

CHAPITRE

2

Un courant électrique dans un fil, est-ce vraiment plus qu'un torrent de "petites choses qui courent", ça dépend du point de vue. En tout cas, un courant électrique, ça ne fait que passer!

Objectifs de ce chapitre :

- *Connaître la définition du courant et de son unité*
- *Calculer en notation scientifique (N.S.)*
- *Résoudre un exercice de niv. 6 autour de la définition mathématique du courant*
- *Calculer un courant dans un circuit en utilisant la loi des courants*

Les courants

2.1. Zoom sur fil électrique

Nous l'avons vu au chapitre précédent, le courant électrique est un *torrent de petites choses qui courent* dans les conducteurs. Cette première définition était volontairement vague afin de pouvoir se concentrer sur les schémas. Il est temps de préciser ce que sont ces petites choses qui courent et de définir le courant avec précision.

Pour comprendre en détail ce qui se passe à l'intérieur d'un fil électrique, il faudrait infiniment plus que ce syllabus. Parce c'est un domaine extrêmement vaste et complexe mais aussi parce que nous sommes, encore aujourd'hui, loin de tout savoir. Heureusement quelques bases suffiront.



2.1.1. A quoi ressemble un atome?

Prenons mentalement un morceau de fil électrique et coupons-le en deux. Reprenons une des parties et recommençons. Si nous continuons ce procédé de fractionnement des millions de fois, nous atteindrons une limite. Il ne sera plus possible de subdiviser la minuscule partie de métal ainsi obtenue sans en changer les propriétés caractéristiques, c'est-à-dire sans modifier la nature même du métal. Cette partie est donc "indivisible" et s'appelle un *atome* du conducteur.

Le piège de l'infiniment petit

L'idée d'atome est une idée qui date de l'antiquité mais sa connaissance précise est relativement récente. Aristote a toujours pensé que la matière était continue. Démocrite et Lucrèce, par contre, parlaient déjà de matière discontinue (atomes et vide). Mais avant Rutheford, Thomson considérait l'atome comme un "cramique" dans lequel la pâte constituait la matière lourde et les raisins les électrons. Pour lui, les atomes étaient statiques. Aujourd'hui cette idée d'atome est communément admise et confirmée expérimentalement mais il faut noter que personne n'en a jamais vu.
 © André Yernaux.

Qu'il s'agisse de notre corps, de l'air que nous respirons, des vêtements ou du sol sur lequel nous marchons, tout est constitué d'atomes. Nous en connaissons environ 120 dont 91 existent à l'état naturel sur terre.

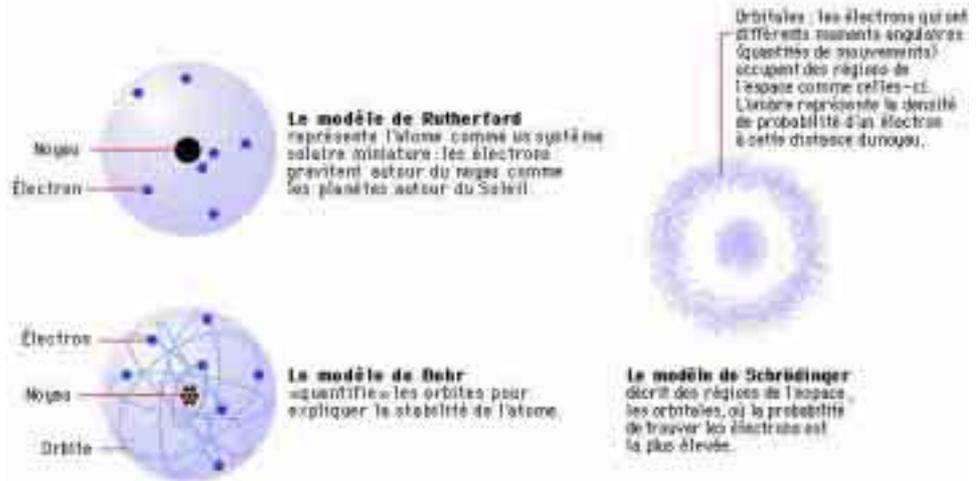
Fig. 36. Quelques atomes extraits d'un tableau de Mendeleïev illustrant les atomes par les objets qui les contiennent.



Tout atome, quel qu'il soit, est constitué de 3 particules différentes : *des neutrons, des protons et des électrons*. C'est uniquement le nombre de chacune de ces particules qui fait la différence entre les atomes. Par exemple, un atome d'hydrogène ne contient qu'un proton, un neutron et un électron. Dans la figure 36, c'est l'atome de plomb qui en contient le plus.

A quoi ressemble un atome? C'est impossible à dire car même le plus gros des atomes est tellement petit (en une bouffée d'air, nous avalons 25000 milliards de milliards d'atomes) que personne n'en a jamais vu. On sait seulement qu'il y a une partie centrale qu'on appelle le *noyau* qui contient les protons et les neutrons. On sait aussi que les électrons "tournent" autour de ce noyau. Comment tournent-ils? On ne le sait pas exactement. On peut juste définir des régions (orbitales) dans lesquels la probabilité de trouver un électron est plus grande. Alors à quoi ressemble un atome? Disons que la meilleure image que l'on peut se faire d'un atome est celle d'une boule d'ouate.

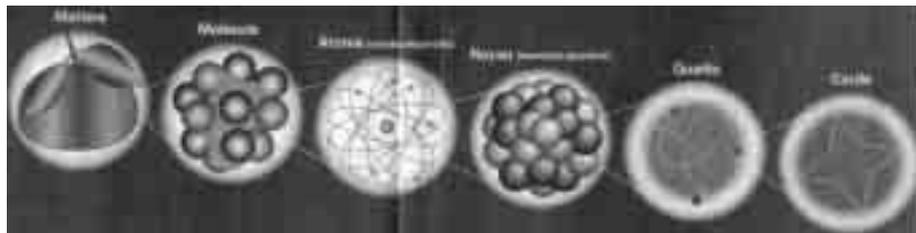
Fig. 37. Au cours du temps, différentes hypothèses ont été utilisées pour décrire l'intérieur d'un atome. La plus connue est celle de Bohr, pourtant partiellement fautive. Elle est depuis longtemps corrigée par l'hypothèse de Schrödinger, plus difficile à comprendre car elle ne détermine pas de position précise pour les particules.
© Microsoft Encarta 2000



L'univers est une symphonie pour cordes... inachevée

Arrêter un électron pour l'observer est impossible car un électron ressemble plus à un son qui se propage qu'à une bille. Les scientifiques disent que l'électron est de nature plus ondulatoire que corpusculaire. Au fond, est-on sûr que les électrons existent puisque qu'on ne les a jamais vus? Oui car trop de choses s'expliquent et se présentent aujourd'hui en supposant leur existence. Ne fut-ce que l'électricité.

Les atomes sont constitués de 3 particules. Mais elles, de quoi sont-elles faites? Sont-elles élémentaires (indivisibles)? On le croyait au début de ce siècle mais aujourd'hui, les scientifiques ont découvert que les protons et neutrons sont constitués de quarks. Peut-être apprendrez-vous de vos enfants que ces quarks sont constitués d'autres choses encore plus élémentaires et ainsi de suite.



Aujourd'hui déjà, certains parlent déjà de *cordes* Quelquefois présentée comme la *théorie du tout* ou encore la *théorie finale*, la théorie des cordes n'est pourtant encore qu'une symphonie inachevée, qui n'a en outre pas encore reçu la moindre confirmation expérimentale. Un chercheur américain a dit : *la théorie des cordes fait partie de la physique du XX^{ème} siècle; elle est tombée par hasard au XX^{ème} siècle.*
© Le Soir du 26/10/01 à propos de "L'Univers élégant" - Brian Greene, Laffont

2.1.2. Les électrons sont comme des... abeilles

Un matériau solide est un ensemble de coeurs d'atomes (noyaux et électrons proches du noyaux) liés plus ou moins fortement entre eux. Cette liaison explique la rigidité des matériaux. Tous les électrons vibrent en permanence autour du noyau de leur atome. Mais dans le cas des conducteurs, il y a des électrons périphériques moins liés que les électrons plus proches du noyau (électrons sous périphériques). Il suffit alors d'une petite force pour les extraire du champ d'attraction de leur noyau et leur permettre de se déplacer librement. Ces électrons sont des *électrons libres*. La meilleure image que l'on peut se faire de l'intérieur d'un fil électrique est sans doute celle d'un champ de fleurs (coeurs d'atomes) butinés par des millions d'abeilles (électrons)¹.

Ce sont ces électrons libres qui départagent les matériaux isolants des matériaux conducteurs : *les conducteurs sont faits d'électrons dont certains sont libres* tandis que les isolants ne contiennent pas d'électrons libres. C'est donc la présence ou non d'électrons libres qui fait la différence. Notez que cette différence électrique entre un bon conducteur et un bon isolant est aussi grande que la différence mécanique entre un liquide et un solide puisque ces deux types de propriété dépendent de la mobilité des particules.

2.1.3. A quoi ressemble un courant?

Comment se figurer un courant électrique dans un fil? Un peu comme une transhumance sur l'autoroute des vacances?

Fig. 38. Un courant d'électrons dans un fil fait penser à un embouteillage de vacances.

© <http://www.ac-nice.fr/>

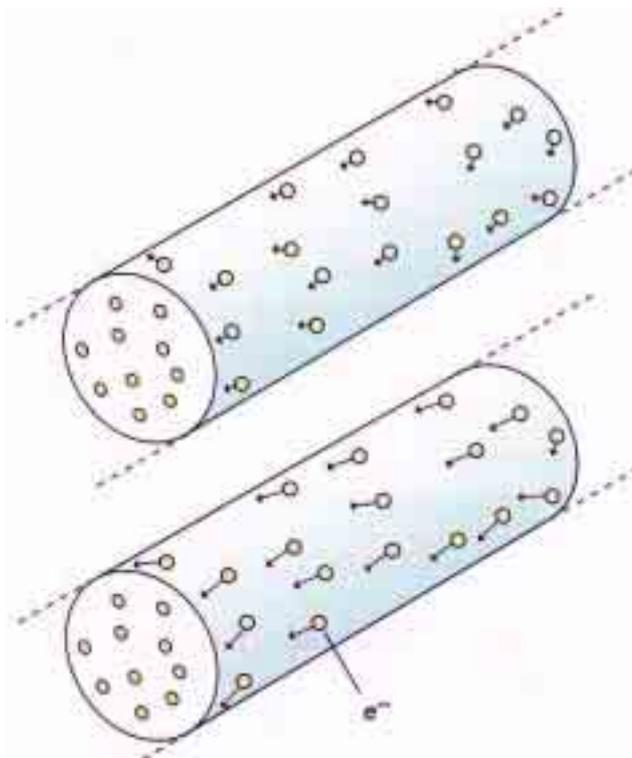


Pour nous approcher de la réalité, reprenons l'image des abeilles butinant un champ de fleur. On pourrait dire qu'il y a un déplacement de l'ensemble des abeilles lorsqu'il y a du vent. Bien que les abeilles continuent à butiner dans tous les sens, l'essaim est emporté par le vent. Dans un fil, c'est un peu la même chose, les électrons vibrent autour des noyaux mais lorsqu'ils dérivent globalement dans un certain sens, ils forment un courant.

1. Merci à André Yernaux qui m'a suggéré cette image.

Fig. 39. Dans un fil électrique, les électrons tournent en permanence autour de leur noyau. Il n'y a un courant électrique que lorsqu'il y a un déplacement d'ensemble des électrons dans une direction.

© Electricité, voyage au cœur du système, A. Ménager, Ed Eyrolles 2000



Déplacement des électrons du fil dans toutes les directions. Le courant est nul.

Déplacement des électrons du fil dans toutes les directions mais avec une moyenne qui se dégage dans un certain sens. Ce mouvement d'ensemble des électrons dans le fil forme un cou-

a) Dans un fil électrique, les électrons font du 1mm/s

Un courant électrique dans un fil est un donc un *mouvement d'ensemble des électrons libres* mais ce mouvement d'ensemble se fait à une vitesse extrêmement lente d'environ 1mm par seconde, selon l'intensité du courant, car ils rencontrent un très grand nombre de noyaux d'atomes sur leur passage qui les font dévier et les retardent. Pourtant l'électricité se propage à la vitesse de la lumière, l'effet du courant est quasi instantané. Comment comprendre ce paradoxe?

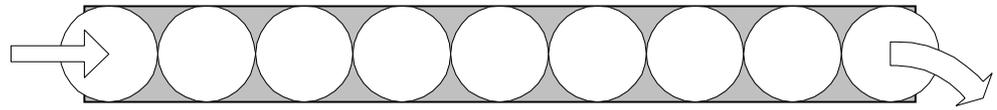
Imaginons un circuit hydraulique comme celui de la figure 50 p. 49. Dès que la pompe est actionnée, l'eau se met à circuler quasi instantanément. Le moteur commence donc à tourner quasiment en même temps que la pompe. Pourtant les gouttes d'eau n'avancent pas forcément vite.

Fig. 40. Ce qui paraît évident dans ce circuit hydraulique n'a aucune raison de poser problème dans un circuit électrique.



Dans un circuit électrique c'est exactement le même principe qui est en jeu. Le courant s'établit quasiment instantanément car il s'agit d'un mouvement de proche en proche à l'image de la figure 41. *Les électrons qui entrent dans un fil électrique d'un côté ne sont pas ceux qui sortent presque aussitôt par l'autre.*

Fig. 41. Les billes dans ce tuyau illustrent bien le principe du mouvement de proche en proche des électrons dans un fil électrique. Quasiment au moment à la bille de gauche est poussée, la bille de droite tombe.



Notre image du début (un embouteillage d'été) n'était donc pas si farfelue. Toutefois la vitesse d'établissement du courant n'est pas instantanée. Si l'on pouvait relier la planète Mars et la Terre avec une ligne téléphonique, cela prendrait 20 minutes pour transmettre un message.

b) Il suffit de quelques électrons.

Le courant dans un fil électrique est un déplacement d'électrons, d'accord. Mais en dépit de son abondance - l'électron est présent dans tous les atomes -, cela tient à des circonstances très particulières. En effet, les faisceaux d'électrons ne se propagent en général pas dans la matière, avec laquelle ils interagissent trop fortement. C'est pourquoi les tubes de télévision, qui possèdent un canon à électrons, fonctionnent sous un vide poussé, ce qui les rend lourds et encombrants.

Paradoxalement, c'est dans les métaux que les électrons se meuvent avec la plus grande liberté. Le nombre de ces électrons mobiles est relativement faible. Ainsi, ils ne représentent que 1 électron sur les 29 présents dans un atome de cuivre. Mais cela constitue une densité de charge très élevée, et il suffit d'une vitesse moyenne de déplacement des électrons très faible, de l'ordre de quelques micromètres par seconde, pour assurer le passage du courant.

c) Le courant est-il toujours un déplacement d'électrons libres!?

Non. Pas toujours, ce n'est vrai que dans les métaux. On peut faire passer un courant électrique dans une solution conductrice. Par exemple, à l'intérieur d'une batterie ou d'une pile, l'électricité est transportée par des atomes ou des molécules chargés (des ions). C'est le cas aussi pour les courants électriques qui traversent la terre, les océans ou notre corps. Ainsi dans notre cerveau, nos nerfs, le courant électrique est transportée par des atomes de potassium et de sodium.

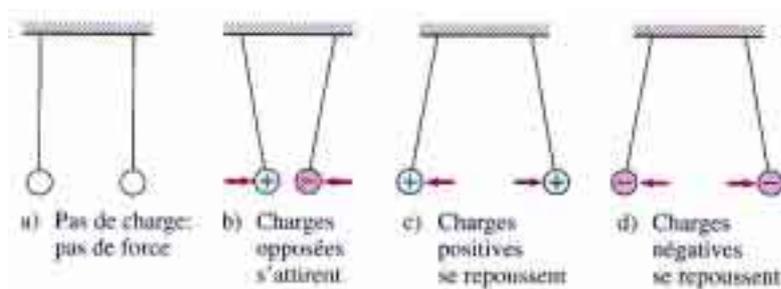
2.1.4. Les électrons sont négatifs

Si des électrons se déplacent globalement dans une même direction dans un fil électrique c'est qu'il y a quelque chose qui agit sur eux, ou quelque chose qui les attire. En effet, on a découvert que les électrons sont attirés par les protons et que les électrons se repoussent entre eux. De plus, on a découvert que lorsqu'un même nombre d'électrons et de protons sont réunis, dans un atome par exemple, cet ensemble devient neutre du point de vue de ce phénomène d'attraction-répulsion.

A notre échelle, cela signifie qu'un corps ayant perdu ou gagné quelques centaines d'électrons est électrisé. C'est ce qu'on appelle l'électrostatique, ou l'électricité statique.

Fig. 42. Il suffit de rompre l'équilibre entre les électrons et les protons pour obtenir des corps chargés positivement ou négativement et observer leur attraction ou répulsion respective.

© Floyd, Fondements d'électronique, Ed. R Goulet 1999



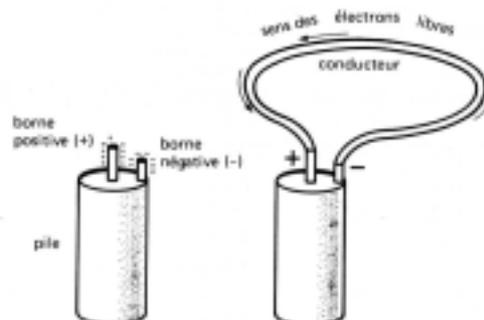
Puisque qu'un électron "neutralise" un proton, on a décidé de leur attribuer des charges unitaires opposées: *il a ainsi été convenu qu'un électron porte une charge -1 et qu'un proton porte une charge $+1$* . Les neutrons, eux, ne portent aucune charge (d'où leur nom) car il ne sont ni repoussés ni attirés par les deux premiers. Ensemble, ces trois particules portent donc une charge nulle. Cela signifie qu'un atome est normalement neutre car un atome contient normalement autant de protons que d'électrons.

2.1.5. Les électrons avancent à contre-courant

Les électrons sont négatifs. Ils sont donc attirés par tout ce qui est positif (par exemple des atomes qui ont perdus quelques électrons). Les électrons libres vont donc du - vers le + dans un circuit électrique.

Fig. 43. Les électrons, portant une charge négatives, sont attirés par la borne positive de la pile et repoussés par la borne négative.

© Electrotechnique, Wildi, Ed. Eska, 1997



Malheureusement, à l'époque des principales découvertes en électricité, au début du XIX^{ème} siècle, la nature même du courant (flux d'électrons) était inconnue. Les scientifiques ont alors décidé d'attribuer un sens conventionnel au courant. Pas de chance, ce fut le sens qui va du + au -.

Par convention, le courant va dans le sens des charges positives. Mais, dans un fil électrique, aucune charge positive ne se déplace. Seuls les électrons (libres) se déplacent. Dans un fil, le sens "réel" du courant est donc opposé au sens conventionnel. Cela peut paraître absurde mais en fait, cela n'a que peu d'importance dans notre cas. Que le courant aille dans un sens ou dans un autre, cela ne change pas grand chose, les lampes s'allumeront toujours.

Fig. 44. Le sens réel des électrons est opposé au sens conventionnel du courant.
© Electrotechnique, Wildi, Ed. Eska, 1997



Notez que si dans le cas le plus fréquent (celui d'un fil électrique) cette convention s'est avérée fautive, elle est correcte pour un courant dans un électrolyte (liquide conducteur) puisque ce sont des ions positifs (atomes ayant perdu l'un ou l'autre électron) qui se déplacent.

2.2. Définition du courant

Un courant électrique est donc *un déplacement de charges électriques*. La différence entre un matériau conducteur et un matériau isolant est l'existence de charges électriques *libres de se déplacer*. C'est le cas d'un liquide qui contiendrait des ions, comme le corps humain, ou d'un solide qui contiendrait des électrons libres, comme le cuivre. Cette fois c'est clair, dans les fils, les "petites choses qui courent" sont des électrons libres.

L'intensité du courant électrique n'est autre que le débit de ces charges électriques. Si l'on désigne la quantité de charges électriques par Q , l'intensité du courant par I et la durée pendant laquelle on comptabilise les charges par t , on pourrait alors écrire une équation qui préciserait la définition du courant.

Malheureusement, la quantité de charges électriques est une notion encore trop vague. En effet, dans un solide, on pourrait en théorie compter le nombre

N.B. • Le *débit* n'est pas une grandeur électrique puisqu'on l'utilise dans plusieurs domaines. Par exemple, sur une autoroute, le débit de voiture en un endroit dépend du nombre de voitures qui y passent par heure.

des électrons mais en pratique, c'est impossible. Il y en a beaucoup trop. Dans le courant qui traverse une simple ampoule, il y en a plus d'un milliard de milliard qui passent par seconde. Même avec un appareil ultra sophistiqué, c'est impossible. Il est illusoire de parler du courant électrique en nombre d'électrons par seconde. Il faut donc définir une nouvelle grandeur physique et une nouvelle unité de charge électrique.

2.2.1. Les grandeurs physiques et leur unité

Une grandeur physique est quelque chose de réel et mesurable. La vitesse, le temps ou la distance sont des grandeurs physique, contrairement à la joie ou la douleur qui sont réelles mais non mesurables.

Une unité est une convention pour exprimer quand une grandeur vaut 1. Par exemple, le morceau de platine iridié conservé à Paris depuis 1889 a été désigné comme l'unité de masse : tout ce qui pèse la même chose que ce morceau vaut 1 kilogramme, le double pèse 2 kilogrammes et ainsi de suite. De même, le mètre est l'unité de distance et la seconde est l'unité de temps.

N.B. • dès que l'on veut compter ou mesurer quelque-chose, il faut choisir une *unité*. Par exemple, si quelqu'un dit qu'une machine pèse 35... on répondra 35 quoi? 35 kilos? 35 tonnes? 35 livres? 35 sacs de sables? etc. Un nombre sans unité ne signifie pas grand chose.

Petite histoire du mètre

Les premières mesures et donc unités utilisées par les hommes furent les mesures de distance. Les premières unités étaient basées sur des actions (un jet de pierre, une journée de marche, ...) ou sur des mensurations corporelles (une coudée, un pied, un pouce, ...). Puisque ces unités variaient d'une personne à l'autre, on a dû imposer des unités de longueurs standardisées. On sait que les Egyptiens utilisaient déjà des cordes portant des noeuds séparés par des intervalles bien déterminés pour effectuer leurs mesures d'arpentage annuelles. On a même trouvé une "règle graduée" égyptienne.

Les unités de longueur changeaient cependant au cours du temps et d'une région à l'autre. A la fin du Moyen-âge, on utilisait, par exemple, des "coudées" dont la longueur pouvait varier entre 50 et 75 cm. On devait ainsi combiner des unités diverses (en disant par exemple, que telle longueur valait 5 pieds et 3 pouces). Pour rationaliser ces premiers systèmes d'unités, on établissait des conventions telles que celles-ci : "2 coudées valent 3 pieds" et "1 pied vaut 12 pouces".

Le Brugeois Simon Stevin proposa, en 1585, de choisir une seule longueur comme unité de base et de considérer uniquement des unités secondaires qui sont 10, 100 ou 1000 fois plus grandes ou plus petites que celles-ci. Ce système décimal n'a pu être adopté qu'à partir de la Révolution Française. Un projet de loi (déposé en 1790) demandait que la nouvelle unité de base pour les longueurs soit définie à partir des dimensions du globe terrestre, pour insister sur le fait qu'elle devait créer un lien entre tous les hommes.

On chargea une commission de savants de la détermination de la longueur totale d'un grand cercle passant par les pôles, appelé méridien. On mesurait la distance séparant Dunkerque et Barcelone (en toises) et on calculait la longueur totale du contour de la terre. Ensuite, on définissait la nouvelle unité de longueur, appelée "mètre" (du grec *metron* qui veut dire mesure) comme étant la quarante millionième partie de cette longueur. Les autres unités étaient généralement des multiples ou des fractions décimales du mètre. Ainsi est né le système métrique qui nous est familier aujourd'hui.

Ensuite, pour matérialiser la longueur du mètre, on fabriqua un mètre étalon constitué d'une lame de platine (de 4 mm d'épaisseur, 25 mm de largeur et exactement 1 mètre de longueur). L'emploi du système métrique fut imposé pour la France en 1799, mais Napoléon rendit son usage facultatif. Après sa réimposition, en 1840, son utilisation se généralisa rapidement dans les autres pays du continent européen.

Malheureusement, de nouvelles mesures géodésiques révélaient cependant (vers 1875) que la longueur totale du méridien terrestre n'était pas égale à 40 000 km, mais à 40 007 km environ. A cause de l'accumulation des incertitudes de mesure pour des distances aussi grandes, il était illusoire de vouloir définir la longueur du mètre à partir des dimensions de la terre. Il fallait se contenter de l'adoption d'un mètre étalon. On décida de maintenir le mètre tel qu'il avait été défini précédemment, mais on fabriqua "un mètre étalon" dont la longueur pourrait être préservée de manière plus fiable. Ce mètre fut adopté lors de la "Première Conférence des Poids et mesures" (en 1889) par un très grand nombre de pays (à l'exception notable des pays anglo-saxons).

Le nouveau mètre étalon correspondait à une barre de platine iridié. Cela veut dire qu'on avait utilisé un alliage de 90% de platine et de 10% d'iridium qui se dilate et se contracte très peu quand il subit des variations de température. On avait donné aussi à la barre un profil en "x" pour qu'elle reste bien rigide. Ce mètre était conservé soigneusement dans une cave, à Sèvres, près de Paris.

Cette situation s'est maintenue jusqu'en 1960. A cette époque, on décida d'abandonner la référence à la longueur d'une barre métallique pour se servir d'un étalon inaltérable et universel. Il s'agissait de la "longueur d'onde" de la lumière émise par les atomes de krypton 86, c'est-à-dire de la distance que cette lumière parcourt pendant la durée d'une de ses oscillations. Elle est très petite, mais elle peut être mesurée avec une très grande précision dans les laboratoires de n'importe quel pays du monde. En fait, on a préservé l'ancienne valeur du mètre en disant qu'il est 1 650 763,73 fois plus grand que la longueur d'onde choisie. © A. Meessen, *Mécanique*, (De Boeck 1990), pp. 350 à 352.

Parmi les unités, il faut distinguer les unités de base des unités composées. *Les unités de base* répondent à une convention internationale arbitraire (il n'y a pas de raison objective de choisir tel étalon plutôt qu'un autre). Le système international, aussi appelé le système MKSA, utilise le mètre, le kilogramme, la seconde et l'ampère comme unités de base.

N.B. • Lorsqu'il peut y avoir confusion avec d'autres lettres, les unités doivent s'écrire entre crochets.
Ex. : $v = 120[\text{km/h}]$

Les unités composées dépendent toutes des unités de bases. Ce sont, par exemple, l'heure qui vaut 3600 secondes, le kilomètre par heure (km/h) qui n'a pas reçu de nom particulier ou le watt qui vaut $1[\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3]$. Nous définirons beaucoup d'unités composées dans ce cours.

2.2.2. Définition du coulomb (et de nos 4 unités de base)

Puisqu'il faut compter les charges électriques par milliard, on a décidé de définir l'unité de charge électrique comme un paquet de charges. Ce paquet s'appelle le coulomb, en hommage à Charles Auguste Coulomb qui est un des premiers à s'être intéressé à la charge de l'électron. *Un coulomb représente, par définition, une quantité de charge capable de neutraliser 6,24 milliard de milliard d'électrons.* Autrement dit, 1 électron porte une charge d'à peine plus d'un milliardième de milliardième de coulomb (très exactement une charge négative de $-1,6\cdot 10^{-19}[\text{C}]$).

Le coulomb étant défini, nous pouvons convenir de nos unités de base pour ce cours. A part la seconde, les 3 autres unités ne sont pas réellement des unités de base d'un point de vue international. Mais nous nous en contenterons afin de faciliter la gestion des unités.

Unités de base		Grandeur associée	
joule	[J]	énergie	W
seconde	[s]	temps	t
degré °C	[°C]	température	t°
coulomb	[C]	charge	Q

Et le MKSA alors?

Les quatre unités de base sont officiellement le mètre, le kilogramme, la seconde et... l'ampère. Pourquoi en est-il autrement dans ce cours? Pour des raisons exclusivement didactiques. Cela clarifie les choses pour la majorité des étudiants. Or, comme ce n'est ni un cours de physique ni un cours d'histoire des sciences, j'estime que cela vaut bien une petite entorse à la version officielle.

2.2.3. Définition mathématique du courant

On l'a déjà dit, *tout courant électrique est un déplacement de charges électriques.* et *l'intensité d'un courant n'est autre le débit des charges électriques.* Grâce à la définition du coulomb, on peut écrire la définition formelle du courant électrique et de son unité.

N.B. • Le signe = surmonté d'un triangle signifie "égale par définition". Ce genre d'équation est donc une définition et ne doit pas être prouvée.

N.B. • Toute équation doit toujours être accompagnée des définitions de ses grandeurs comme ici à droite.

Définition du courant : L'intensité d'un courant électrique est le débit de charges électriques.

$$I \triangleq \frac{Q}{t}$$

$$I[\text{A}] \triangleq \frac{1[\text{C}]}{1[\text{s}]}$$

Q : Quantité de charges électriques [C]

t : temps écoulé [s]

I : (intensité du) courant [A]

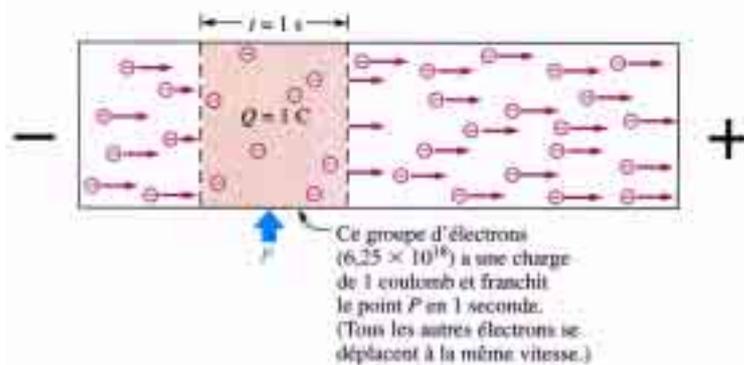
EQ 1

L'unité du courant (le mot courant est un abus de langage très répandu pour parler de *l'intensité* du courant) s'exprime en coulomb par seconde. Cette unité a reçu le nom d'ampère en hommage à André Marie Ampère.

Ainsi un courant de 12A en un point d'un circuit signifie que 12C y passent à chaque seconde. De même si 180C passent par minute en un autre point, il y a un courant de 3A.

Fig. 45. Un courant de 1 ampère signifie qu'un un point P, il y a 1 coulomb qui y passe à chaque seconde.

© Floyd, Fondements d'électronique, Ed. Goulet 1999



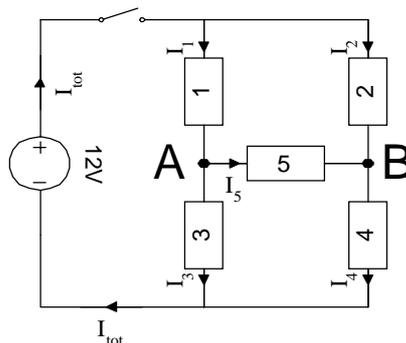
2.2.4. Le courant est une grandeur algébrique

Il y a une chose que la définition de I ne précise pas : le sens du courant. Pour le définir, il faut ajouter un symbole graphique qui sera simplement *une flèche sur le conducteur* traversé par le courant. Une fois la flèche dessinée, on convient que le courant va dans le sens de la flèche s'il est positif et dans l'autre sens s'il est négatif. Le courant I est donc une *grandeur algébrique* (qui peut être positive, négative ou nulle). C'est important car on ne connaît pas toujours le sens du courant avant de le calculer (comme dans le dipôle 5 de la fi-

gure 46). On choisit un sens au hasard (le plus probable) et le signe de la réponse nous donnera le sens réel du courant.

Fig. 46. Les courants se symbolisent sur les schéma par une flèche sur les conducteurs qui désigne le sens positif du courant.

Par exemple, si $I_5=2,5A$ alors le courant va bien du noeud A vers B mais si $I_5=-2,5A$ alors le courant va de B vers A.



2.2.5. Le courant alternatif (AC~) et continu (DC=)

Le sens du courant peut être constant ou variable. Lorsqu'il est constant c'est-à-dire que le courant *circule toujours dans le même sens*, on dit que le courant est *continu*. En anglais on parle de *Direct Current*. C'est pourquoi, on parle généralement de courant *DC* pour désigner un courant continu. Le sigle de deux lignes parallèles "=" est souvent utilisé pour désigner le courant DC.

Lorsque le sens du courant varie c'est-à-dire qu'il *va dans un sens puis dans un autre* et ainsi de suite, on dit que le courant est *alternatif*. En anglais on parle de *Alternative Current*. C'est pourquoi, on parle généralement de courant *AC* pour désigner un courant variable ou alternatif. Le sigle d'une vague "~" est souvent utilisé pour désigner le courant AC.

Par exemple, le courant que nous utilisons dans nos maisons est un courant alternatif (variable). Par contre, dans nos voitures le courant est continu. Plus généralement, dans tous les appareils portables qui fonctionnent à base de batterie, le courant d'alimentation est continu.

Cela dit le courant est souvent transformé d'alternatif en continu et inversement. La transformation AC vers DC est beaucoup plus simple que l'inverse. C'est d'ailleurs une des raisons pour laquelle nos maisons sont alimentées en alternatif alors que plusieurs de nos appareils fonctionnent en continu. Ils intègrent alors un transformateur AD/DC comme ceux de la figure 47.

Fig. 47. Plaque signalétique typique d'un transformateur AC/DC et extrait d'un catalogue d'appareils électroniques

© Catalogue Selectronic



BLOCS 12 V_{DC} / 800 mA

MONO-TENSION - CONTINU

Entrée : 230 V. Sortie 12 V_{DC} / 800 mA.
Sortie sur fiche jack-alein (2,1 mm).

Designation	Reference	FRF TTC
Le bloc 12 Vdc / 800 mA	20.9737	69,00

	AC	DC
Avantages principaux	<ul style="list-style-type: none"> • se produit facilement • se transforme (220V à 12V par exemple) très facilement • se redresse (en DC) facilement 	<ul style="list-style-type: none"> • se stocke très facilement • base de toute l'électronique digitale • nécessaire pour les applications électrochimiques
Inconvénients principaux	<ul style="list-style-type: none"> • ne se stocke pas • pas pratique pour faire de la logique 	<ul style="list-style-type: none"> • se transforme difficilement en AC • se produit difficilement

2.2.6. L'ampère-heure (Ah)

L'ampère-heure, comme le kilowatt-heure que l'on verra plus tard, est une unité un peu particulière qu'on appelle une *unité usuelle* c'est-à-dire qu'elle remplace une autre unité moins pratique. En effet, le coulomb est l'unité de la charge électrique "officielle" mais n'est pas pratique à utiliser lorsqu'on veut désigner la charge d'une pile ou d'une batterie. Dans cas, on utilise généralement l'*ampère-heure (Ah)*. L'ampère-heure est bien une unité de charge électrique. On le montre facilement.

$$\begin{aligned}
 1 \text{ [Ah]} &= 1 \text{ [C/s} \cdot \text{h]} \\
 &= 1 \text{ [C/s} \cdot 3600 \text{ s]} \\
 &= 3600 \text{ [C/s} \cdot \text{s]} \\
 &= 3600 \text{ [C]}
 \end{aligned}$$

1Ah peut donc être remplacé par 3600C ou inversement puisqu'il sont équivalents. Ainsi une batterie qui contiendrait 30Ah peut générer un courant de 30A pendant 1h, ou un courant de 15A pendant 2h, ou un courant de 10A pendant 3h, ou un courant de 1A pendant 30h, etc.

Ainsi, la pile rechargeable de la figure 48 contient en fait 792[C] (le 'm' devant l'unité Ah veut dire ici la même chose que le m de mm, c'est-à-dire m=0,001).

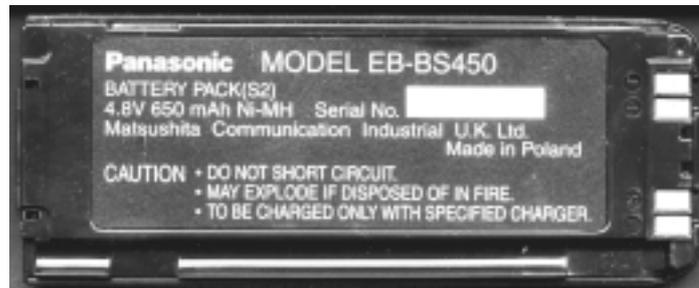
$$\begin{aligned}
 220 \text{ [mAh]} &= 220 \text{ [0,001} \cdot 3600\text{C]} \\
 &= 220 \cdot 3,6 \text{ [C]} \\
 &= 792 \text{ [C]}
 \end{aligned}$$

Fig. 48. Les Ah sur les piles ou les batteries désignent leur capacité. Cette pile rechargeable ci-contre peut contenir une charge électrique de 220mAh, c'est-à-dire de 792[C].



Cette notation de la charge électrique est fréquemment utilisée sur les batteries des portables GSM, ordinateurs portables ou autres, pour identifier leur capacité.

Fig. 49. Les batteries GSM comportent généralement l'indication de leur capacité. Elle n'est pas indiquée en coulomb mais toujours en Ah ou mAh qui est une unité beaucoup plus pratique



2.3. La loi des courants (des noeuds)

Les courants électriques répondent à une loi très simple qu'on appellera dans ce cours la *loi des courants*¹. Son principe fondamental tient en une petite phrase : *Tout courant qui entre sort.*

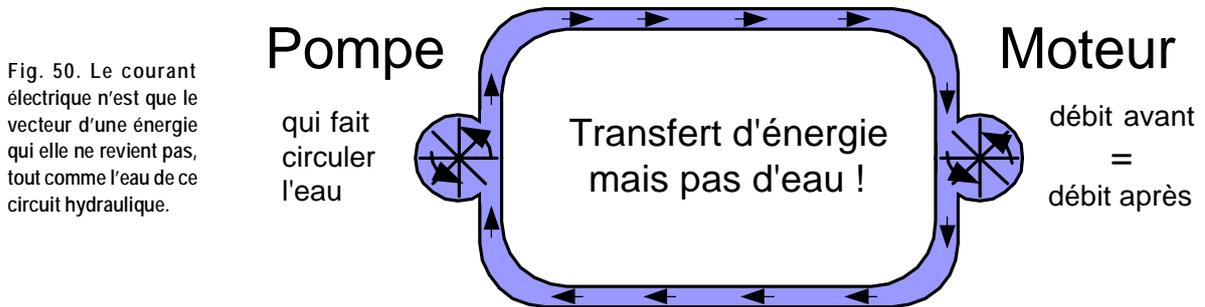
2.3.1. Explication physique

On a vu, au chapitre précédent, qu'un circuit électrique doit être fermé pour fonctionner (voir § 1.1.4. p.11). Cela signifie que le courant ne fait que traverser les appareils, comme l'eau qui traverse un moulin. En effet, ce n'est pas le courant qui est transformé en lumière dans une ampoule mais bien l'énergie qu'il véhicule. Le courant fait chauffer le filament de l'ampoule en le traversant (par un phénomène analogue au frottement). Le filament rougit et finit par produire de la lumière.

Accepter que le courant n'est pas "fatigué" après avoir traversé un appareil et comprendre comment un courant peut véhiculer une énergie est loin d'être évident. Il y a toujours un étudiant ou l'autre pour ressortir le mythe du mouvement perpétuel : « puisque le courant ressort, ne peut-on pas le réutiliser? ». Ce n'est pourtant pas fort différent de ce qui se passe dans une chaîne de vélo ou dans le circuit hydraulique de la figure 50. Pour que le moteur hydraulique tourne, il faut actionner la pompe. L'eau circule alors dans le circuit et ne sert qu'à transporter l'énergie. L'eau n'est pas "fatiguée" après avoir fait tourner

1. Je préfère appeler cette loi "la loi des courants" plutôt que "la loi des noeuds" comme le font la plupart des gens car cela permet de mieux retenir sur quoi porte la loi et, surtout, qu'elle est valable même quand il ne s'agit pas d'un noeud.

le moteur. Le débit après le moteur est rigoureusement identique au débit avant.



2.3.2. Enoncé mathématique

Si l'on accepte à ce stade que l'importance d'un courant, que l'on note I , se mesure en *ampères* (voir § 2.2. p.42 pour plus de détails) alors on accepte assez facilement la loi des courants, surtout qu'elle ne souffre absolument aucune exception. Elle s'énonce comme suit.

La loi des courants (des noeuds) : La somme des courants entrants dans un noeud ou n'importe quel ensemble est égale à la somme des courants sortants.

$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}}$$

EQ 2

Cette loi s'accepte assez facilement car elle fonctionne aussi bien avec des voitures que des ampères. Elle s'applique en écrivant l'équation (à une inconnue maximum) pour le noeud ou n'importe quel ensemble et en la résolvant mathématiquement.

2.3.3. Enoncé algébrique

Comme le courant est une grandeur algébrique (qui peut être positive ou négative), la loi des courants peut aussi s'écrire autrement. Pour un noeud (ou un ensemble) donné, on peut simplement écrire que la somme des courants du noeud est nulle en acceptant d'ajouter un signe - aux courants dont la flèche s'éloignent du noeud.

$$\sum_{\text{orientée}} I_{\text{noeud}} = 0$$

EQ 3

Ainsi, la loi des courants pour le noeud A de la figure 46 pourrait s'écrire

$$I_1 - I_3 - I_5 = 0 \quad \text{plutôt que} \quad I_1 = I_3 + I_5 .$$

Mathématiquement, cela ne change évidemment rien.

2.3.4. Exemples

Afin de bien comprendre comment s'applique cette loi, étudiez en détails les exemples de la figure 51.

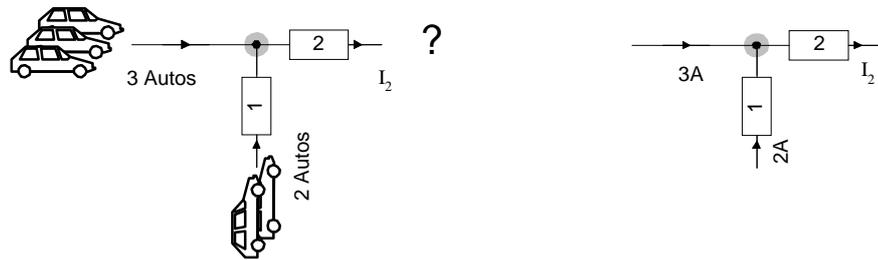


Fig. 51. les courants répondent toujours à une loi très simple : la somme de ce qui sort est égale à la somme de ce qui rentre... quel que soit l'ensemble sur lequel s'opère la loi.

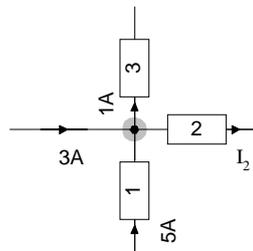
Quant à l'application de la loi, il suffit de remplacer le mot ampères par autos et penser que les dipôles sont des car-washes pour que cela devienne un jeu d'enfants.

$$3 \text{ Autos} + 2 \text{ Autos} \equiv I_2$$

$$\Rightarrow I_2 = \text{5 Autos}$$

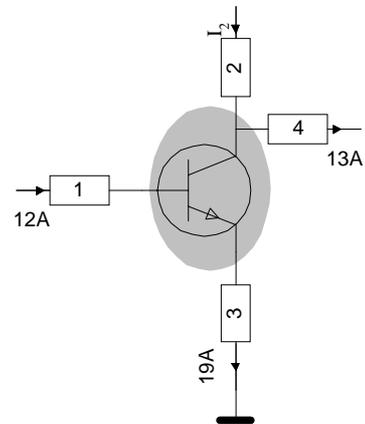
$$3\text{A} + 2\text{A} \equiv I_2$$

$$\Rightarrow I_2 = 5\text{A}$$



$$3\text{A} + 5\text{A} \equiv I_2 + 1\text{A}$$

$$\Rightarrow I_2 = 7\text{A}$$



$$12\text{A} + I_2 \equiv 13\text{A} + 19\text{A}$$

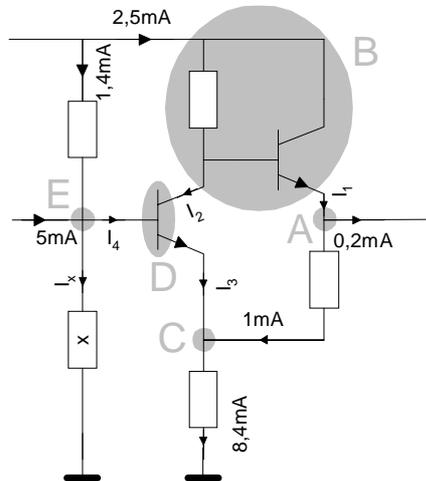
$$\Rightarrow I_2 = 20\text{A}$$

Dès qu'il y a plusieurs noeuds, il faut appliquer la loi des courants autant de fois qu'il y a de noeuds. Il n'y a pas vraiment d'ordre d'application mais cette loi n'est utile que s'il n'y a qu'un courant qui est inconnu. Il faut donc commencer par les noeuds dont tous les courants sauf 1 sont connus.

Prenons un exemple, le circuit de la figure 52 (page suivante). On désire calculer le courant dans le dipôle x du circuit par la loi des courants. Mais le

noeud E contient deux inconnues. Il y a alors plusieurs manières de procéder. En voici deux. La première est relativement classique tandis que la deuxième profite du fait que les courants entrants et sortants du circuit total sont connus pour trouver I_x (cette astuce n'est pas toujours possible).

Fig. 52. Pour calculer le courant dans un circuit, il faut parfois appliquer plusieurs fois la loi des courants. L'ordre d'application dépend des courants connus. En fonction des ensembles et/ou noeuds que l'on considère, on peut trouver la réponse en plus ou moins d'étapes



Méthode 1 :

$$\text{Noeud A : } I_1 = 1\text{mA} + 0,2\text{mA} = 1,2\text{mA}$$

$$\text{Ensemble B : } I_2 = 2,5\text{mA} - I_1 = 1,3\text{mA}$$

$$\text{Noeud C : } I_3 = 8,4\text{mA} - 1\text{mA} = 7,4\text{mA}$$

$$\text{Ensemble D : } I_4 = I_3 - I_2 = 6,1\text{mA}$$

$$\text{Noeud E : } I_x = 5\text{mA} + 1,4\text{mA} - I_4 = 0,3\text{mA}$$

Méthode 2 :

Ensemble du circuit :

$$5\text{mA} + 1,4\text{mA} + 2,5\text{mA} = I_x + 8,4\text{mA} + 0,2\text{mA}$$

$$\text{donc } I_x = 0,3\text{mA}$$

2.3.5. Le disjoncteur différentiel

De manière générale, tout dipôle a un courant sortant identique au courant entrant. Si ce n'est pas le cas c'est qu'il y a une fuite de courant, vers la terre ou ailleurs. La loi des courants se vérifie alors toujours mais en tenant compte de ces fuites. Pour empêcher ces fuites, qui sont inutiles et surtout peuvent être mortelles si elles se font au travers d'un corps humain, on installe un *interrupteur différentiel* aux bornes du circuit. Il mesure la différence entre le courant entrant et sortant (pour toute la maison ou simplement la salle de bain) et dès que cette différence dépasse un certain seuil (entre 5 et 500mA selon ce qu'il faut protéger), il ouvre le circuit en quelques ms.

Fig. 53. Qu'il s'agisse d'un appareil quelconque, d'un téléphone, d'une maison ou d'une ville entière, le courant sortant est égale au courant entrant. Si ce n'est pas le cas c'est qu'il y a une fuite vers la terre... qu'il faut réparer.



2.4. Le calcul scientifique

Cette partie sur le calcul scientifique n'a pas directement de rapport avec l'électricité mais elle est pourtant incontournable dès que l'on veut calculer une grandeur électrique. Elle est placée ici dans le syllabus car c'est à partir de ce point qu'elle devient nécessaire. Par la suite, les notions qui sont expliquées ici seront considérées comme maîtrisées aussi bien dans les exercices que dans la théorie.

2.4.1. L'écriture scientifique des nombres

a) Jamais plus de 3 chiffres significatifs!

Entre Paris et Bruxelles, y a-t-il 351,102 ou 351,103 km? Ne peut-on dire qu'il y a simplement 351 km? Autrement dit, jusqu'où doit-on être précis quand on écrit des chiffres? C'est une question importante qui trouve ici une réponse très simple. Nous n'utiliserons *JAMAIS plus de 3 chiffres significatifs*. Cela signifie que l'on garde uniquement les 3 premiers chiffres en partant de la gauche à partir du premier chiffre non nul.

De toute façon, en électricité, il est extrêmement rare qu'une mesure électrique soit effectuée avec une précision supérieure à 1%. C'est pourquoi il est inutile, et dangereux car les calculs s'en trouvent allongés et compliqués, de garder plus de 3 chiffres significatifs.

Pour cela, on écrit que les trois premiers chiffres non nuls en partant de la gauche. Tous les autres doivent être annulés...

N.B. • Les 3 premiers chiffres significatifs (non nuls) sont indiqués en bleu. Le 4^{ème} est souligné bien que, dans cette première série d'exemple il soit toujours inférieur à 5.

	<i>s'écrit</i>	
1.23 <u>1</u>	→	1.230
70.4 <u>12</u>	→	70.400
9.000 <u>030</u>	→	9.000.000
999	→	999
12	→	12
100 <u>1</u>	→	1000
6,04 <u>068</u>	→	6,04
0,200 <u>06</u>	→	0,200
0,0000 <u>875</u> <u>21</u>	→	0,0000875

... en respectant la règle de l'arrondi : le 3^{ème} chiffre doit être augmenté de 1 si le 4^{ème} est ≥ 5 :

N.B. • Les 3 premiers chiffres significatifs (non nuls) sont indiqués en bleu. Le 4^{ème} est souligné. Comme il est \geq dans cette deuxième série, le 3^{ème} chiffre est augmenté de 1.

	<i>s'écrit</i>	
1.23 <u>8</u>	→	1.240
78.4 <u>52</u>	→	78.500
9.00 <u>030</u>	→	9.010.000
999 <u>9</u>	→	10000
12	→	12
100 <u>8</u>	→	1010
6,40 <u>568</u>	→	6,41
0,200 <u>96</u>	→	0,201
0,0000 <u>875</u> <u>21</u>	→	0,0000876

b) La notation scientifique (N.S.)

Fig. 54. Impossible d'imaginer le nombre d'électrons qui circulent dans une ampoule allumée... il y en a beaucoup trop.
© Philippe Geluck, Le Chat



En électricité, on rencontre des nombres dont la grandeur varie entre des limites énormes. On doit, par exemple, pouvoir comparer la charge minuscule d'un électron avec celle, infiniment plus grande, d'un éclair. Le rapport entre la plus grosse et la plus petite de ces quantités est tellement grande qu'il faut trouver un moyen simple pour l'exprimer.

Par exemple, on l'a vu plus haut, un courant électrique de 1 ampère correspond au passage de 6.240.000.000.000.000 électrons par seconde. Comment exprimer simplement des chiffres aussi grands?

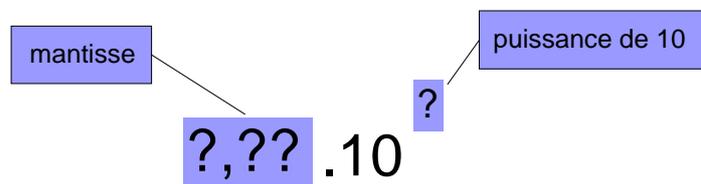
On utilise pour cela la *notation scientifique (NS)*. Cette notation est facultative pour les nombres de 1 à 999 c'est-à-dire ni trop grands ni trop petits, mais obligatoire pour tous les autres.

Elle se base sur les puissances de 10. Il faut donc maîtriser la table suivante.

N.B. • La méthode de conversion est simple.
si $x > 1$: l'exposant est égal au nombre de zéros
si $x < 1$: l'exposant est égal à - le nombre total de zéros, y compris celui qui se trouve devant la virgule.

100000	=	10^5
10000	=	10^4
1000	=	10^3
100	=	10^2
10	=	10^1
1	=	10^0
0,1	=	10^{-1}
0,01	=	10^{-2}
0,001	=	10^{-3}
0,0001	=	10^{-4}
0,00001	=	10^{-5}
...	=	...

La notation scientifique consiste à écrire tout nombre sous la forme suivante



Ex.: 1840 se note $1,84 \cdot 10^3$

La première partie de cette notation s'appelle la *mantisse* et se constitue en prenant les 3 premiers chiffres significatifs puis en ajoutant une virgule entre le 1^{er} et le 2^{ème} chiffre.

La deuxième partie est la *puissance de 10*. Si le nombre initial est >1 , cette puissance est positive et vaut le nombre de chiffres entre le 1^{er} chiffre significatif et la virgule. Si le nombre initial est < 1 , cette puissance est négative et vaut le nombre total de zéros à gauche du 1^{er} chiffre significatif. Si le nombre est 1, cette puissance vaut 0. Analysez en détail ces exemples.

La notation scientifique : mantisse . 10 puissance de 10

La mantisse se constitue en prenant les 3 premiers chiffres significatifs puis en ajoutant une virgule entre le 1^{er} et le 2^{ème} chiffre.

La puissance de 10 ...

- est positive si le nombre initial est >1 , elle vaut le nombre de chiffres entre le 1^{er} chiffre significatif et la virgule.
- est négative si le nombre initial est < 1 , elle vaut le nombre total de zéros à gauche du 1^{er} chiffre significatif.
- est nulle si le nombre est 1.

N.B. • La mantisse est mise en bleu et les chiffres à compter pour obtenir la puissance de 10 sont soulignés.

N.B. • Les chiffres entre 1 et 999 ne doivent pas obligatoirement être écrit en N.S.

	<i>mantisse</i>	<i>puis. de 10</i>	<i>N.S.</i>
<u>1.238</u>	= 1,24	*10 ³	= 1,24.10 ³
<u>-78.452</u>	= -7,85	*10 ⁴	= -7,85.10 ⁴
<u>9.006.030</u>	= 9,01	*10 ⁶	= 9,01.10 ⁶
<u>12</u>	= 1,20	*10 ¹	= 12
<u>1008</u>	= 1,01	*10 ³	= 1,01.10 ³
<u>6,40568</u>	= 6,41	*10 ⁰	= 6,41
<u>-0,20096</u>	= -2,01	*10 ⁻¹	= -2,01.10 ⁻¹
<u>0,005</u>	= 5,00	*10 ⁻³	= 5.10 ⁻³
<u>0,000087571</u>	= 8,76	*10 ⁻⁵	= 8,76.10 ⁻⁵

c) La notation ingénieur (NI) ou technique (NT)

Dans la notation ingénieur, aussi appelée la notation technique, on ne tolère que des *puissances de 10 multiple de 3*. Cela demande de changer la virgule dans la mantisse. Ainsi, le premier nombre ci-dessus est identique dans les deux notations. Par contre, le deuxième des exemples du point précédent s'écrit $-78,5.10^3$ en NI.

Attention, le passage de la notation scientifique à la notation ingénieur et inversement est loin d'être facile pour tout le monde mais il est très souvent nécessaire.

d) Utilisation d'une machine à calculer

N.B. • l'encodage de 10^3 se fait par la séquence de touches 1 EE 3 et pas 1 0 EE 3.

L'encodage d'un nombre en N.S. doit se faire à l'aide de la touche "puissance de 10" qui existe sur la majorité des machines. Malheureusement sa symbolique diffère. Voici deux exemples.

$$\frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = \left| \begin{array}{l} \text{TI 30} \\ 1 / 2 \text{ EE } 3 \text{ +/-} \end{array} \right| \left| \begin{array}{l} \text{Casio} \\ 1 / 2 \times 10^x 3 \text{ +/-} \end{array} \right| = 500$$

L'affichage de tous les nombres en N.S. (3 chiffres significatifs) peut souvent s'obtenir sur les machines (pas toutes malheureusement).

$$\left| \begin{array}{l} \text{TI 30} \\ 2^{\text{nd}} \text{ FIX } 2 \text{ } 2^{\text{nd}} \text{ SCI} \end{array} \right| \left| \begin{array}{l} \text{Casio} \\ \text{Mode } 8 \text{ } 3 \end{array} \right|$$

e) Ecriture d'un calcul

Un calcul doit s'écrire verticalement et toujours s'effectuer sur les nombres et les unités. Les unités doivent être écrites entre crochets pour éviter toute confusion. Bref, plusieurs règles qui relèvent plus du bon sens qu'autre chose sont à respecter :

- une seule opération par ligne
- aligner verticalement les signes '='
- mettre les unités entre crochets à droite de chaque ligne
- regrouper les puissances de 10 à droite
- etc.

Par exemple, appliquer la formule $U=R.I$ en partant de $R = 50\text{k}\Omega$ et $I = 0,4\mu\text{A}$. On réécrit d'abord les données, en remplaçant les préfixes (voir point suivant) ce qui donne $R=50 \cdot 10^3[\Omega]$ et $I=0,4 \cdot 10^{-6}[\text{A}]$, puis ...

$$\begin{aligned} U &= R.I \\ &= 50 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} [\Omega \cdot \text{A}] \\ &= 50 \cdot \frac{4}{10} \cdot 10^{3-6} \left[\frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot \text{A} \right] \\ &= 20 \cdot 10^{-3} [\text{V}] \\ &= 20 \text{ mV} \end{aligned}$$

2.4.2. Les préfixes

Certaines puissances de 10 reviennent tellement souvent qu'elles ont reçu des noms. Vous en connaissez au moins 3 : le kilo, le centi et le milli. Ces préfixes s'ajoutent à l'unité de la grandeur et évitent l'utilisation des puissances de 10.

La table suivante est à mémoriser absolument.

T	=	10^{12}	=	<i>tera</i>
G	=	10^9	=	<i>giga</i>
M	=	10^6	=	<i>méga</i>
K ou k	=	10^3	=	<i>kilo</i>
m	=	10^{-3}	=	<i>milli</i>
μ	=	10^{-6}	=	<i>micro</i>
n	=	10^{-9}	=	<i>nano</i>
p	=	10^{-12}	=	<i>pico</i>
c = 10^{-2} = centi ne s'utilise que pour le centimètre				

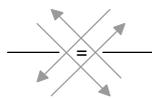
Ainsi 12km vaut $12 \cdot 10^3$ m c'est-à-dire 12.000m. De même, $5,2\mu\text{A}$ vaut 0,0000052A. etc.

2.4.3. Rappels d'algèbre

Ce paragraphe ne devrait pas avoir sa place ici! Il est pourtant fondamental pour plusieurs d'entre vous. Chaque année, il y a une bonne partie des étudiants qui rate uniquement par méconnaissance des quelques règles ci-dessous. A bon entendeur salut! Si ces règles vous posent des problèmes (pas de panique vous êtes 95% dans le cas), demandez de l'aide à votre professeur de math.

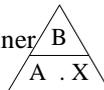
a) La règle de 3

Cette règle, bien qu'un des plus simples en mathématique, est cruciale dans ce cours. Elle est utilisée dans presque tous les exercices. Il existe des "trucs" pour l'utiliser correctement. En voici 3 différents.



Déplacement en croix.

Ex : $A = \frac{B}{X} \Rightarrow X = \frac{B}{A}$

Si $A = \frac{B}{X}$, dessiner 

Cacher le terme à calculer.

Ex : en cachant X, on voit qu'il est égal à B/A

$$A = \frac{B}{X}$$

Remplacer les termes par 2, 3 et 6

Ex : comme $3 = 6/2$, on voit que X est égale à B/A

b) L'algèbre des exposants

Retenez, comprenez et sachez utiliser les règles suivantes. Si elles se trouvent ici c'est qu'elles ont posés des problèmes à vos prédécesseurs.

N.B. • Si ces règles vous paraissent évidentes, tant mieux! Mais si vous avez le courage de vous exercer c'est l'idéal car vous risquez d'être surpris.

$$10^a \cdot 10^b = 10^{a+b}$$

$$\frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b}$$

$$(10^a)^b = 10^{a \cdot b}$$

$$\frac{1}{10^b} = 10^{-b}$$

$$\frac{10^a}{10^{-b}} = 10^{a+b}$$

$$\sqrt{10^a} = 10^{\frac{a}{2}}$$

c) L'addition de fractions (la règle du PPCM)

Sans doute savez-vous que $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \neq \frac{2}{5}$ mais savez-vous résoudre les deux exercices suivants?

$$\frac{1}{1000} + \frac{1}{1500} =$$

$$\frac{1}{400 \cdot 10^3} + \frac{1}{2 \cdot 10^6}$$

Si vous ne pouvez dire, sans machine, que les réponses sont $1/600$ pour le calcul de gauche et $3 \cdot 10^{-6}$ pour l'autre, vous devez absolument revoir la technique du PPCM. Si vous ne savez pas ce que c'est, demandez à votre prof. de math.

d) Equations du 1^{er} degré

Vous devez pouvoir résoudre des équations du genre de celles-ci

$$6 - x = 2 \text{ donc } x = ?$$

$$6 - 4 \frac{x}{3} = 2 \text{ donc } x = ?$$

Réponses : $x=4$ et $x=3$

2.5. Exercices

Les réponses de ces exercices se trouvent à la page 175.

• Connaissances minimales requises

Ce qu'il faut apprendre par coeur :

- Les 3 particules qui composent un atome et leur charge respective
- La définition de l'intensité du courant I
- La définition de l'ampère
- Les préfixes
- L'énoncé de la loi des courants

Ce qu'il faut avoir compris :

- La conduction électrique
- L'aspect algébrique du courant
- La différence entre un courant AC et DC
- L'utilité de l'ampère-heure et son lien avec le coulomb
- Comment mesurer un courant

Ce qu'il faut savoir faire :

- Utiliser la N.S. pour lire, écrire et transformer en unité de base les grandeurs élec.
- Ecrire un calcul en notation scientifique
- Résoudre un exercice de niveau 6 sur le courant
- Calculer un courant dans n'importe quel circuit en utilisant la loi des courants

• Zoom sur un fil électrique

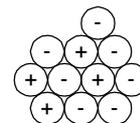
Ex 2.1 : Combien d'électrons faut-il pour neutraliser 4 protons ?

Ex 2.2 : Combien d'électrons faut-il pour neutraliser 4 neutrons ?

Ex 2.3 : Pourquoi a-t-on défini le coulomb ?

Ex 2.4 : Quels sont les porteurs de charge dans la matière ?

Ex 2.5 : Que se passera-t-il dans le système suivant en supposant que l'ensemble de charge à droite ne bougera pas ? Autrement dit où partira la charge A ?



Ex 2.6 : Un morceau de craie est-il neutre ? Pourquoi ?

Ex 2.7 : Que faudrait-il faire pour rendre un pièce de monnaie négative ?

Ex 2.8 : Répondre par vrai ou faux. (théorie)

- La toute première fois qu'on alimente une maison neuve, il faut attendre quelques secondes, le temps que le circuit électrique se remplisse d'électrons.
- Dans un fil électrique débranché, les électrons bougent.
- Un arbre contient des électrons
- Une centrale électrique sert à fabriquer des électrons.
- Dans un circuit électrique qui fonctionne, les électrons avancent à la vitesse de la lumière
- Dans un courant de 10A, les électrons avancent globalement plus vite que dans 2A.
- Un fil dans lequel passe un courant contient plus d'électrons que lorsqu'il est débranché.

• Le calcul scientifique

Ex 2.9 : Ecrire en puissance de 10 les nombres suivants

$1000 =$	$0,000001 =$
$100000000 =$	$0,1 =$
$10 =$	$0,00001 =$
$1 =$	$0,001 =$

Ex 2.10 : Ecrire en notation standard (décimale) les nombres suivants

$10^{-3} =$	$10^0 =$
$10^5 =$	$10^{-5} =$
$10^6 =$	$10^2 =$
$10^{-1} =$	$10^{-4} =$

Ex 2.11 : Compléter par <, > ou = le tableau suivant

10^2	10^3
10^6	10^5
10^{-2}	10^1
10^{-6}	10^4
10^{-6}	10^{-7}
10^{-2}	10^{-1}
10^0	10^{-1}

Ex 2.12 : Ecrire en notation scientifique les nombres suivants

$0,8 =$	$9989 =$
$12,52 =$	$60510 =$
$0,0300512 =$	$800489 =$
$406600,25 =$	$0,0000897645 =$

Ex 2.13 : Ecrire en notation scientifique les nombres suivants

$2500 =$	$0,0008 =$
$806000 =$	$0,00567 =$
$10008 =$	$0,02 =$
$-140 =$	$0,9 =$
$6 =$	$-0,000000899 =$

Ex 2.14 : Ecrire en notation scientifique les courants suivants

$$150\text{mA} =$$

$$800\text{kA} =$$

$$7,6\mu\text{A} =$$

$$-0,2\text{MA} =$$

$$0,03\text{nA} =$$

Ex 2.15 : Ecrire en notation scientifique les grandeurs suivantes

$$50\text{cm} =$$

$$800\text{mA} =$$

$$940\text{cm} =$$

$$500\text{MA} =$$

$$0,5\text{GA} =$$

$$0,2\mu\text{A} =$$

$$3\mu\text{A} =$$

$$100\text{kA} =$$

$$0,4\text{mA} =$$

$$0,006\text{km} =$$

$$9\text{mm}^2 =$$

$$0,5\text{ cm}^2 =$$

Ex 2.16 : Quel courant peut débiter le transformateur dont voici la plaque signalétique?



Ex 2.17 : Ecrire les courants suivants en notation ingénieur (avec le préfixe adéquat)

$$5 \cdot 10^4\text{A} =$$

$$0,04\text{mA} =$$

$$0,0006\text{A} =$$

$$5400\text{mA} =$$

$$80 \cdot 10^7\text{A} =$$

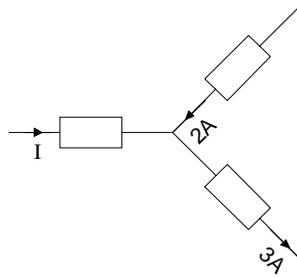
$$0,4\text{kA} =$$

$$0,64 \cdot 10^{-2}\text{A} =$$

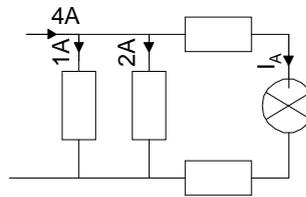
$$0,6\text{A} =$$

• **La loi des courants**

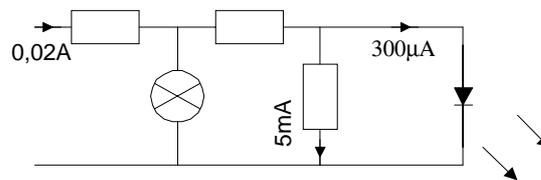
Ex 2.18 : Calculer le courant I.



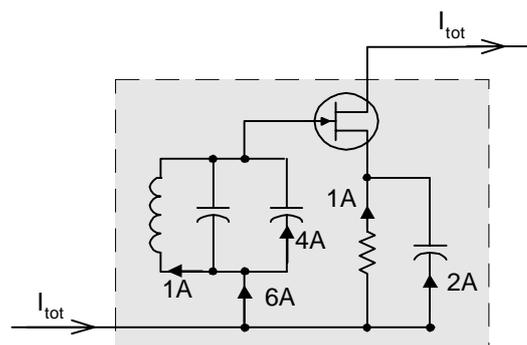
Ex 2.19 : Calculer le courant dans l'ampoule



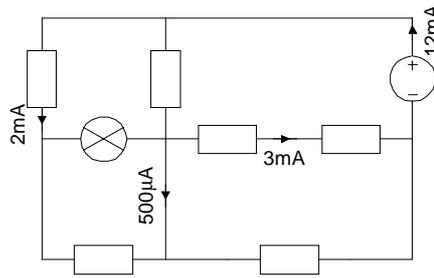
Ex 2.20 : Calculer le courant dans l'ampoule.



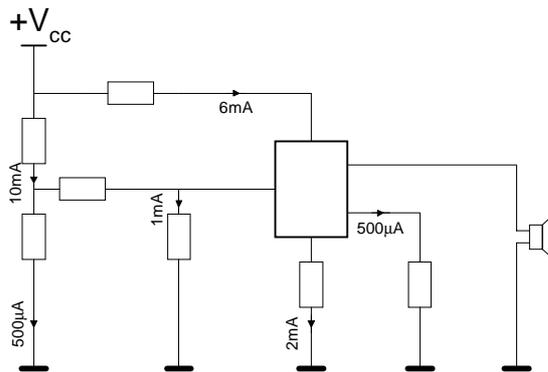
Ex 2.21 : Calculer le courant total qui traverse le dipôle suivant.



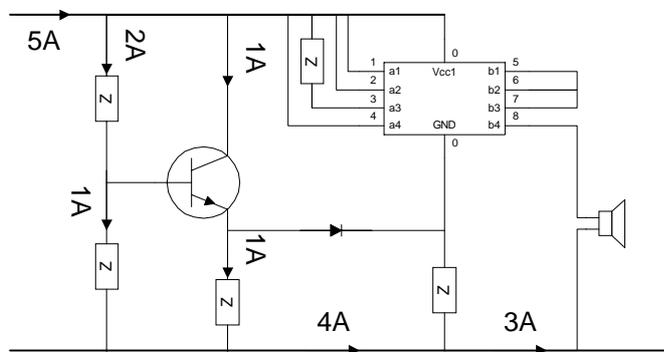
Ex 2.22 : Calculer le courant dans l'ampoule.



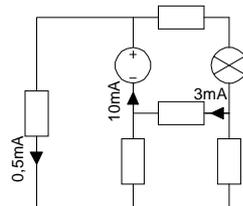
Ex 2.23 : Calculer le courant dans le haut-parleur du circuit suivant.



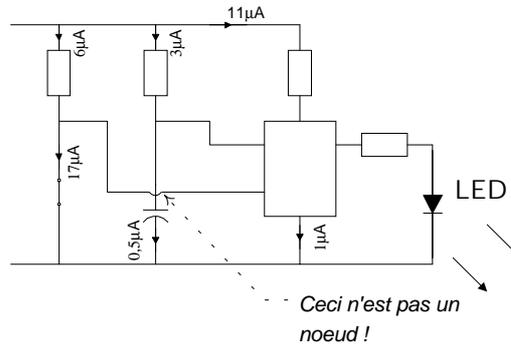
Ex 2.24 : Calculer le courant dans le haut-parleur du circuit suivant.



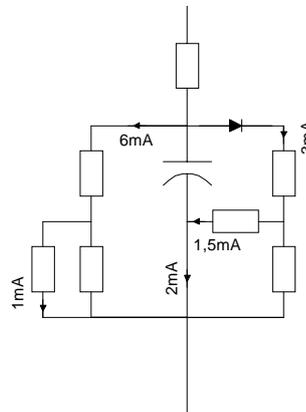
Ex 2.25 : Calculer le courant dans l'ampoule.



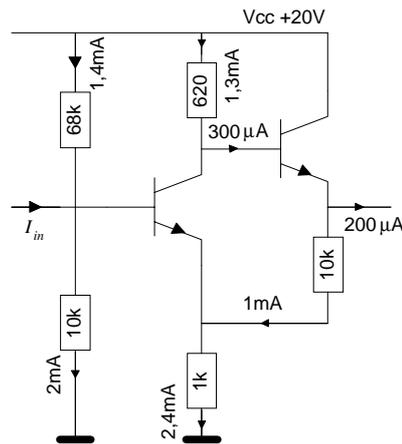
Ex 2.26 : Calculer le courant dans la LED (abréviations anglaises de Light Emitting Diode).



Ex 2.27 : Calculer le courant total consommé par le dipôle suivant (examen fictif janvier 2001)



Ex 2.28 : Calculer le courant I_{in} dans le circuit suivant (examen fictif janvier 2000)



Ex 2.38 : A quel courant correspond le passage de $7,5 \cdot 10^{-9}$ C en 1500 secondes? (niv. 4)

Ex 2.39 : Combien de coulombs sont-ils passés en un point si l'on a mesuré un courant de $4,5 \cdot 10^{-6}$ A pendant $2 \cdot 10^4$ s? (niv. 4)

Ex 2.40 : Combien de temps faut-il à $1,5 \cdot 10^{-5}$ C pour passer dans un courant de $3 \cdot 10^{-4}$ A? (niv. 4)

Ex 2.41 : En une milliseconde, combien de coulombs traversent-ils une montre qui consomme $60 \mu\text{A}$? (niv. 5)

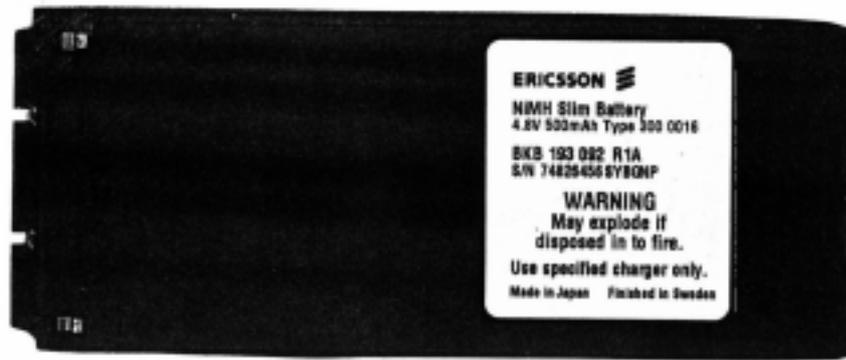
Ex 2.42 : Combien de temps pourriez-vous téléphoner avec un GSM qui consomme 35mA si vous possédez une batterie qui contient $0,7 \text{mAh}$? (niv 5)

Ex 2.43 : Un courant d'intensité très faible, d'un micro-ampère, circule dans une montre. Calculer le nombre d'électrons qui traversent cette montre à chaque seconde. (niv. 5+)

Ex 2.44 : Quelle charge contient un accumulateur électrique s'il se vide en 2h30 avec un courant de $3 \mu\text{A}$? (niv. 5+ / examen fictif janvier 2001)

Ex 2.45 : Combien de temps pourriez-vous téléphoner avec un GSM qui consomme 35mA si vous possédez une batterie qui contient $0,7 \mu\text{Ah}$? (niv. 5+ / examen janvier 2001)

Ex 2.46 : Calculer le courant consommé par un GSM Ericsson dont voici la photo d'une batterie qui peut le faire fonctionner 50h (niv 6.)



Ex 2.47 : Combien de temps pourriez-vous téléphoner avec la batterie Panasonic de la figure 49 p. 48 en supposant qu'un GSM Panasonic consomme, en moyenne, 13mA ? (niv. 6)

Ex 2.48 : Calculer le temps que mettra un chargeur 230 V qui sort 44mA pour charger la pile ci-dessous? (niv. 6)



Ex 2.49 : Calculer le temps minimum que pourrait mettre le chargeur ci-dessous pour recharger la batterie (en supposant qu'elle est initialement déchargée / examen janvier 2000).



Ex 2.50 : Calculer combien de temps mettra approximativement le chargeur ci-dessous pour charger la batterie de GSM si elle est initialement déchargée. (niv. 6 / exa. fictif janv. 2000)

