :

$$\begin{aligned}
 U_{BD} &= R_S \times I \quad \text{mais aussi :} \\
 U_{BD} &= U_{BC} + U_{CD} \\
 \text{or pour chaque tension } U_{BC} \text{ et } U_{CD} \\
 U_{BC} &= R_1 \times I \quad \text{et} \\
 U_{CD} &= R_2 \times I
 \end{aligned}$$

On peut donc réécrire $U_{BD} = U_{BC} + U_{CD}$ de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 U_{BD} &= U_{BC} + U_{CD} \\
 R_S \times I &= R_1 \times I + R_2 \times I \\
 R_S \times I &= (R_1 + R_2) \times I
 \end{aligned}$$

On peut simplifier par I des deux côtés du signe " = " en divisant tout par I et en supposant que $I \neq 0$

$$R_S = (R_1 + R_2)$$

De tous cette démonstration rigoureuse nous tirons le fait que deux conducteurs ohmiques R_1 et R_2 branchés en série l'un de l'autre se comportent comme un seul conducteur ohmique de valeur R_S dont la valeur est donnée par la relation $R_S = R_1 + R_2$. Application à notre exemple : $R_S = 1000 + 457 = 1457 \Omega$

En généralisant on pourrait écrire : $R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = \sum_{i=1}^{i=n} R_n$

Hors programme : Association en dérivation de deux conducteurs ohmiques.

Dans la même optique que ce qui a été vu précédemment, il se peut que ce soit en dérivation que doivent être associés les conducteurs ohmiques, un peu comme dans le schéma ci-après :

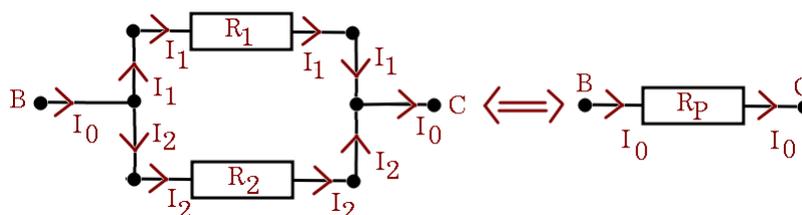


FIGURE 6.16 – Association de R_1 et R_2 donnant une résistance équivalent R_P .

Quelle valeur de résistance équivalente R_P aura-t-on dans ce cas précis? Examinons les lois et propriétés dont nous avons besoin :

1. Loi d'égalité des tensions dans un circuit en dérivation : $U_1 = U_2 = U_3 = \dots$
2. La loi des noeuds (addition des courants dans un circuit en dérivation) : $I_0 = I_1 + I_2$
3. la loi d'ohm pour un conducteur ohmique : $U = R \times I$

Dans un premier temps transformons chaque tension électrique grâce à la loi d'ohm en intensité : $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$, $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ et $I_0 = \frac{U}{R_P}$. Grâce à la loi d'égalité des tensions électriques on

peut dire que $U_1 = U_2 = U$ et donc les égalités précédentes s'écrivent aussi : $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $I_2 = \frac{U}{R_2}$
 et $I_0 = \frac{U}{R_P}$.

Utilisons la loi des noeuds et les égalités précédentes :

$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$\frac{U}{R_P} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

On simplifie par U

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

En généralisant lorsqu'il y a plus de deux conducteurs ohmiques : $\frac{1}{R_P} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_n}$ et dans
 le cas où il n'y a que 2 conducteurs ohmiques on obtient par le calcul $R_P = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

Si $R_1 = 1000 \Omega$ et si $R_2 = 457 \Omega$ alors on obtient :

$$R_P = \frac{1000 \times 457}{1000 + 457} = 313,658201784 \approx 314 \Omega$$

Chapitre 7

Produire de l'énergie

Le grand défi pour nourrir l'économie est la production d'énergie à coût le plus faible, puis, depuis quelques temps déjà de la produire de façon la moins polluante et plus écoresponsable possible. Il y a plusieurs façons de produire de l'énergie les voici dans les prochains paragraphes.

D'ailleurs levons une première ambiguïté : on ne produit pas de l'énergie nucléaire, thermique, fossile ou renouvelable, on utilise des énergies nucléaires, thermiques, fossiles ou renouvelables pour produire de l'énergie, et l'énergie la plus commune qui est demandée est l'énergie électrique.

7.1 Les différentes formes d'énergie

Même si l'énergie est une chose difficile à expliquer – chose qui ne vous est pas demandé en cycle 4 – on vous demandera par contre d'en connaître différentes formes : l'énergie peut être électrique, mécanique (cinétique ou de position), chimique, thermique, ...

7.1.1 Les piles électrochimiques : produire de l'énergie électrique à partir d'énergie chimique

Comme son nom l'indique une pile électrochimique produit de l'énergie électrique à partir d'une transformation chimique. L'énergie libérée (et les électrons libérés) lors de cette transformation chimique alimente ensuite les dipôles du circuit électrique.

La première pile électrochimique admise actuellement comme ayant été montrée académiquement est celle présentée par Alessandro Volta en 1800 devant l'académie des sciences de Paris. Cette pile fût le travail de Volta pour modéliser des observations d'un autre savant italien, Luigi Galvani, qui observa un phénomène de nature électrique dans les cuisses de grenouilles et qu'il attribua à de l'électricité animale.

Il existe depuis les années 1930 une pile plus ancienne datant du IIIe siècle avant J.C. appelée " pile électrique de Bagdad " suite à la découverte par des archéologues d'une poterie datant de cette époque dans un village près de Bagdad (en Irak) et de bijoux plaqués à sa proximité. La composition de la pile (poterie fermée par du bitume, tige en fer, cylindre en cuivre) suppose

bien une pile mais aucune trace d'un électrolyte interne (substance acide ou très saumurée) ce qui indique que ce n'est pas en tant que fournisseur d'énergie qu'elle devait être utilisée.

En effet, la composition et les bijoux trouvés près de l'objet indiqueraient un usage en orfèvrerie pour plaquer des objets avec de l'argent, tout comme Galvani au XVIII^e siècle c'était une pile sans le savoir ! (ou peut être que oui mais aucun écrit trouvé non plus pour l'attester).

Une pile électrochimique a besoin de 3 éléments spécifiques pour fonctionner : une solution électrolytique (pure ou un mélange de solutions électrolytiques) très chargée en ions (et de préférence un peu acide ce qui est encore mieux), un métal (qui sera sacrifié car il va peu à peu disparaître tandis que la pile va fonctionner) et un autre métal différent du premier (qui lui restera).

La pile suivante, dite pile de (John) Daniell¹ date de 1836. Elle est très visuelle (d'où le fait qu'on l'étudie) et se compose de 2 métaux : du métal zinc (de couleurs gris, qui va disparaître), du métal cuivre (orange pour le métal, bleu pour les ions Cu^{2+}) et deux solutions de sulfate de cuivre II (Cu^{2+} ; SO_4^{2-}) formée par la dissolution de cristaux de sulfate de cuivre hydraté ($CuSO_4,5H_2O$) ou anhydre ($CuSO_4$) et (mais c'est optionnel) de sulfate de zinc (Zn^{2+} ; SO_4^{2-}) formée par la dissolution de cristaux blancs de sulfate de zinc ($ZnSO_4$).

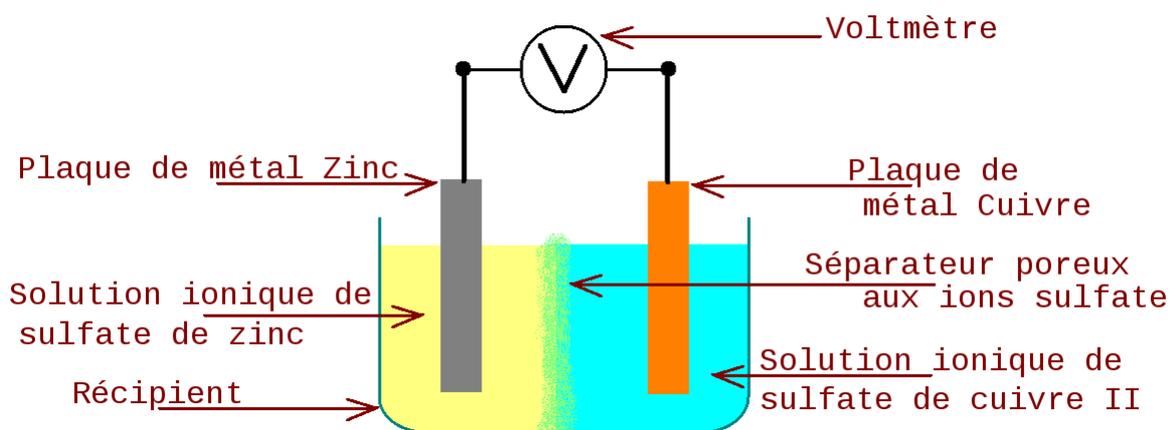


FIGURE 7.1 – La pile de Daniell, exemple de pile électrochimique

Lors de son fonctionnement la tension maximale qu'on ait pu mesurer en classe est de l'ordre de 1,24 Volt. Le pôle positif étant sur la plaque de cuivre et le pôle négatif sur la plaque de zinc. La pile lorsqu'elle fonctionne (à savoir quand elle est branchée sur un dipôle et produit donc du courant électrique) produit des électrons allant de la plaque de zinc vers la plaque de cuivre (le sens normal des électrons) et on observe la plaque de zinc se détériorer, par contre, la plaque de cuivre, quant à elle, grossit peu à peu.

1. J. Daniell bibliographie

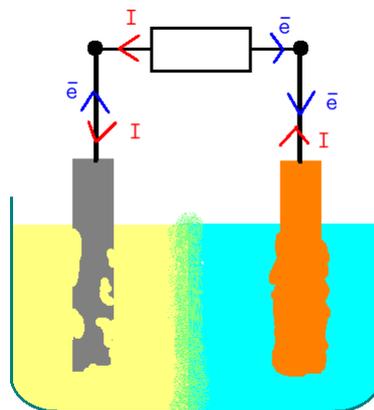


FIGURE 7.2 – La pile de Daniell un peu usagée

Remarque : Pile ou batterie ? Une batterie (ou batterie rechargeable) est une pile qui utilise une autre transformation chimique que celle des piles dites "non-rechargeables", cette transformation est réversible (elle fonctionne dans les deux sens) et on trouve aussi dans ces batteries une substance absorbant les gaz qui pourraient se produire lors de la recharge de la batterie.

7.1.2 La production d'énergie à partir de matières fossiles

Les énergies fossiles (comme on les appelle aussi) sont des énergies fabriquées à partir de matière non-renouvelable car fabriquée sur de très longues durées et qu'il est difficile d'utiliser, il s'agit généralement du charbon fossile et du pétrole (fabriqués depuis la préhistoire), et certains minéraux (uranium en particulier).

Ces énergies ont généralement des déchets polluants (que ce soit le CO_2 ou les déchets nucléaires hautement radioactifs)

Comment s'est fabriqué le charbon fossile ?

Le charbon s'est fabriqué à partir de l'ère géologique appelée Carbonifère vers -360 à -295 millions d'années. L'accumulation en présence d'un peu d'eau et à basse température dans un environnement pauvre en dioxygène provoque la carbonification des végétaux qui eux doivent être présents en grande quantité, ce phénomène conduira à la formation du charbon.

Et pour le pétrole ?

Le pétrole est une roche liquide formée de substances appelées hydrocarbures (car riches en hydrogène et en carbone) il se forme par la présence de beaucoup de matière organique (végétaux principalement), leur maturation et leur cloisonnement. Les sous-débris et débris de la biosphère (végétale, animale, eau ...) sédimente peu à peu et se trouve enfouie dans la matière minérale du sol. Pour que la maturation soit possible il faut aussi que ce soient des milieux confinés (des lacs, des lagunes par exemple) afin que, par l'action combinée d'un réchauffement climatique (tel qu'il y a pu en avoir dans la préhistoire à différents moments) fait que plus de déchets sont produits que ce milieu fermé ne peut en recycler et augmente ces sédiments.

Par enfouissement naturel (les couches de sédiments se superposent) la chaleur va s'accumuler et la pression aussi, donnant ainsi le champ libre à certaines bactéries anaérobies (c'est à dire vivant sans oxygène) de transformer ces sédiments en une substance appelée kérogène qui va se pyrolyser (détruire par la chaleur) et produire du pétrole et/ou du gaz naturel.

7.1.3 La production d'énergie à partir de sources renouvelable

Une énergie est renouvelable si elle est disponible en quantité illimitée et sur une durée gigantesque par rapport à la durée d'une vie humaine. Ces énergies sont liées au vent, au soleil ou à l'eau.

En fait on ne produit pas une énergie renouvelable mais on utilise une énergie renouvelable pour produire de l'énergie (électrique).

7.1.4 La production d'énergie à partir de carburant nucléaire

Je sépare volontairement l'énergie nucléaire des énergies fossiles bien que son carburant (l'uranium) soit un fossile en soi. Cette énergie se base sur un principe découvert grâce aux travaux de nombreux scientifiques et est une énergie qui reste ultra-controversée. Cette controverse mêle à la fois politique, états, militaires et civiles dans ce qui est sans doute l'une des conquêtes les plus importantes de l'homme, à savoir la domestication de l'énergie issue de l'atome.

De nombreux savants dont par exemple Heisenberg, Fermi, Hopenhauser, Einstein, Marie Curie etc... ont travaillé sur la radioactivité et sur l'énergie de l'atome. Le projet le plus ancien à ma connaissance est le projet Manhattan (1935 - 1945) qui avait pour but de fabriquer la première bombe atomique de l'histoire. Ce sont les japonais de la ville d'Hiroshima qui s'en rappellent encore de ce jour du 6 août 1945. La bombe A, appelée *Little Boy* a été larguée sur cette ville causant en quelques jours plus de 80000 morts.

L'histoire de l'énergie de l'atome est tout d'abord militaire, chasse gardée des états dans ce qui suit le monde post-2e guerre mondiale, mais aussi monde de la Guerre Froide telle que vous l'avez appris en histoire. Si vous avez l'occasion (1h de libre) et vos oreilles disponibles je vous conseille l'écoute du podcast sur la bombe H française disponible ici : <https://www.franceinter.fr/emissions/affaires-sensibles/affaires-sensibles-17-novembre-2016> où le 1er essai nucléaire français nom de code "Gerboise bleue" réussit, s'en suivant ensuite de nombreux essais et une histoire officielle sur comment la France a obtenu ou trouvé la bombe H (bombe à fusion ou bombe à hydrogène ou bombe thermonucléaire).

Ce premier volet militaire de l'énergie nucléaire permet aussi d'utiliser civilement et pacifiquement l'énergie nucléaire dans les réacteurs à eau pressurisée dont le premier et plus ancien sur le territoire hexagonal est le réacteur du site de Marcoule (débutant en 1956 et fermé en 1968).

La production d'énergie électrique à partir d'un carburant nucléaire se fait exclusivement dans des centrales. Les centrales utilisent toutes un des procédés détaillés dans la suite :

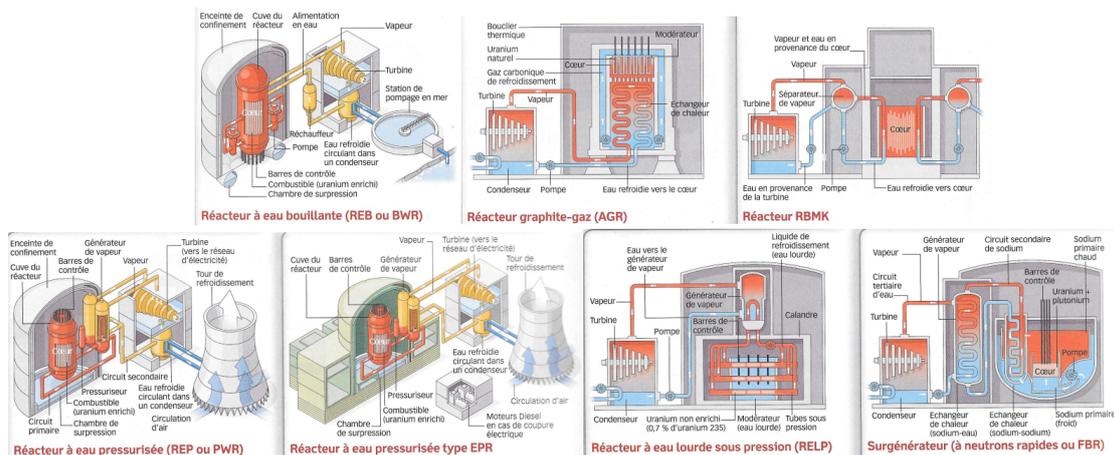


FIGURE 7.3 – Les 7 genres de réacteurs nucléaires existant dans le monde ou en construction actuellement. Source : Le point/Sciences et Vie par numérisation et recoupement.

Actuellement dans le monde on note 7 types de réacteurs :

- Le réacteur à eau bouillante (REB ou BWR en anglais) où de l'eau chauffée jusqu'à ébullition par la réaction nucléaire de l'uranium enrichi donne de la vapeur qui va ensuite directement alimenter la turbine couplée à l'alternateur pour fabriquer de l'électricité, c'est le fluide caloporteur². Cette vapeur est refroidie directement par échange thermique avec l'eau extérieure. Il n'y a pas de circuit secondaire. En avril 2011 il y avait 92 réacteurs dans le monde de ce type, dont à Fukushima-Daïchi.
- Le réacteur graphite-gaz (AGR) fonctionne avec de l'uranium faiblement enrichi, la régulation se fait par des barres de carbone graphite et le refroidissement se fait par du gaz carbonique qui va refroidir l'enceinte et les fluides. De l'eau circule dans un circuit étanche allant du cœur à la turbine puis et refroidie par un condenseur (autre circuit d'eau étanche) pour retourner dans le cœur c'est son fluide caloporteur. En 2011 18 réacteurs de ce type fonctionnaient encore, cette technologie est française et date de 1950. Elle a été remplacée par la suite par les réacteurs à Eau pressurisée.
- Le réacteur RBMK est une technologie soviétique des années 1950 a servi tout autant à fabriquer de l'électricité que du plutonium à destin militaire. La chaleur émise par la réaction nucléaire est modérée par des barres de graphite et un circuit conduit l'eau du cœur (fluide caloporteur) à la turbine avec un refroidissement par condenseur ou par air. Il n'y a pas de réelle enceinte de confinement pour protéger autour. Ce type de réacteur dont 11 exemplaires fonctionnaient encoer dans le monde en 2011 sont ceux de la célèbre centrale de Tchernobyl.
- Le réacteur à eau pressurisée (REP ou PWR en anglais) est le plus présent dans le monde avec 269 réacteurs en fonctionnement en 2011. Il utilise 3 fluides caloporteurs dans des circuits étanches. Le cœur est contrôlé par des barres de contrôle en graphite mais est modéré et refroidi par de l'eau d'un circuit primaire (donc eau très radioactive). Ce liquide est ensuite refroidi par échange thermique avec un circuit secondaire d'eau qui va se vaporiser et faire tourner la turbine. L'eau est refroidie par un 3e circuit d'eau qui lui même est refroidi par de l'air dans des tours de refroidissement.
- Le réacteur EPR est une évolution du REP afin de produire de l'énergie de la même façon que dans le REP mais avec un rendement plus élevé (en théorie 22 % en plus). Il possède en plus un récupérateur de cœur fondu (en cas de problème) et une enceinte de confinement renforcée.

2. Fluide caloporteur : C'est un fluide (liquide ou gaz) qui transporte (-porteur) de la chaleur (calo-).

- Le réacteur à eau lourde sous pression (RELAP) fonctionne avec de l'uranium naturel (donc non enrichi). Il utilise de l'eau lourde comme modérateur et comme fluide caloporteur ce qui permet de moins ralentir les neutrons libérés lors des transformations nucléaires (voir 3.3).
- Le surgénérateur (à neutrons rapides ou FBR) est un générateur de conception très différente où on ne ralentit pas les neutrons. L'énergie est telle que c'est un métal fondu (le sodium³ ou un gaz tel que l'hélium qui est utilisé comme fluide caloporteur. Cette technologie est onéreuse et compliquée à maintenir aussi actuellement ce type de surgénérateurs reste utilisé uniquement en Russie ou en Chine. La France a fait fonctionner par le passé 2 de ces générateurs : phénix et superphénix qui ont tous les deux été arrêtés.

7.1.5 L'énergie et la puissance électriques

L'énergie électrique est celle qui intéresse le plus notre monde. La quasi-totalité de ce qui vous entoure fonctionne à l'électricité (même les véhicules migrent peu à peu vers cette énergie).

L'énergie électrique provient principalement de 2 sources : l'énergie électrique du secteur (réseau électrique national) qu'on trouve dans les prises électriques, ou bien l'énergie électrique venue de batteries rechargeables ou de piles.

L'énergie électrique est mesurée en Joules, mais aussi en kilowatt x heure. Le facteur de conversion de l'un à l'autre est $1kW.h = 3,6 \times 10^6 J$.

L'énergie électrique (E en joule) dépend du temps de fonctionnement de l'appareil (t en seconde), de la tension électrique qui alimente l'appareil (U en volt) et de l'intensité du courant électrique qui a traversé l'appareil (I en ampère). Ces quatre termes sont reliés ensemble par :

$$E = U \times I \times t \quad (7.1)$$

à partir de cette équation et par analogie avec la relation de la vitesse $d = v \times t$ on va pouvoir définir une sorte de vitesse de consommation d'énergie qui s'appelle la puissance électrique, notée P et dont l'unité est le Watt⁴ (symbole W) ce qui donne la relation suivante :

$$E = P \times t \quad (7.2)$$

en écrivant les deux équations l'une à la verticale de l'autre :

$$\begin{aligned} E &= U \times I \times t \\ E &= P \times t \end{aligned}$$

3. Le sodium métallique fondu ou pas est une substance TRÈS DANGEREUSE : elle prend naturellement feu au contact de l'air et explose au contact de l'eau. Sa conservation en laboratoire demande de la rigueur et de l'attention constante, les morceaux de Sodium solide sont conservés totalement recouverts dans de l'huile de paraffine par exemple ou du pétrole liquide.)

4. Le Watt a été choisi en l'honneur de James Watt, ingénieur anglais du XVIIIe siècle qui a beaucoup oeuvré à la fabrication de machines à vapeur qui ont permis la révolution industrielle de la fin du XVIIIe et du XIXe siècle.

on associe très rapidement la puissance électrique P (en Watt), l'intensité du courant électrique I (en Ampère) et la tension électrique U (en Volt) par la relation mathématique :

$$P = U \times I \quad (7.3)$$

Notez que toutes ces grandeurs (E , P , U , I) sont écrites en majuscules car cette relation est valable pour des valeurs continues dans le temps. le temps (t) est lui écrit en minuscule car la lettre T est utilisée pour la période (une durée particulière).

7.2 L'énergie mécanique

L'énergie mécanique d'un corps est composée principalement de l'addition de ses deux énergies que sont l'énergie cinétique E_C et son énergie de position E_P . Si le système étudié ne subit aucune action extérieure ni perde par échauffement, alors son énergie mécanique est constante.

L'énergie mécanique est notée E_M et vaut $E_M = E_C + E_P$

7.2.1 L'énergie cinétique E_C

Tout objet de masse "m" (en kilogramme) et de vitesse "v" (en mètre par seconde) possède une énergie cinétique E_C (en joule) donnée et calculée par la relation suivante :

$$E_C = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

notez que cette formule est théoriquement valable pour un déplacement en ligne droite même si au niveau du cycle 4 on l'appliquera en toutes circonstances.

7.2.2 L'énergie de position / énergie potentielle E_P

L'énergie de position est L'énergie que possède un système dès qu'il est en altitude. Cette énergie dépend de 3 facteurs : la masse de l'objet " m ", la hauteur de l'objet " h " et de l'intensité de pesanteur à l'endroit où est l'objet " g ". Cette énergie notée E_P est exprimée en Joule (J).

$$E_P = m \times g \times h$$

7.2.3 Énergie cinétique et sécurité routière : La distance pour freiner.

Expliquer ce que veut dire freiner

Un obstacle apparaît sur la route, vous êtes au volant (ou au guidon) d'un véhicule et il faut choisir entre éviter l'obstacle ou freiner. C'est la seconde option qui a été la vôtre. Mais comment freine-t-on ?

D'un point de vue mécanique "freiner" veut dire passer d'une vitesse non nulle à la vitesse nulle signifiant que la voiture est arrêtée. D'un point de vue énergétique cela veut dire passer d'une énergie cinétique E_C non nulle à une énergie cinétique nulle.

Il existe plusieurs systèmes de freinage d'un véhicule : patins, disques et plaquettes, mâchoires et tambours. Pour que le freinage soit le plus efficace il faut que la roue ne se bloque pas (contrairement à bon nombre de frimeurs — pour rester poli — qui "brûlent du bitume" en faisant crisser leurs pneus sur la route et soutenant que c'est quand ça freine le mieux.

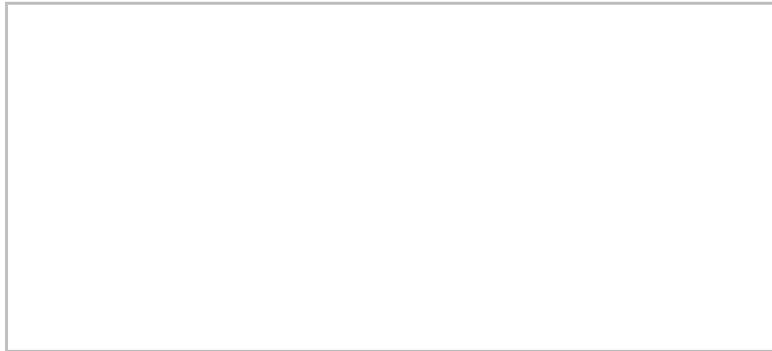


FIGURE 7.4 – Chaîne énergétique d'une plaquette de frein (ou d'un freinage par mâchoire)

La distance d'arrêt lors de cet événement (l'obstacle et la décision de freiner) se décompose en deux parties, l'une est ce qui s'appelle la distance du temps de réaction (ou distance de réaction) qui sera notée en abrégée D_R et l'autre la distance de freinage D_F . L'addition des deux donne la distance d'arrêt D_A .

$$D_A = D_R + D_F \quad (7.4)$$

Quels sont les facteurs de ces deux sous-partie ?

La distance du temps de réaction D_R est la distance correspondant à un temps de réaction moyen pour les conducteurs et conductrices de 1 seconde⁵. Ce temps de réaction est variable d'après beaucoup de facteurs liés à l'humain : le niveau d'attention qui peut être modifié par la prise de médicaments, la fatigue, un événement imprévu dans le véhicule ou à l'extérieur du véhicule générant un état de sidération, et d'autres raisons illicites entre autre au volant (alcool, drogues ...).

5. Que les petit·e·s malin·e·s relisent bien, c'est une moyenne certaines personnes réagiront plus vite, d'autres moins vite en fonction de beaucoup de facteurs.

Cette distance est estimée à la distance parcourue en 1 seconde (donc c'est super-pratique de savoir convertir les km/h en m/s!) grâce à la relation vue précédemment à savoir $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ on peut donc trouver rapidement les distances parcourues

vitesse en km/h	30	50	70	80
vitesse en m/s	8,333...	13,888...	19,444...	22,222...
D_R (1 s) en m à 0,1 m près	8,3	13,9	19,4	22,2

La distance de freinage D_F est la distance parcourue entre le moment où la pédale de frein est enfoncée et l'arrêt complet du véhicule. Il dépend de facteurs mécaniques (d'origine mécanique, environnementale, ...) il s'agit de l'état de la route et de sa composition (surface rugueuse ou glissante, \pm mouillée ou seiche, présence de neige ou de glace, état des amortisseurs, état des pneus, type de gomme ...)

Cette distance de freinage augmente comme le carré de la vitesse ...

vitesse en km/h	30	50	70	80
D_F (sol sec) approximative en m	9	25	49	64
D_F (sol humide) approximative en m	13	38	72	96

Distance de sécurité n'est pas la distance du TR ...

Chapitre 8

Les transferts d'énergie

Dans le cadre du cycle 4 vous avez à connaître le principe du transfert d'énergie et savoir analyser le comportement de tout objet servant de transformateur énergétique. Vous devez être capable de reconnaître les réservoirs d'énergie (celui qui envoie et celui qui reçoit), les formes d'énergie. Pour exprimer cela vous aurez à utiliser des chaînes d'énergie.

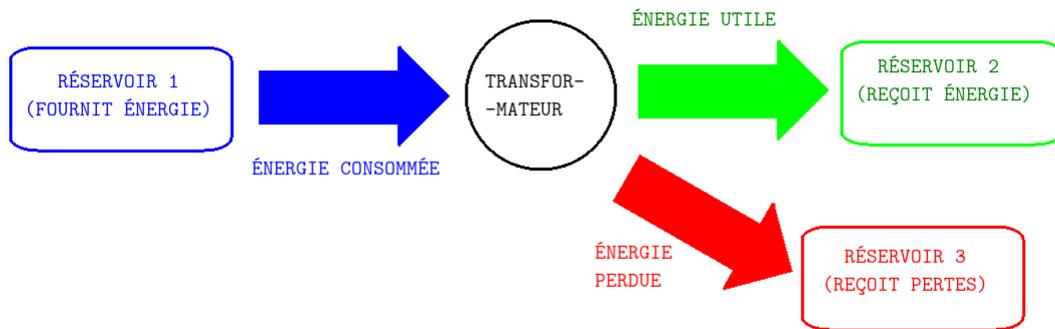


FIGURE 8.1 – Une chaîne d'énergie abstraite et réelle avec pertes.

8.1 Le rendement énergétique

Tout convertisseur énergétique transforme une forme d'énergie en une autre forme d'énergie, cependant cela ne se produit pas sans pertes. L'énergie consommée par le convertisseur sera appelée énergie reçue E_R et l'énergie fabriquée sera appelée énergie utile E_U . On pourra ainsi définir le rendement énergétique η par la relation suivante :

$$\eta = \frac{E_U}{E_R} \quad (8.1)$$

Le rendement est une valeur comprise entre 0 et 1 ce qui n'est pas forcément compréhensible pour beaucoup de gens aussi on transforme ce nombre en pourcentage via :

$$\eta_{(en\%)} = \frac{E_U}{E_R} \times 100$$

Note : les rendements sont toujours compris entre 0 et 1 (ou si vous préférez entre 0% et 100%) mais le rendement total (1 ou 100%) est rarissime.

8.2 Les piles électrochimiques

Les piles électrochimiques sont en effet un moyen de produire de l'énergie électrique mais en réalité elles puisent cette énergie à partir de produits chimiques, ce sont donc des appareils qui transfèrent de l'énergie ! La chaîne d'énergie d'un tel dispositif est la suivante :

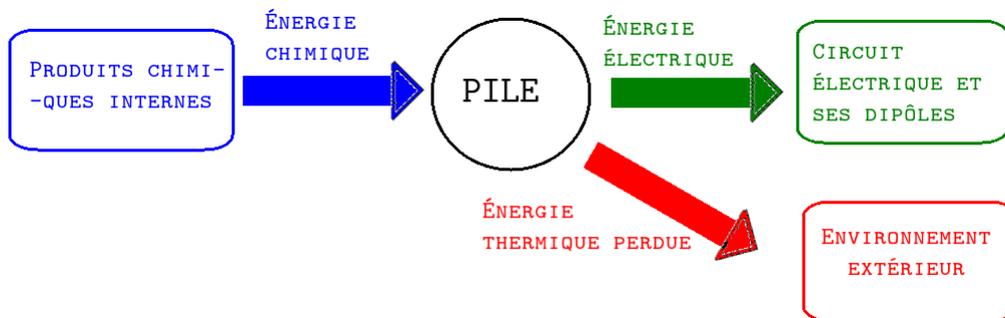


FIGURE 8.2 – Chaîne énergétique avec perte d'une pile électrochimique normale

Ce qui montre comme vous le voyez qu'une pile ne restitue jamais la totalité de l'énergie qu'elle transforme sous forme électrique.

8.3 Les centrales

Les centrales sont toutes basées sur le même système de fonctionnement : un dispositif (four pour le charbon, le pétrole ou le gaz), une cuve immergée (pour l'uranium), fournit de la chaleur, cette chaleur fait chauffer jusqu'à vapeur de l'eau (grosse vapeur) et grosse pression, qui va entraîner directement (gaz, pétrole, charbon) ou indirectement (uranium), une turbine couplée à un alternateur. Cet alternateur va produire du courant électrique alternatif qui sera ensuite amplifié grâce à des transformateurs pour être envoyé dans le réseau électrique.



FIGURE 8.3 – schéma d'une centrale thermique au charbon, gaz naturel ou pétrole. Source : Wikipedia, licence CCA, auteur : Serge Ottavia

Ci avant des photos de maquette ou de centrale thermique ou nucléaire.

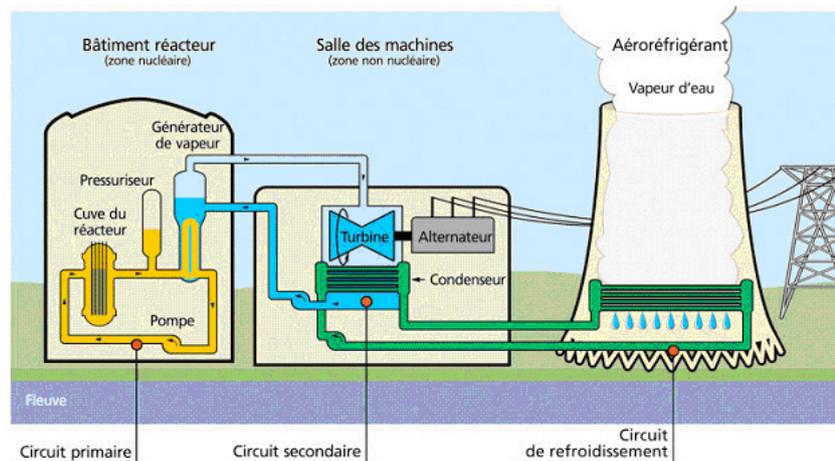


FIGURE 8.4 – schéma d'une centrale nucléaire. Source Wikipedia, auteur : EDF ?

Notez que les usines utilisant la biomasse fonctionnent sur un principe similaire, le gaz méthane utilisé pour la combustion venant de la macération de différents déchets ménagers organiques.

Ces centrales utilisent une énergie chimique qui est convertie en énergie thermique puis en énergie cinétique afin de devenir finalement une énergie électrique. Cela occasionne des pertes bien évidemment, le diagramme qui suit nous montre justement le résultat :

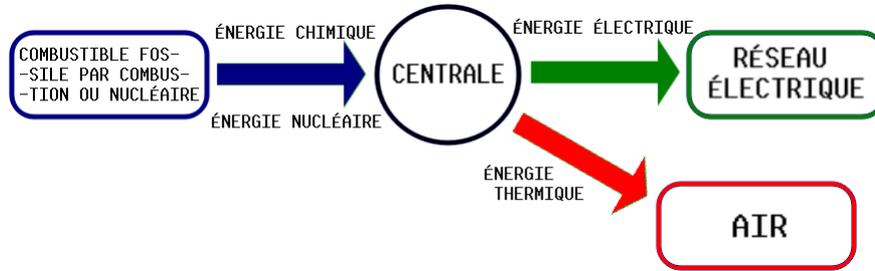


FIGURE 8.5 – Une chaîne énergétique classique pour une centrale

8.4 Les éoliennes

Les éoliennes utilisent l'énergie cinétique de l'air qui se déplace (vent) afin de mettre en mouvement les pales d'une hélice reliée à des amplificateurs de rotation et à un alternateur.

Ces éoliennes sont un dispositif intéressant car l'énergie du vent est renouvelable, mais, la construction d'éoliennes nécessite cependant de la place (elles ne peuvent pas être trop proches les unes des autres ET elles sont très grandes).

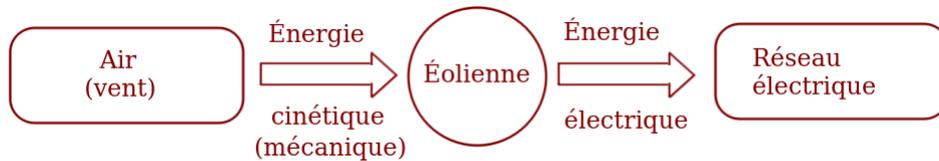


FIGURE 8.6 – Exemple de chaîne d'énergie pour une éolienne



FIGURE 8.7 – une éolienne terrestre, source wikipedia, licence CCA, auteure AnnaTallulah

8.5 Les conducteurs ohmiques et leur conversion d'énergie

L'effet Joule.

Les conducteurs ohmiques convertissent l'énergie électrique reçue de la part du générateur. Cela se produit suivant la chaîne énergétique :



FIGURE 8.8 – Chaîne d'énergie d'un conducteur ohmique

L'effet joule

L'effet joule est l'élévation de la température d'un conducteur électrique lorsque celui-ci est traversé par du courant électrique, il va échanger alors de l'énergie thermique avec l'environnement. Attention cependant : trop de courant risque de faire fondre le conducteur qui peut déclencher un incendie.

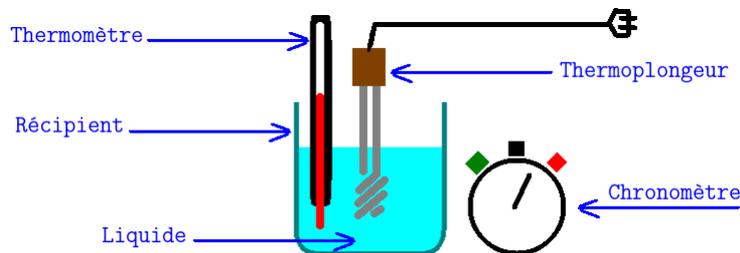


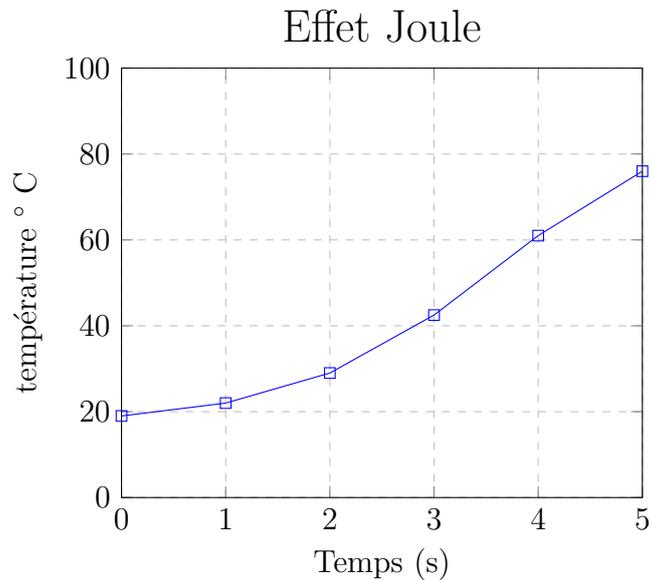
FIGURE 8.9 – Exemple d'expérience pour étudier l'effet joule.

Dans cette expérience le thermomètre peut être manuel ou électronique, mais il doit atteindre au moins les 100 °C. La résistance est en fait le thermoplongeur qui est branché sur une prise électrique murale. Le chronomètre a été dessiné analogique mais il pourrait aussi être électronique. La prise de mesures avec 0,5 L d'eau du robinet dans un récipient en verre Pyrex[©] donne les résultats du tableau de mesure qui suit pendant les 5 minutes de la durée d'expérience.

Tableau des mesures expérimentales pour un conducteur ohmique de résistance $R = 4\Omega$:

durée (min) depuis le début de l'expérience	0	1	2	3	4	5
température °C	19	22	29	42,5	61	76

TABLE 8.1 – Tableau des résultats expérimentaux d'un exemple d'effet Joule avec un conducteur ohmique de résistance $R = 4\Omega$



Exemples d'applications dans la vie courante : radiateurs électriques d'appoint, sèche-cheveux chauffant, fer-lissant, grille-pain, four électrique, fer à repasser ...

8.6 Les panneaux photovoltaïques / cellules solaires

Les panneaux photovoltaïques utilisent l'énergie lumineuse issue du soleil en énergie électrique. Ces panneaux utilisent l'effet photoélectrique¹ afin de produire une tension électrique à partir des photons² reçus du soleil.



FIGURE 8.10 – Un panneau solaire contenant des cellules photovoltaïques, source wikipedia, licence CCA, auteur Pelerin

1. L'effet photoélectrique a été découvert par Einstein et lui a valu le prix Nobel de physique en 1921.

2. La lumière est une entité physique extraordinaire, elle possède la curieuse particularité d'être à la fois une onde et une particule. Dans les études scientifiques le phénomène est appelé dualité onde-particule.

8.7 Les barrages

Les barrages convertissent l'énergie de position de l'eau en énergie cinétique dans des conduites forcées, puis en énergie électrique au moyen d'un couple turbine-alternateur.

L'eau est retenue derrière un mur (barrage) inondant malheureusement un écosystème derrière elle, afin d'accumuler assez de hauteur et donc de pression, puis, des conduits vers la base de ce mur sont ouverts ce qui fait que l'eau peut s'échapper par eux et avoir beaucoup de force pour entraîner les pales des turbines qui sont à l'intérieur faisant tourner l'axe du couple turbine-alternateur et produisant ainsi de l'électricité.



FIGURE 8.11 – Le barrage de Donzère-Mondragon, source wikipedia, licence libre, auteur Iguanobobo

8.8 Les hydroliennes

Une hydrolienne est une turbine couplée à un alternateur totalement immergés qui produit une énergie électrique à partir du courant marin et de son énergie cinétique.



FIGURE 8.12 – Différentes sortes d'hydroliennes, source wikipedia, licence CCA / Libre, auteurs sel (CCA) Feldoncommon (CCA) Frankgg (CCA) Ocean Flow Energy LTD (Libre)

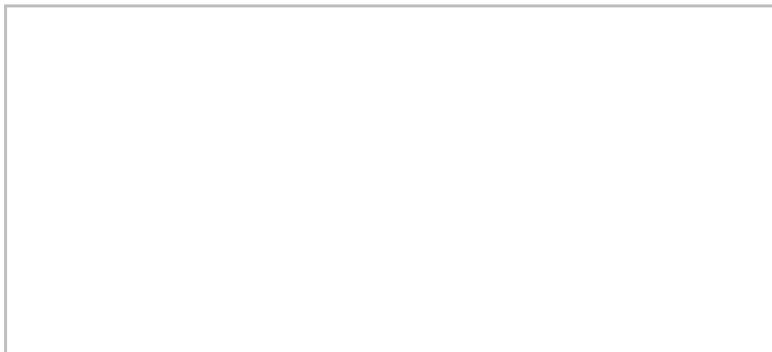
8.9 Le principe physique sous-jacent et les objets techniques insérés

Les centrales, les barrages et mes hydroliennes et les éoliennes utilisent toutes le même objet appelé turbine couplé avec un alternateur. La turbine est un objet simple : ce sont des pales accrochées perpendiculairement à un axe qui va tourner et entraîner l'objet intéressant appelé l'alternateur.

La turbine (pour faire simple) n'est qu'une hélice qui va être mise en mouvement par le fluide qui s'écoule (l'air pour les éoliennes, l'eau pour le reste), un axe va alors être partagé entre la turbine ET l'alternateur.

L'alternateur quant à lui est un moteur électrique utilisé à l'envers, l'axe (entraîné par la turbine) fait tourner un ensemble de bobines autour de lui, ces bobines sont donc en rotation dans un environnement entouré d'électroaimants. Au final à la sortie une tension électrique sinusoïdale est produite.

8.9.1 L'induction électromagnétiques



8.9.2 Le transformateur électrique et ses rôles

Un transformateur électrique transforme de l'électricité (alternative au moins, sinusoïdale c'est encore mieux) en électricité (sinusoïdale) en passant d'énergie électrique vers de l'énergie électromagnétique (magnétique) puis à nouveau à de l'énergie électrique entre un circuit entrant (circuit primaire) et un circuit sortant (circuit secondaire) isolés électriquement l'un de l'autre.

Les éléments qui comptent dans un tel circuit sont la tension du circuit primaire (entrée) u_1 , la tension du circuit secondaire (sortie) u_2 , le nombre de spires du circuit primaire N_1 et le nombre de spires du circuit secondaire N_2 . On appelle "k" le rapport $k = \frac{N_2}{N_1}$ et la tension de sortie est donnée par la relation suivante :

$$u_2 = \frac{N_2}{N_1} u_1 = k \times u_1$$

Vous aurez noté que j'ai utilisé des "u" et non des "U" car ... la tension de sortie est

sinusoïdale (donc non constante), mais au collège vous pourrez quand même utiliser un "U" quand même sans qu'on vous explique pourquoi.

Le médiateur magnétique est un circuit magnétique fermé (souvent torique) et feuilleté (afin d'éviter le phénomène des courants de Foucault³)

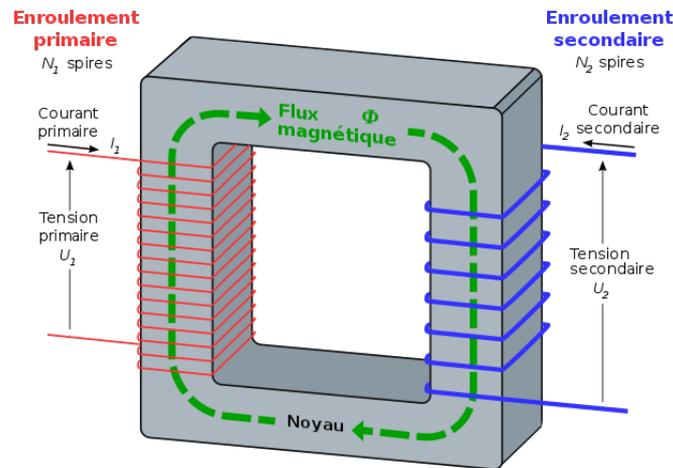


FIGURE 8.13 – Fonctionnement transformateur, source wikipedia, auteur BillC, licence CCA

Un transformateur électrique peut avoir 3 rôles suivant le bobinage des circuits primaires et secondaires⁴ :

- Il peut être élévateur de tension, dans ce cas la tension de sortie est plus élevée que celle d'entrée, $k > 1$, c'est ce qu'on retrouve à l'arrière des TV à l'ancienne (tubes cathodiques) pour alimenter ce qui s'appelle le canon à électrons, ou bien à la sortie des centrales électriques pour élever la tension avant son transport sur de longues distances
- il peut être abaisseur de tension, dans ce cas la tension de sortie est plus faible que celle d'entrée, $k < 1$, c'est le cas de la majorité des chargeurs électriques ou des blocs d'alimentation de vos ordinateurs fixes.
- il peut être isolateur de tension si le nombre est identique, ce qui est utilisé à ce moment là c'est un circuit débarrassé de la Terre du fournisseur d'énergie.

3. On appelle courants de Foucault les courants électriques créés dans une masse conductrice, soit par la variation au cours du temps d'un champ magnétique extérieur traversant ce milieu (le flux du champ à travers le milieu), soit par un déplacement de cette masse dans un champ magnétique. (Extrait de Wikipedia) Ces courants de Foucault ont des applications connues telles que le freinage électromagnétique (bus, car, camion) ou encore le chauffage par induction.

4. On retrouve la relation $\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2}{N_2}$ car le flux magnétique est ce qui est conservé

Quatrième partie

Signaux et informations

Chapitre 9

Les signaux

Si vous voulez trouver les secrets de l'univers, pensez en termes d'énergie, de fréquence, d'information et de vibration. *Nikola Tesla*.

Dans la vie de tous les jours nous utilisons des signaux pour communiquer avec la réalité qui nous entoure, ces signaux sont captés par des capteurs sensoriels naturels chez nous (nos yeux, nos oreilles, notre langue, nos narines, notre peau) et sont transmis au cerveau qui analyse ce qu'il a reçu. C'est sur ce principe que se base le film " Matrix " sorti en 1999 ? où la question est posée de savoir si une personne ferait la différence entre la réalité et la réalité virtuelle lorsque les ordinateurs du monde seront assez puissants pour pouvoir simuler entièrement au détail près la réalité (donc de la réalité virtuelle parfaite) et qu'une personne est opérée et branchée sur ces machines au moyen de prises directement reliées aux nerfs en charge de transmettre les informations électriques.

Les physiciens, chimistes et biologistes étudient des phénomènes en récupérant leurs signaux, ou utilisent des signaux pour transmettre des informations aux autres (TV, Radio, spectroscopies, IRM, scanner ...)

9.1 Les notions communes

Les prochains paragraphes expriment les notions communes aux signaux sonores et lumineux (électromagnétiques pour être plus exact). Ces notions sont valides pour tout signal qui se répète de la même façon à intervalles de temps égaux.

9.1.1 La représentation

Les ondes sonores ou les ondes lumineuses sont souvent présentées par des vaguelettes particulières appelées fonction sinusoïdales, tout comme celles de l'électricité produite par des alternateurs.

Une vaguelette d'onde est appelée aussi un motif car il se répète identique à lui même tout au long de la durée et du déplacement de cette onde.

9.1.2 La fréquence

La fréquence est le nombre de fois par seconde où un phénomène se répète. La fréquence est notée f son unité est le hertz (Hz)¹. Il existe des multiples du hertz :

unité	symbole	facteur	
hertz	Hz	1	
kilohertz	kHz	10^3	1 kHz = 1 000 Hz
Megahertz	MHz	10^6	1 MHz = 1 000 000 Hz
Gigahertz	GHz	10^9	1 GHz = 1 000 000 000 Hz
Terahertz	THz	10^{12}	1 THz = 1 000 000 000 000 Hz

TABLE 9.1 – Exemples de multiples du Hertz (Hz)

Histoire d'avoir un peu de vocabulaire en plus le tableau qui suit vous donne quelques abréviations des fréquences utilisées par les humains pour désigner des bandes de fréquences.

Abréviation	Nom de la bande	... en anglais	Fréquences de ... à ...
TLF	Terriblement basse fréquence	Temendously Low frequency	< 3 Hz
ELF	Extrêmement basse fréquence	Extremely Low frequency	3 Hz → 30 Hz
SLF	Super basse fréquence	Super Low frequency	30 Hz → 300 Hz
ULF	Ultra basse fréquence	Ultra Low Frequency	300 Hz → 3 kHz
VLF			
LF			
MF			
HF			
VHF			
UHF			

TABLE 9.2 – Les abréviations des fréquences

9.1.3 La période

La période est la durée d'un motif, c'est à dire la durée de répétition du même phénomène. L'unité est la seconde (s). Une période est notée "T" (en majuscule). Il existe une relation mathématique entre la fréquence f en hertz et la période T en seconde :

$$f = \frac{1}{T} \quad (9.1)$$

1. Si un jour vous étudiez d'anciens textes

Cette relation peut aussi s'écrire $1 = T \times f$ mais aussi de cette troisième façon :

$$T = \frac{1}{f} \quad (9.2)$$

9.1.4 hors programme : la longueur d'onde

C'est la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période. La longueur d'onde est mesurée en mètre (m) et on la note en général λ . On utilise bien sûr la relation $d = v \times t$ ce qui devient par remplacement des lettres d et t par λ et T : $\lambda = v \times T$

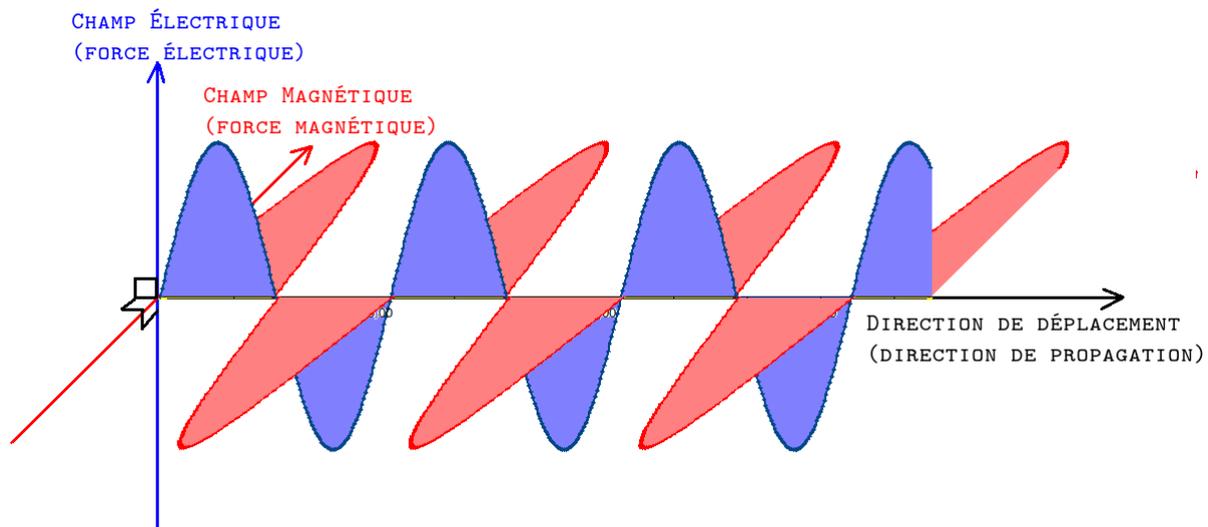


FIGURE 9.1 – Une onde électromagnétique comme la lumière

9.2 Décrire les signaux lumineux

Couleur

La couleur d'une onde lumineuse est reliée directement à la fréquence de cette onde. Même si la "lumière" n'est pas visible pour nous, sa fréquence est utilisable dans plein d'autres domaines (radio, TV, téléphonie ...)

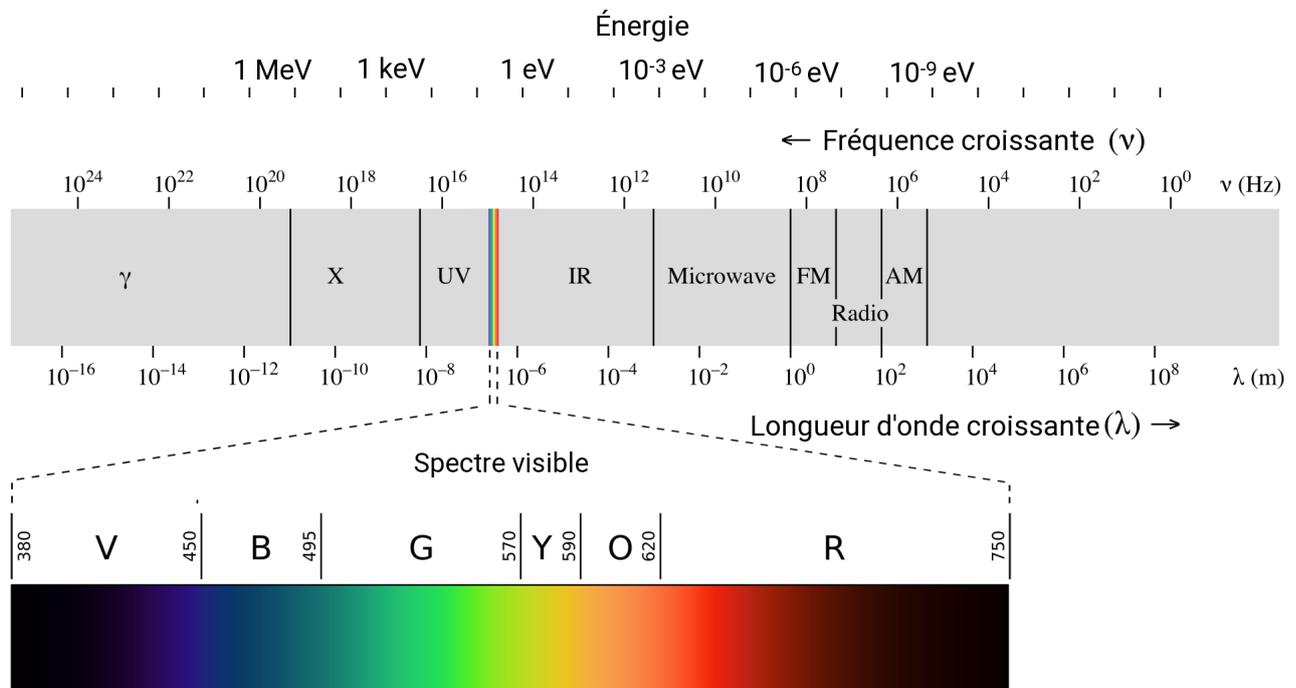


FIGURE 9.2 – Le spectre des ondes électromagnétiques et en grossissement celui des lumières visibles. Source : Philip Ronan, Gringer sous licence Creative Commons Attribution.

Intensité

L'intensité d'un signal lumineux se mesure en candela (symbole : cd). On utilise aussi l'unité appelée lumen (symbole : lm) qui mesure le flux de lumière.

Vitesse de déplacement²

Les signaux lumineux se déplacent dans le vide à la vitesse de la lumière, c'est à dire à la vitesse de **300 000 km/s** c'est à dire 300 000 000 m/s et plus exactement **299 792 458 m/s**.

9.3 Décrire les signaux sonores

Puissance / Intensité

Vitesse de déplacement

². le terme propagation n'est pas au programme même s'il est réellement plus adapté à ce qu'est une onde électromagnétique.

9.4 Utilisation de signaux lumineux pour transporter de l'information

9.4.1 Le code morse

La lumière est utilisée en alternant durées différentes d'éclairage et d'obscurité. Avec cette modulation de la lumière un code est

9.4.2 La fibre optique → alarmes optiques

9.4.3 Les spectres lumineux d'absorption et d'émission

9.4.4 Cas plus général (ondes électromagnétiques) :

Les ondes électromagnétiques sont des ondes où une pulsation électrique et une pulsation magnétique vibrent en même temps et de la même façon (elles sont en phase). La pulsation électrique (en bleu) et la pulsation magnétique (en rouge) sont perpendiculaires l'une de l'autre ET perpendiculaires l'une et l'autre par rapport à la direction où se déplace la lumière (axe noir vers la droite).

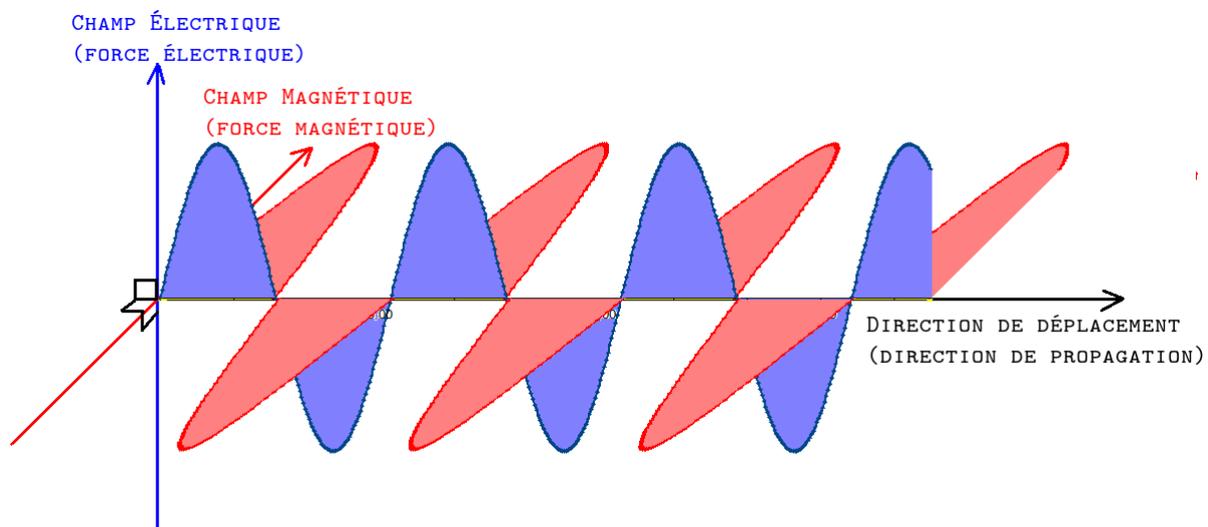


FIGURE 9.3 – Une onde électromagnétique comme la lumière (encore)

Les ondes électromagnétiques sont utilisées et présentes tout autour de vous, aussi bien quand vous écoutez la radio, que lorsque vous regardez la TV, elles sont dans le bluetooth de vos oreillettes, de vos téléphones portables, dans le DNLA qui permet à vos appareils d'afficher des documents multimedia ou encore le wifi par lequel vos appareils numériques et tablettes ou ordinateurs communiquent.

Dans d'autres domaines les ondes électromagnétiques servent aussi à faire des radio ou

9.4.5 Les ondes TV et radio

Mêmes ondes mais fréquences différentes

Les ondes radio

Les ondes radio et les ondes sont une partie de la famille des ondes électromagnétiques. Elles sont basées dans des fréquences allant de 160 kHz à 1,6 Mhz (160 000 Hz à 1 600 000 Hz) pour les "vieilles" radios à amplitude modulée (AM) ou de 88 MHz à 108 MHz (88 000 000 Hz à 108 000 000 Hz) pour la radio FM. Bien évidemment je m'arrête volontairement aux ondes "grand public" sans rentrer dans le détail des radios marines, militaires ou des transcontinentales qui sont à des fréquences différentes des gammes citées.

La radio : modulation d'amplitude

La radio : modulation de fréquence

La TV / TNT

Les ondes de communication : WiFi, Bluetooth DLNA

Les ondes lumineuse et proches

Les rayons X

Les rayons γ

Cinquième partie

Annexes

Chapitre 10

Quelques verreries vues ou utilisées lors du cycle 4

Voici quelques verreries vues lors du cycle 4.

Bestiaire des formules

Ce chapitre n'en est pas réellement un, c'est surtout un recueil de quelques formules mathématiques vues en classe au cours des 3 années du cycle 4, il est là pour éviter d'aller plus loin dans le document si cela n'est pas nécessaire.

La concentration massique " C " à partir de la masse du soluté " m_{solute} " et de la masse du solvant " $m_{solvant}$ ".

$$C = \frac{m_{solute}}{V_{solvant}} \quad (10.1)$$

La masse volumique " ρ " en fonction de la masse d'un corps pur homogène " m " et du volume " V " de ce corps pur.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10.2)$$

La vitesse " v " en fonction de la distance parcourue " d " par rapport à un référentiel fixe et de la durée du parcours " t ".

$$v = \frac{d}{t} \quad (10.3)$$

L'énergie cinétique " E_C " d'un objet de masse " m " en mouvement à la vitesse " v " par rapport à un référentiel fixe.

$$E_C = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (10.4)$$

La loi d'ohm pour un conducteur ohmique de résistance " R " avec une tension électrique " U " à ses bornes et étant traversé par une intensité du courant électrique " I ".

$$U = R \times I \quad (10.5)$$

La relation Énergie " E ", Puissance " P " et temps d'utilisation " t "

$$E = P \times t \quad (10.6)$$

La relation Puissance (électrique), tension (électrique) et intensité (du courant électrique)

$$U = R \times I \quad (10.7)$$

Liste des tableaux

1.1	Les grandeurs physiques vues ou citées au cycle 4	20
1.2	Quelques multiples de l'unité gramme.	25
1.3	Tableau montrant l'organisation des différentes unités de masse, du μg jusqu'à la t.	25
1.4	Quelques sous-multiples du Litre.	27
1.5	Quelques sous-multiples du m^3	27
1.6	Quelques exemples de conversions $^{\circ}\text{C}$ en K et en $^{\circ}\text{F}$	28
1.7	Quelques exemples de matériaux à l'épreuve de la conductivité électrique	31
1.8	Quelques mesures de la conductivité thermique vue au cycle 3	32
1.9	Quelques exemples de liquides et leur pH.	33
2.1	La carte d'identité du proton	37
2.2	La carte d'identité du neutron	38
2.3	La carte d'identité de l'électron	38
2.4	L'élément Carbone représenté par nom, symbole et modèle.	39
2.5	Tableau de quelques éléments chimiques	41
2.6	Quelques modèles moléculaires simples du cycle 4.	41
2.7	Quelques autres molécules vues en cours et / ou nocives	42
2.8	Quelques molécules chimiques et leur modèle éclaté avec différentes liaisons entre atomes. 1	42
2.9	Quelques molécules chimiques et leur modèle éclaté avec différentes liaisons entre atomes. 2	43
2.10	La molécule d'éthanol dite alcool le tueur de masse.	43

2.11	Tableau comparatif de l'atome de <i>Be</i> et de l'ion Be^{2+}	44
2.12	Quelques tests de reconnaissance d'ions	47
2.13	Tableau récapitulatif des tests des ions H^+ et HO^-	47
2.14	Les unités de masse volumique	49
2.15	Quelques puretés de l'or commercial source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage#Exemples	51
2.16	Pourcentages et composition des différents ors utilisés en bijouterie, notez que pour l'or blanc il y a un peu de palladium ajouté à l'or et à l'argent.	51
2.17	Tableau de quelques solubilités pour certaines substances usuelles.	58
2.18	Les planètes telluriques du système solaire.	67
2.19	Les planètes gazeuses du système solaire.	71
2.20	Tableau récapitulatif de la ceinture de Kuiper	72
3.1	Équilibrage de la combustion du carbone	84
3.2	Équilibrage de la combustion du méthane	85
3.3	Quelques périodes radioactives (ou demi-vies) de quelques éléments chimiques.	91
4.1	Quelques exemples de vitesses.	97
6.1	multiples et sous-multiples de l'ampère.	116
6.2	Tableau des facteurs de conversion entre unités de l'intensité	116
6.3	Mesures d'intensité dans un circuit en série.	118
6.4	Mesures d'intensité dans un circuit en série.	118
6.5	Tableau de quelques unités de tension électrique.	119
6.6	Exemple de mesures de tensions électriques dans un circuit électrique en dérivation.	121
6.7	Des mesures de tension électrique continue dans un circuit en série.	122
6.8	Multiples de l'unité ohm Ω	123
6.9	code des couleurs, signification des couleurs	124
6.10	code des couleurs, signification des anneaux	124

6.11	Un exemple de calcul de résistance par le code des couleurs 1000Ω	124
6.12	Résultats expérimentaux Loi d'ohm pour un conducteur ohmique $R = 12\Omega$	125
6.13	Mesures expérimentales loi d'ohm pour un conducteur ohmique	125
8.1	Tableau des résultats expérimentaux d'un exemple d'effet Joule avec un conducteur ohmique de résistance $R = 4\Omega$	145
9.1	Exemples de multiples du Hertz (Hz)	154
9.2	Les abréviations des fréquences	154

Table des figures

1.1	les particules dans l'état solide.	20
1.2	Les particules dans l'état liquide.	21
1.3	La surface libre du liquide toujours horizontale dans le récipient.	21
1.4	Le test de l'eau au sulfate de cuivre anhydre. Lors de ce test une solution (jaune) A sans eau ne réagit pas avec la poudre blanche/grise de sulfate de cuivre anhydre. Par contre un liquide (vert) B lui réagit. A ce moment là le sulfate de cuivre anhydre bleuit.	22
1.5	Les particules dans l'état gazeux.	22
1.6	le test du dioxyde de carbone CO_2	23
1.7	le test du dioxygène O_2	23
1.8	le test du dihydrogène H_2	24
1.9	mesurer une masse avec une balance	24
1.10	Différentes méthodes de mesure des volumes.	26
1.11	Un manomètre (1), un baromètre circulaire (2) et un baromètre de Torricelli (3).	28
1.12	Compression d'un gaz dans une seringue	29
1.13	Dilatation d'un gaz dans une seringue	30
1.14	Attractions et répulsions magnétiques	30
1.15	Schéma d'expérience de test de conductivité.	31
1.16	Une expérience de conductivité avec une bille, une bougie et de la cire.	32
1.17	l'échelle de pH dans une solution aqueuse à 25°C	33
2.1	Le domaine de l'échelle nanoscopique étudié	35

2.2	Le proton tel que vous le verrez au cycle 5 et suivants avec ses deux quarks Up et son quark Down	36
2.3	Le neutron tel que vous le verrez au cycle 5 et suivants avec ses deux quarks Down et son quark Up	37
2.4	Le tableau périodique des éléments en Juillet 2018.	39
2.5	Quelques modèles historiques de l'atome	40
2.6	Un exemple d'atome dans le modèle présenté cette année : Le Béryllium <i>Be</i> . . .	40
2.7	Expérience de conductivité pour les solutions ioniques.	45
2.8	Une expérience de migration ionique dans un tube en U.	46
2.9	Montage de test des ions.	47
2.10	L'échelle humaine en puissances de 10	48
2.11	Exemple de solution biphasé et d'émulsion non stable.	52
2.12	Exemple de montage d'une décantation.	54
2.13	Exemple de montage d'une décantation dans une ampoule à décanter.	54
2.14	Exemple de montage de filtration.	55
2.15	Exemple de montage de filtration avec Büchner. A droite l'état du filtre avant ↑ et après ↓, la trompe à vide aspirante s'active en ouvrant le robinet à fond et en créant une dépression par la rapide circulation d'eau.	55
2.16	Exemple de montage de centrifugation.	56
2.17	Montage typique d'une distillation simple.	57
2.18	Exemple de montage expérimental pour une chromatographie.	58
2.19	Exemple de résultat obtenu par chromatographie.	58
2.20	Photo de la Terre prise par la NASA, le fond noir autour de la terre a été retiré. . .	59
2.21	Photos de la lune et de sa "face cachée" / site Wikipedia + NASA	60
2.22	Les phases de la lune et la position des 3 objets célestes à chaque fois. Source " Looxix " adaptée de Bloody-libu de Wikipedia/Phases Lunaire sous licence Creative Commons Attribution.	61
2.23	Une éclipse de soleil, les rayons lumineux et les différents jeux d'ombres.	62

2.24 la lune photographiée à différentes étapes de son éclipse, travail de Bertrand GRONDIN disponible sur wikipedia/Éclipse lunaire, licence Creative Commons Attribution	62
2.25 Le positionnement du soleil, de la terre et de la lune.	63
2.26 L'évolution de notre soleil / wikipedia-wikicommons / licence libre.	64
2.27 Source : Nasa/JPL, licence libre	65
2.28 Planète vénus en couleurs réelles, source Nasa/JPL, licence libre	66
2.29 Mars prise par la sonde Viking 1 en 1980, source Nasa, licence libre.	67
2.30 La planète Jupiter. Source : Nasa/JPL	69
2.31 Structure interne de Saturne, source wikipedia : planète saturne, licence CCA, auteur " Kelvinsong ".	69
2.32 La planète saturne, photo par la sonde cassini, source Nasa/JPL	70
2.33 Photo d'Uranus par la sonde Voyager 2, source Nasa.	70
2.34 Planète Neptune, source Nasa, licence libre	71
2.35 Le nuage d'Oort au delà de la ceinture de Kuiper. Cette photo provient de Wikipedia / NASA et donc n'est soumise à aucune restriction d'utilisation.	73
2.36 Buzz l'éclair ... vers l'infini et au delà!	73
2.37 Une photo de la sonde spatiale voyager II	74
2.38 L'échelle galactique en puissance de 10.	75
2.39 Une photo de galaxie spirale semblable à celle de la voie lactée prise par la NASA	76
2.40 Le big bang et l'expansion de l'univers.	77
3.1 Diagramme des différentes transformations physiques et de leur sens.	80
3.2 Expérience montrant la conservation de la masse lors d'une transformation physique.	80
3.3 Expérience montrant la non-conservation du volume lors d'une transformation physique.	81
3.4 Image du triangle de feu.	83
3.5 La transformation d'oxydation du fer par le dioxygène de l'air et sa catalyse par présence de chlorure de sodium.	87
3.6 L'élément uranium, un élément radioactif naturel.	90

3.7	L'élément plutonium, un élément radioactif naturel.	90
4.1	Exemple de mouvement d'une voiture (système) par rapport à une pierre ou à la route (référentiels).	95
4.2	Un exemple de chronophotographie décrivant un mouvement.	96
4.3	Dans cette figure est étudié le point à l'extrémité du pare-brise (croix bleue) et en reliant toutes les positions où cette croix est passée on obtient un tracé bleu, ce tracé est la trajectoire du point lors du mouvement.	96
4.4	Le chronodessin d'un mouvement rectiligne.	97
4.5	Le mouvement d'une hélice d'un avion est hélicoïdal.	99
4.6	Un extrait d'interstellar (2014) avec une scène d'abordage vue sous un angle (vers 2h00min du film)	99
4.7	Un extrait d'interstellar (2014) avec une scène d'abordage vue sous un autre angle (vers 2h00min du film)	100
5.1	La navette spatiale, source : Nasa.	101
5.2	La force gravitationnelle est une force à distance. La légende veut que Newton en ait eu l'idée en recevant une pomme sur la tête.	102
5.3	savez-vous planter des clous	103
5.4	savez-vous planter des clous	103
5.5	Le poids attire l'objet	104
5.6	Montage d'étude du poids en fonction de la masse	105
6.1	Quelques symboles électriques, partie 1	109
6.2	Quelques symboles électriques, partie 2	110
6.3	Dessin à gauche contre schéma à droite.	110
6.4	Un exemple de circuit en série avec 4 composants électriques	111
6.5	Dipôle qui grille dans un circuit en série	112
6.6	Un circuit en dérivation élémentaire, ses deux noeuds et ses trois branches.	113
6.7	Dipôle qui grille dans un circuit en dérivation.	114
6.8	Méthode de branchement d'un ampèremètre	117

6.9	Montage d'intensité dans un circuit en série.	117
6.10	Montage pour l'étude de la loi des noeuds.	118
6.11	Comment brancher un voltmètre.	120
6.12	Tensions dans un circuit en dérivation illustrant la loi d'égalité des tensions. . .	120
6.13	Circuit en série ouvert et fermé avec tensions électriques	121
6.14	Mesure directe d'une résistance de conducteur ohmique.	123
6.15	Association de R_1 et R_2 donnant une résistance équivalent R_S	128
6.16	Association de R_1 et R_2 donnant une résistance équivalent R_P	129
7.1	La pile de Daniell, exemple de pile électrochimique	132
7.2	La pile de Daniell un peu usagée	133
7.3	Les 7 genres de réacteurs nucléaires existant dans le monde ou en construction actuellement. Source : Le point/Sciences et Vie par numérisation et recoupement.	135
7.4	Chaîne énergétique d'une plaquette de frein (ou d'un freinage par mâchoire) . .	138
8.1	Une chaîne d'énergie abstraite et réelle avec pertes.	141
8.2	Chaîne énergétique avec perte d'une pile électrochimique normale	142
8.3	schéma d'une centrale thermique au charbon, gaz naturel ou pétrole. Source : Wikipedia, licence CCA, auteur : Serge Ottavia	143
8.4	schéma d'une centrale nucléaire. Source Wikipedia, auteur : EDF ?	143
8.5	Une chaîne énergétique classique pour une centrale	144
8.6	Exemple de chaîne d'énergie pour une éolienne	144
8.7	une éolienne terrestre, source wikipedia, licence CCA, auteure AnnaTallulah . .	144
8.8	Chaîne d'énergie d'un conducteur ohmique	145
8.9	Exemple d'expérience pour étudier l'effet joule.	145
8.10	Un panneau solaire contenant des cellules photovoltaïques, source wikipedia, licence CCA, auteur Pelerin	146
8.11	Le barrage de Donzere-Mondragon, source wikipedia, licence libre, auteur Iguane- nebobo	147

8.12	Différentes sortes d'hydroliennes, source wikipedia, licence CCA / Libre, auteurs sel (CCA) Feldoncommon (CCA) Frankgg (CCA) Ocean Flow Energy LTD (Libre)	147
8.13	Fonctionnement transformateur, source wikipedia, auteur BillC, licence CCA . . .	149
9.1	Une onde électromagnétique comme la lumière	155
9.2	Le spectre des ondes électromagnétiques et en grossissement celui des lumières visibles. Source : Philip Ronan, Gringer sous licence Creative Commons Attribution.	156
9.3	Une onde électromagnétique comme la lumière (encore)	157