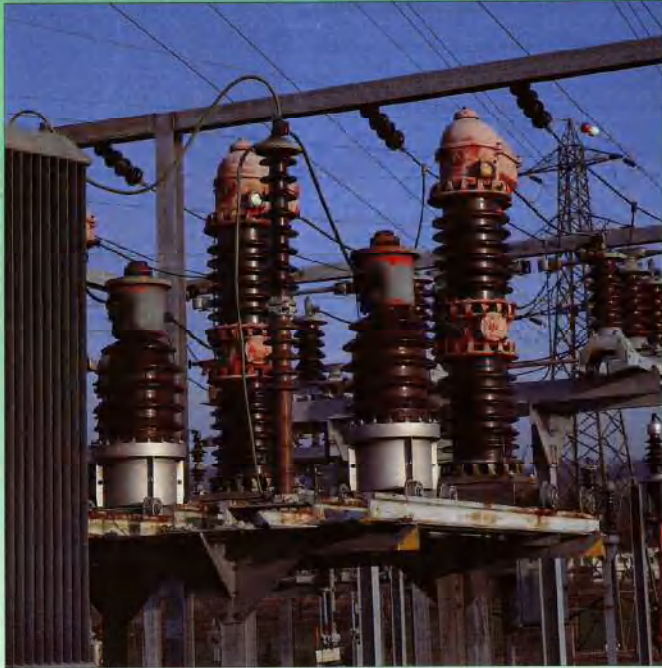


ÉLECTRICITÉ



Chapitre 19. Structure de l'atome

Toute matière est formée d'atomes. La microscopie électronique permet de les compter. Il faudrait pouvoir poursuivre le grossissement pour observer la structure fine de l'atome.

1 Electrification

Dans l'obscurité, quand on ôte des vêtements en matière synthétique, on peut voir de petites étincelles. Parfois, en se brossant les cheveux, on entend de petits crépitements et on observe que les cheveux sont attirés par la brosse et s'écartent les uns des autres.

Ces phénomènes sont dus à l'électrification de la matière par frottement.

EXPÉRIENCE Suspense une baguette de verre préalablement frottée avec un tissu de laine et approcher d'une de ses extrémités une autre baguette de verre elle aussi frottée avec le tissu de laine. Recommencer l'expérience avec un bâton d'ébonite. Suivant la nature du bâton approché, on constate un mouvement de répulsion ou d'attraction.



Foudre et éclair.

2 Loi d'interaction

L'ensemble des objets électrisés peut être partagé en deux catégories, selon qu'ils attirent ou repoussent un corps frotté préalablement choisi. Deux corps de même catégorie



Interaction entre corps électrisés.

se repoussent et un corps d'une catégorie attire un corps de l'autre catégorie. Il existe donc deux espèces d'électrifications. **Par convention**, une baguette de verre électrisée par frottement, ainsi que tous les corps de cette catégorie, sont réputés porter des charges **positives**; ceux de l'autre catégorie des charges **néglatives**.

Deux charges électriques de même signe se repoussent.

Deux charges électriques de signes contraires s'attirent.

Nature du bâton suspendu \ Nature du bâton rapproché	verre	ébonite
	verre	attraction
	ébonite	répulsion

Résultats de l'interaction entre corps électrisés.

Signe de la charge	+	-
+	répulsion	attraction
-	attraction	répulsion

Lois de l'interaction entre charges électriques.

3 Un modèle de l'atome

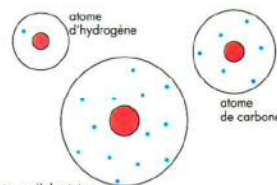
Les expériences d'électrification montrent qu'il y a dans la matière des charges électriques qu'on peut extraire. Un modèle très simple suffit pour expliquer ces phénomènes.

Un atome est formé d'un noyau entouré d'électrons.

Le noyau

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

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



Modèle de quelques atomes (l'échelle n'est pas respectée).

Les électrons

Ce sont des particules beaucoup plus petites que le noyau. La masse de l'**électron** est environ deux mille fois plus petite que celle du proton.

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

Les électrons sont porteurs d'une charge électrique négative.

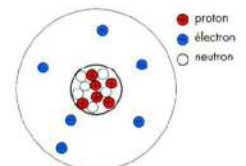
Le symbole de l'électron est e^- .

Quel que soit le type d'atome dont ils proviennent, **tous les électrons sont identiques**. Il en est de même pour les protons et les neutrons du noyau.

L'atome est électriquement neutre

Prenons l'exemple de l'atome de carbone. Il renferme six électrons. Le noyau comporte six protons.

L'ensemble est neutre.



Modèle de l'atome de carbone.

4 Interprétation de l'électrification

Avant le frottement, baguette et tissu de laine sont électriquement neutres. En les frottant, on agit sur les atomes situés à la surface de la baguette et du tissu. Le tissu de laine arrache des électrons aux atomes constituant la baguette de verre; il possède alors un excès d'électrons: il est chargé négativement. La baguette de verre présente un manque d'électrons: elle est chargée positivement.

On ne peut donc que transférer des électrons de la baguette vers le tissu.

La charge électrique est conservée.

Un corps chargé négativement a un excès d'électrons.

Un corps chargé positivement a un défaut d'électrons.

Pour agir sur la charge d'un corps, on ne peut que lui ajouter ou lui enlever des électrons.

5 La charge électrique

La charge électrique se mesure en coulombs [C]. La charge électrique d'un électron est égale en valeur absolue à celle d'un proton. Cette charge élémentaire, notée e , vaut $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

6 La loi de Coulomb

Les caractéristiques de l'interaction électrique entre deux corps chargés sont les suivantes :

- les deux corps subissent des forces opposées de même intensité ;
- la direction des forces est donnée par la droite reliant les centres des deux corps chargés ;
- le sens des forces est répulsif si les charges ont même signe, ou attractif si les charges ont des signes contraires ;
- l'intensité des forces est :
 - proportionnelle au produit des valeurs absolues des charges : $|Q_1|$ et $|Q_2|$
 - inversement proportionnelle au carré de la distance d séparant les centres des deux corps

$$F = F' = k \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

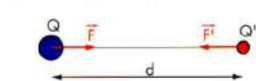
Cette relation constitue la loi de Coulomb.

La constante de proportionnalité k a été déterminée expérimentalement : $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

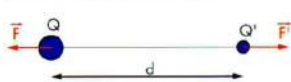
Ainsi deux charges de 1C distantes de 1m se repoussent avec une force d'intensité $F = 9 \cdot 10^9 \text{ N}$.

1C est l'ordre de grandeur de la charge mise en jeu dans la décharge d'un éclair.

a) Deux charges de signes différents



b) Deux charges de même signe



12 Foudre et éclairs

Foudre et éclairs sont des phénomènes d'électrisation naturels. Un orage se déclenche souvent l'été, l'air étant chaud et humide. Un orage prend sa source dans de gros nuages, au sommet très élevé : les cumulo-nimbus.

A cette altitude, les gouttelettes d'eau se transforment en cristaux de glace qui retombent vers la base du nuage. Les particules descendantes s'électrisent sous l'effet du frottement de l'air chaud et des gouttelettes ascendantes. Les nuages ont ainsi des zones chargées positivement et des zones chargées négativement.

Si la concentration des charges électriques est suffisamment élevée, l'attraction est telle entre ces charges qu'il peut se produire une décharge électrique. Des charges passent d'un corps sur l'autre à travers l'air qui les sépare. Il y a émission de lumière.



Ce phénomène se produit lors d'un orage. On observe des décharges entre deux nuages : ce sont les éclairs, et parfois des décharges entre le sol et les nuages : c'est le phénomène de la foudre.

La foudre atteint de préférence les objets les plus hauts et les plus pointus : cime des arbres, poteaux, tours, antennes de télévision... Lors d'un orage, on évite de se réfugier sous un arbre ou à côté de tels objets. La foudre n'a que très peu de chance de frapper en terrain plat et découvert. Pour protéger les bâtiments ou des installations, on utilise cette attirance vers les objets pointus en installant un paratonnerre. C'est une tige métallique dressée au sommet d'un toit et reliée à la terre. Son rôle est d'acheminer les charges électriques vers la terre.

Enfin on entend, lors d'un orage, un roulement caractéristique : le tonnerre. C'est le bruit produit par l'onde de choc de l'éclair.



- Rappeler les lois d'interaction entre charges électriques. Les utiliser pour expliquer la formation d'un éclair.
- Comment apparaissent les charges électriques dans les nuages ?
- Quelle différence existe-t-il entre l'éclair et la foudre ?
- Où la foudre «tombe-t-elle de préférence ? Pourquoi ?
- Qu'est-ce que le tonnerre ?
- Rechercher le nom de l'inventeur du paratonnerre. Pensez-vous que le nom de cet appareil ait été bien choisi ? En proposer un autre.

EXERCICES

1 Copier et compléter les phrases suivantes :

Un atome est formé d'un et d'..... Entre le et les il existe un vide de matière. Le noyau est chargé Un porte une charge négative. Le symbole de l'électron est L'atome est du point de vue électrique. Le rassemble presque toute la masse de l'atome.

2 Énoncer les lois d'interaction entre corps électrisés.

3 Répondre par «oui» ou par «non» aux affirmations suivantes :

- Un atome porte une charge électrique positive.
- Un électron n'a pas de masse.
- Tous les électrons sont identiques.
- Le noyau est environ dix fois plus petit que l'atome.
- Le nombre d'électrons caractérise un type donné d'atomes.
- Les électrons ne peuvent pas quitter l'atome.
- Un corps chargé positivement présente un défaut d'électrons.

4 Décrire quelques phénomènes d'électrisation observables dans la vie courante.

Essayer d'en expliquer l'origine.

5 Construction d'un pendule électrique :

Recouvrir de papier d'aluminium une petite boule de polystyrène expansé. La fixer avec du ruban adhésif à un fil de coton (ou de soie ou de nylon) d'une vingtaine de centimètres.



Approcher de la boule une règle en matière plastique frottée par un chiffon. Qu'observe-t-on ? Que se passe-t-il quand la règle touche la boule ? Pourquoi ?

6 On doit aux Grecs l'origine du mot atome. Il signifie «qui on ne peut couper». Que penser maintenant de cette signification ?

7 L'unité de charge électrique est le coulomb [C]. La charge de l'électron vaut $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Quelle est la charge du noyau d'hydrogène ?

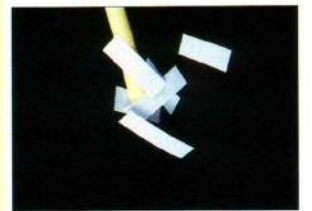
8 Approcher les mains ou, mieux encore, l'avant-bras dénudé du poste de télévision allumé. Que ressent-on ? Pourquoi ?

9 Un mince filet d'eau est dévié par une règle électrisée. Réaliser cette expérience et la décrire.

10 Le diamètre du noyau d'un atome est d'environ $4 \cdot 10^{-15}$ mètre, celui de l'atome 10^{-10} mètre.

- Si on représente le noyau par une sphère de un centimètre de diamètre, calculer le diamètre de la sphère que représenterait l'atome. Exprimer le résultat en mètres.
- Le diamètre de l'électron, à cette échelle, peut être évalué à deux millimètres. Commenter cette phrase : «un atome est fait essentiellement de vide».

11 Une règle en matière plastique électrisée attire de petits morceaux de papier. Réaliser cette expérience. Essayer de l'interpréter. Il faudra admettre que la répartition des charges électriques a été modifiée dans les petits morceaux de papier. Attention, seuls les électrons peuvent se déplacer.



13 A l'intérieur de l'atome

John Dalton pensait qu'un atome était un bloc de matière compact, une sorte de minuscule boule de billard. Quarante-vingt-dix ans plus tard, en 1897, le physicien J. J. Thomson démontra qu'il n'en est rien. Il découvrit que les atomes contenaient des particules portant une charge électrique négative. Ces particules hurent par la suite appelées électrons.

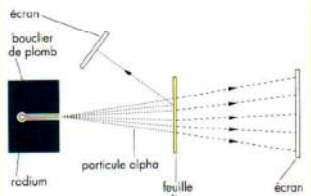
Sachant que la matière est, dans son ensemble, électriquement neutre, Thomson en déduisit que les atomes devaient également receler une charge positive compensant la charge négative de leurs électrons. Toutefois, il supposa que les charges positives et négatives étaient également réparties dans toute la masse de l'atome, un peu à la manière des raisins secs dans un cake.

D'autres savants estimèrent que toute la charge positive devait au contraire être localisée dans une toute petite partie de l'atome. Le physicien Ernest Rutherford fut le premier, en 1911, à décrire la structure de l'atome telle que nous la connaissons aujourd'hui.

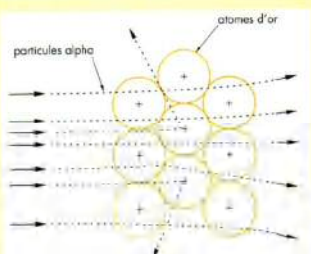
Au cours d'une expérience célèbre, il bombarde une feuille d'or avec des particules chargées positivement. Deux charges positives se repoussent mutuellement, ces particules ne devaient être déviées qu'à proximité des zones de la feuille d'or chargées positivement, la plupart d'entre elles traversant la feuille d'or en ligne droite. Ce fut effectivement ce qui se produisit et cela démontra que la théorie de Thomson était erronée. Rutherford avait prouvé que la charge positive de chaque atome d'or n'occupait qu'une infime partie de cet atome. Nous appelons cette partie **noyau** et Rutherford a démontré qu'elle ne représentait qu'un millionième de millionième du volume total de l'atome.

Le noyau d'un atome est composé de **protons**, généralement accompagnés de **neutrons**. Ceux-ci ont à peu près la même masse que les protons, mais ne portent pas de charge. La masse d'un proton étant près de deux mille fois supérieure à celle d'un électron, presque toute la masse d'un atome est localisée dans son noyau.

D'après «l'Espèce, la Matière», Collection Sciences et Techniques d'aujourd'hui, © Larousse.



L'expérience de Rutherford.



Interprétation de l'expérience avec le modèle de l'atome proposé par Rutherford.

- Décrire le modèle de l'atome proposé par chacun des trois savants cités dans le texte.
- Les particules positives bombardent la feuille d'or sous des particules alpha : des noyaux d'hélium. L'atome d'hélium renferme deux électrons. Quelle charge porte une particule alpha ?
- Rappeler les lois d'interaction entre charges électriques. Expliquer pourquoi certaines particules alpha rebondissent en frappant la feuille d'or (figure du bas).
- Sur le modèle de la figure précéder le résultat de l'expérience décrite : le modèle correct pour l'atome était celui préconisé par J. J. Thomson.
- Donner le nom des particules entrant dans la composition du noyau.

Corrigé des exercices

Structure de l'atome

Exercice 1

Un atome est formé d'un noyau et d'électrons. Entre le noyau et les électrons il existe un vide de matière. Le noyau est chargé positivement. Un électron porte une charge négative. Le symbole de l'électron est e^- . L'atome est neutre du point de vue électrique. Le noyau rassemble presque toute la masse de l'atome.

Structure de l'atome

Exercice 2

Deux charges électriques de même signe se repoussent.

Deux charges électriques de signes contraires s'attirent.

Structure de l'atome

Exercice 3

- La somme des charges électriques d'un atome est nulle.
- La masse de l'électron est environ 2 000 fois plus faible que celle du proton.
- Quel que soit le type d'atome, tous les électrons sont identiques.
- Le noyau est environ cent mille fois plus petit que l'atome.
- C'est le nombre de protons qui caractérise un type d'atome donné.
- On peut ioniser un atome en lui enlevant (ou en lui ajoutant) un ou plusieurs électrons.
- On peut exciter un atome en lui apportant de l'énergie (chaleur, décharge électrique, rayonnement,...). Un ou plusieurs électrons peuvent alors sauter sur une couche externe; en retombant sur leur niveau fondamental, ils émettent un rayonnement.
- Un corps étant normalement neutre, il présente un défaut d'électrons lorsqu'il est chargé positivement.

Structure de l'atome

Exercice 4

Le fait de frotter un vêtement en fibres synthétiques le charge électriquement. On perçoit, par exemple en ôtant un pull-over, des crépitements qui mettent en évidence la présence des charges électriques.

Par temps sec, il arrive souvent qu'après un trajet en voiture, on reçoive une décharge électrique en descendant du véhicule. La carrosserie s'est chargée par frottement dans l'air, les charges sont accumulées sur le véhicule isolé par les pneus et s'écoulent lorsqu'on met le pied à terre en touchant la carrosserie. Il est également possible de se charger par frottement sur les sièges.

Durant un orage, les masses d'air en mouvement se chargent électriquement. Des différences de charges importantes apparaissent entre elles et avec le sol. Il en résulte parfois des décharges violentes entre ces masses d'air ou avec le sol : c'est la foudre.

La carcasse des avions est mise à terre lorsqu'on fait le plein de carburant afin d'éviter que, par frottement toujours, le carburant et la carcasse de l'avion ne se chargent, ce qui risque de provoquer une étincelle et une explosion.

Structure de l'atome

Exercice 12

- Les charges de même signe se repoussent, les charges de signes contraires s'attirent. Une décharge électrique peut alors survenir entre deux nuages chargés, c'est le phénomène de la foudre.
- Les masses d'air se chargent par frottement; ce phénomène compliqué est encore mal décrit.
- La foudre produit de la lumière (l'éclair) et du bruit (le tonnerre).
- La foudre atteint de préférence les objets placés haut et les plus pointus. La concentration de charges dans les pointes est plus élevée, d'où l'attraction de la foudre pour les pointes.
- Le tonnerre est le bruit produit par l'onde de choc de la décharge électrique.
- Benjamin Franklin a inventé le paratonnerre en décembre 1752. Un jour d'orage, à l'aide d'un cerf-volant muni d'une pointe de fer à laquelle était attachée une corde de chanvre conductrice, il en tire des étincelles au moyen d'une pièce de fer placée à l'extrémité de la corde. A noter que des expériences semblables ont été réalisées par de nombreux chercheurs, parfois à leur détriment, ils furent électrocutés ou foudroyés. Un nom plus adéquat pour le paratonnerre serait *parafoudre*.

Structure de l'atome

Exercice 13

- Dalton, Thomson et Rutherford pensaient tous trois que la matière est composée d'atomes, mais chacun avec un degré de conception différent.
Dalton considérait l'atome comme indivisible et compact.
Thomson mit en évidence la présence de particules chargées négativement (les électrons); il considérait la matière comme un cake contenant des raisins secs : la pâte du cake représentant la matière positive et les raisins représentant les électrons négatifs.
Rutherford mit en évidence l'existence du noyau chargé positivement; d'après lui l'atome est presque vide de matière.
Les neutrons ne furent mis en évidence que bien plus tard (en 1932) par Chadwick.
- La charge d'une particule alpha (noyau d'hélium) vaut $2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (2 protons).
- Les charges de même signe se repoussent, les charges de signes contraires s'attirent. Dans l'expérience de Rutherford, lorsqu'une particule alpha passe à proximité immédiate d'un noyau d'or, les charges de même signe du noyau d'or et de la particule induisent une diffusion de ces dernières.
- Aucune particule positive ne pourrait traverser la feuille d'or si sa structure était celle d'un cake compact.
- Les particules composant le noyau sont le proton et le neutron.

Structure de l'atome

Exercice 5

En approchant une règle chargée de la boule, on observe que la boule recouverte de papier d'aluminium est attirée par la règle.

La charge de la règle polarise la boule conductrice : la répartition des charges dans la boule n'est plus uniforme. La partie de la boule proche de la règle acquiert une charge électrique opposée à celle de la règle; la boule est attirée par la règle.

Par contact (transfert d'électrons), la boule acquiert globalement une charge de même signe que la règle; elles se repoussent.

Structure de l'atome

Exercice 6

Démocrite pensait que la plus petite partie de matière conservant ses propriétés, qu'il appela « atome », était indivisible. Thomson découvrit que les atomes contenaient des particules portant une charge négative et Rutherford découvrit en 1911 que l'atome comprenait un noyau chargé positivement. On sait maintenant que le noyau contient des protons chargés positivement et des neutrons non chargés. D'après les modèles actuels les protons et les neutrons sont composés de particules plus petites, portant une charge fractionnaire, appelées quarks.

Structure de l'atome

Exercice 7

Un noyau d'hydrogène étant constitué d'un proton, sa charge électrique a la même valeur absolue que celle de l'électron, son signe est positif; sa charge vaut $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Structure de l'atome

Exercice 8

En approchant le bras dénudé de l'écran d'un poste de télévision allumé, on perçoit une attraction des poils par l'écran, un grésillement et une légère décharge électrique. Cela provient de la surface de verre de l'écran qui se charge sous l'effet de l'impact des électrons émis par le tube image.

Structure de l'atome

Exercice 9

Les molécules d'eau sont polarisées, l'atome d'oxygène portant un excès d'électrons par rapport aux deux atomes d'hydrogène non alignés avec l'oxygène. On dit alors que la molécule d'eau constitue un dipôle électrique. Sous l'influence de la règle chargée, les molécules d'eau s'orientent (se tournent) avec la partie de charge opposée à celle de la règle du côté de la règle. Quelle que soit la charge de la règle, elle attire le filet d'eau.

Structure de l'atome

Exercice 10

- Si on représente le noyau par une sphère de un centimètre de diamètre, le diamètre de l'atome vaut alors environ $4 \cdot 10^5 \text{ cm}$ soit 4 km.
- Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Structure de l'atome

Exercice 11

Les électrons du papier migrent à l'opposé de la règle. L'extrémité des morceaux de papier proches de la règle a alors un défaut d'électrons, elle se comporte comme une charge positive et est attirée par la règle.

- 166 -

Chapitre 20. Le courant électrique dans les métaux

Au cours des expériences faites dans le chapitre précédent, on a arraché des électrons en frottant ensemble des matières isolantes. Dans ce type de matière, les électrons ne se déplacent pas facilement; c'est pour cette raison que l'on parle d'électrostatique.

Dans des matériaux conducteurs comme les métaux, certains électrons se déplacent facilement et peuvent ainsi créer un courant électrique.

1 Les électrons libres

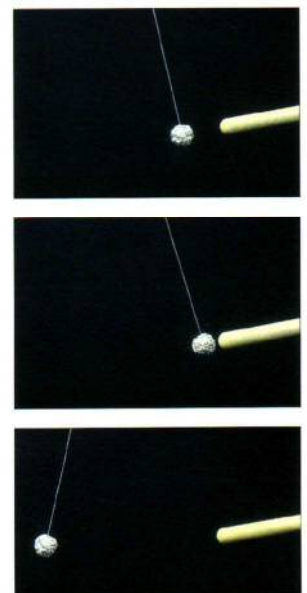
EXPÉRIENCE Une boulette de papier d'aluminium, non chargée, est suspendue à un fil de nylon, réalisant ainsi un pendule. En approchant un bâton d'ébonite chargé, on observe une attraction du pendule. Dès que le pendule touche le bâton d'ébonite, il est violemment repoussé.

Interprétation

Le bâton d'ébonite porte un excès d'électrons. La boulette non chargée se comporte en fait comme une charge positive vis-à-vis du bâton d'ébonite, d'où l'attraction observée. Après contact, la répulsion du pendule montre que la boulette est alors chargée négativement. Des électrons ont été transférés sur cette boulette.

On observerait le même phénomène en intercalant entre le bâton d'ébonite et la boulette de papier d'aluminium une règle métallique. Même sans contact entre le bâton d'ébonite et la règle métallique, le pendule s'écarte. Les charges négatives responsables de cette répulsion proviennent donc de la règle métallique. Ce phénomène ne serait pas observable si la règle métallique était remplacée par une règle en plastique.

Il existe dans un métal des électrons susceptibles de se déplacer. Ils sont appelés électrons libres.



2 Conducteurs et isolants

La conductibilité électrique indique la facilité avec laquelle des charges électriques peuvent se déplacer dans un conducteur. Elle est variable d'un corps à l'autre. Du point de vue électrique, on distingue deux grandes classes de corps: les **conducteurs** et les **isolants** (non conducteurs).

Dans les conducteurs, les particules chargées négativement (électrons libres) peuvent sous certaines conditions se déplacer relativement facilement.

Tous les métaux sont conducteurs, mais tous les électrons d'un métal ne sont pas libres. Pour le cuivre, par exemple, un seul sur vingt-neuf peut se déplacer librement.

Un isolant conduit très mal le courant électrique. A titre d'exemple, le verre et le mica sont respectivement 10^{19} et 10^{22} fois moins conducteurs que le cuivre...

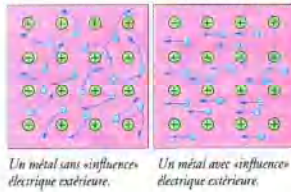
Cela signifie qu'il faudra respectivement 10^{19} et 10^{22} fois plus d'énergie pour y déplacer des électrons.

3 Nature du courant dans un métal

Dans un métal comme le cuivre, les noyaux positifs sont alignés régulièrement et sont pratiquement fixes.

Si le métal est soumis à l'influence de charges voisines, les électrons libres sont sollicités dans une direction déterminée: c'est le courant électrique.

Dans un conducteur métallique, le courant électrique est dû à un mouvement d'ensemble des électrons libres. Ce mouvement est très lent (quelques millimètres par minute).

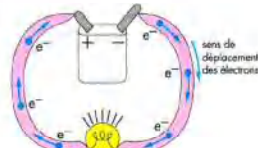


Un métal sans «influence» électrique extérieure. Un métal avec «influence» électrique extérieure.

4 Rôle du générateur

Les charges sont mises en mouvement par un générateur qui leur communique de l'énergie.

Le générateur ne crée pas les charges qui sont déjà présentes dans le métal. Il provoque la circulation des électrons libres.



Le générateur, une «pompe» à électrons.

Chez soi

On se sert le plus souvent d'une rallonge. Elle est constituée par un conducteur à trois fils, terminée par une fiche à trois broches (fiche mâle), et une fiche à trois alvéoles (fiche femelle).

En électronique

Les liaisons sont réalisées par soudage des pièces sur une carte appelée «circuit imprimé».

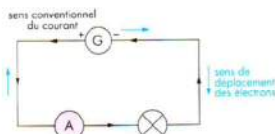


Les deux extrémités d'une rallonge.

6 Sens du courant

Le sens du courant a été fixé arbitrairement par les physiciens au début du XIX^e siècle alors qu'on ne connaissait pas encore les électrons.

Le sens conventionnel du courant électrique est imposé par le générateur: le courant circule de la borne \oplus à la borne \ominus . On constate que ce sens est opposé au sens réel de déplacement des électrons.



7 Les effets de courant électrique

En réalisant le circuit ci-contre, on constate au passage du courant que:

- le filament de la lampe s'échauffe et devient lumineux; c'est l'effet thermique du courant électrique ou effet Joule;
- l'aiguille aimantée dévie lorsqu'on enclenche le courant; c'est l'effet magnétique du courant électrique;
- l'eau est dissociée en hydrogène et oxygène; c'est l'effet chimique du courant électrique.



Les effets du courant électrique.

Il se comporte comme une «pompe» qui aspire les électrons par sa borne positive et les refoule par sa borne négative. Pour entretenir cette circulation, le générateur utilise de l'énergie.

Un récepteur est un appareil, comme l'ampoule, qui reçoit et transforme l'énergie du courant électrique en une autre forme d'énergie utile.

5 Le circuit électrique

Un circuit électrique désigne un ensemble de fils conducteurs et d'appareils pouvant être parcourus par des charges électriques.

Continuité du circuit électrique

Dans tous les montages, une ampoule ne s'allume que si ses deux bornes sont reliées aux deux bornes du générateur par une succession ininterrompue de corps conducteurs. On dit que le circuit est fermé.

Dans le cas contraire, le circuit est dit ouvert et l'ampoule ne brille pas.

Continuité dans l'ampoule

On retrouve la continuité du circuit à l'intérieur même d'une ampoule en bon état. On peut le voir en la démontant.

Lorsque le filament se casse, le circuit est interrompu, le courant ne peut plus circuler.

L'interrupteur

Un interrupteur est un dispositif qui permet de fermer ou d'ouvrir un circuit électrique.

Si l'interrupteur est fermé, les points A et B sont reliés, le courant électrique circule, et l'ampoule brille.

Si l'interrupteur est ouvert, les deux points A et B sont séparés par l'air qui est isolant, le courant électrique ne circule plus et l'ampoule est éteinte.

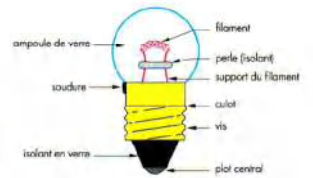
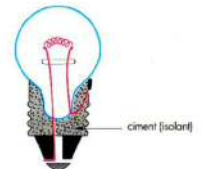
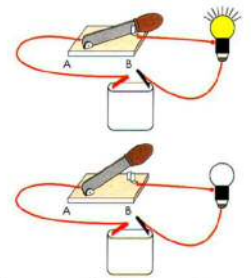


Schéma d'une ampoule à vis. Le culot en laiton est isolé du plot central par une partie en verre noir.



En dévissant le culot et en grattant le ciment, on obtient l'ampoule de verre seule, traversée par deux fils métalliques reliés au filament.



Si l'interrupteur est fermé, le courant circule. Si l'interrupteur est ouvert, le courant ne circule pas.

Chez soi

On se sert le plus souvent d'une rallonge. Elle est constituée par un conducteur à trois fils, terminée par une fiche à trois broches (fiche mâle), et une fiche à trois alvéoles (fiche femelle).

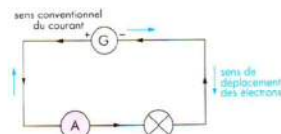
En électronique

Les liaisons sont réalisées par soudage des pièces sur une carte appelée «circuit imprimé».

6 Sens du courant

Le sens du courant a été fixé arbitrairement par les physiciens au début du XIX^e siècle alors qu'on ne connaissait pas encore les électrons.

Le sens conventionnel du courant électrique est imposé par le générateur: le courant circule de la borne \oplus à la borne \ominus . On constate que ce sens est opposé au sens réel de déplacement des électrons.



7 Les effets de courant électrique

En réalisant le circuit ci-contre, on constate au passage du courant que:

- le filament de la lampe s'échauffe et devient lumineux; c'est l'effet thermique du courant électrique ou effet Joule;
- l'aiguille aimantée dévie lorsqu'on enclenche le courant; c'est l'effet magnétique du courant électrique;
- l'eau est dissociée en hydrogène et oxygène; c'est l'effet chimique du courant électrique.



Les effets du courant électrique.

E XERCICES

1 Copier et compléter les phrases suivantes:

Un métal possède des faiblement liés aux On les appelle Dans un métal, le courant électrique est dû à des Ce mouvement est très Un isolant ne possède pas Il ne pas le courant électrique.

2 Dans un circuit électrique fermé, quel rôle joue le générateur ?

3 Répondre par «oui» ou par «non» aux affirmations suivantes:

- Tous les électrons d'un métal sont libres.
- L'ordre de grandeur de la vitesse du mouvement d'ensemble des électrons est de quelques millimètres par minute.
- Le sens conventionnel du courant est le même que le sens de circulation des électrons.
- Les électrons sortent par la borne négative du générateur.

4 Le métal meilleur conducteur d'électricité est l'argent. Pour quelles raisons est-il cependant beaucoup moins utilisé en «construction électrique» que le cuivre ou l'aluminium ?

5 Pour décharger un pendule électrostatique, on le touche avec le doigt. Pourquoi ?

Que pouvez-vous dire à propos du corps humain ?

La photographie ci-dessous montre une personne qui a été électrisée par une machine. Quelle précaution a-t-on prise pour que cet effet spectaculaire persiste ?



6 «L'air est un isolant».

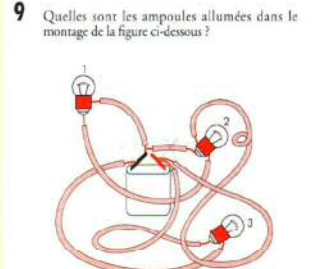
Cette affirmation est-elle vraie en toutes circonstances ? Justifier votre réponse.

7 On dit d'un générateur qu'il est une «pompe à électrons».

Justifier cette expression en faisant une analogie avec un circuit hydraulique.

8 Un tube de cuivre est tenu à la main. On veut l'électriser en le frottant avec un chiffon de laine. Est-ce possible ? Pourquoi ?

9 Quelles sont les ampoules allumées dans le montage de la figure ci-dessous ?



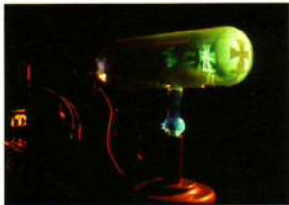
10 La photo ci-dessous représente des torches électriques.

Combien de lampes sont-elles allumées ?



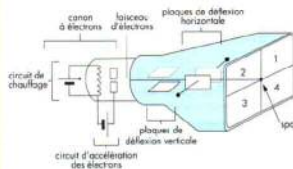
11 Extraction des électrons d'un métal

Il est possible d'extraire les électrons, notamment les électrons libres, d'un métal. Un moyen consiste à le soumettre à une haute tension.



La photographie montre comment on obtient ainsi un faisceau d'électrons dans un tube où règne un vide poussé. Les électrons étant invisibles, leur trajectoire est visualisée grâce aux chocs qu'ils produisent sur une plaque fluorescente ou sur le verre. Il y a alors émission de lumière.

Ce principe de visualisation est également mis à profit dans l'oscilloscope cathodique. La source d'électrons est constituée par un canon à électrons. Celui-ci comprend une plaque métallique chauffée par un filament porté à incandescence. Les électrons émis par le métal sont attirés, canalisés et accélérés pour former un pinceau très fin. Ce pinceau frappe l'écran recouvert d'une substance fluorescente et donne le spot observable. Des plaques, dites de déflexion, peuvent être chargées électriquement et provoquer la déviation du spot. Dans un téléviseur, la déviation du faisceau est obtenue à l'aide de deux champs magnétiques créés par des bobines.



On peut arracher les électrons d'un métal en le soumettant à un éclaircissement. Ce dispositif mis au point pour illustrer cet effet photoémissif s'appelle une cellule photoélectrique. On l'utilise dans les caméras de télévision et dans les appareils de mesure d'intensité lumineuse.

- Citer trois moyens permettant d'extraire les électrons d'un métal.
- Quelle est la polarité (borne \oplus et borne \ominus) du tube de Crookes ?
- Dans le canon à électrons, justifier la polarité de la source alimentant le circuit d'accélération des électrons.
- Comment visualise-t-on des électrons ?

Corrigé des exercices

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 1

Un métal possède des électrons faiblement liés au noyau. On les appelle électrons libres. Dans un métal, le courant électrique est dû à un mouvement d'ensemble des électrons libres. Ce mouvement est très lent. Un isolant ne possède pas d'électrons libres. Il ne conduit pas le courant électrique.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 2

Dans un circuit électrique fermé, le générateur joue le rôle de «pompe» à électrons. Il les met en mouvement en leur communiquant de l'énergie.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 3

- Non, seuls certains électrons externes des atomes d'un métal sont libres (faiblement liés). Exemple: pour le cuivre 1 électron sur 29.
- Oui, ce mouvement est en effet très lent, la propagation du signal électrique est bien plus rapide, il s'agit d'une onde électromagnétique qui se propage à la vitesse de la lumière, soit environ 300 000 km/s.
- Non. Le sens conventionnel du courant est inversé par rapport au sens de circulation des électrons. Le choix du sens conventionnel du courant étant antérieur à la découverte de l'électron, il y avait une chance sur deux de se tromper.
- Oui. Le générateur refoule les électrons par sa borne négative.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 4

Il semble évident que l'or n'est pas utilisé «en construction électrique» du fait de sa rareté et de son prix. D'autre part, ses caractéristiques mécaniques (masse volumique, dureté, résistance à la traction, etc.) ne sont pas comparables à celles d'autres métaux conducteurs.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 5

On peut décharger un pendule électrostatique avec les doigts car notre corps est conducteur. Si notre corps est en contact avec la terre, il décharge le pendule. Si notre corps est isolé de la terre, il «dilue» la charge du pendule.

Le corps humain est en majorité constitué d'eau avec des sels minéraux en solution; il est conducteur d'électricité à partir d'une tension de quelques dizaines de volts.

Pour conserver la charge électrique de la personne, on prend la précaution de l'isoler du sol en la plaçant sur un tabouret de bois par exemple.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 6

L'air sec est un isolant. Cela n'est vrai qu'en certaines circonstances. En règle générale, l'air contient une certaine quantité de vapeur d'eau, ce qui le rend conducteur.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 7

On peut comparer la circulation des électrons avec une pompe hydraulique. La pompe ne fait que mettre en mouvement un liquide existant de même qu'un générateur ne fait que mettre en mouvement des électrons libres existant déjà dans le métal.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 8

On ne peut pas électriser un tube de cuivre tenu à la main. Le cuivre étant conducteur, de même que le corps humain, les charges obtenues par frottement ne s'accumulent pas sur le tube mais s'écoulent immédiatement vers le sol.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 9

Les ampoules N°1 et N°3 sont allumées, l'ampoule N°2 est en court-circuit.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 10

Les trois ampoules sont allumées.

Le courant électrique dans les métaux

Exercice 11

- Il est possible d'arracher des électrons à un métal soit en le soumettant à une très haute tension (tube de Crookes), soit en chauffant un filament et en extrayant les électrons (tube cathodique), soit en soumettant certains matériaux (le sulfure de cadmium CdS, par exemple) à un flux lumineux (effet photoélectrique).
- La borne négative du tube de Crookes est celle qui émet les électrons, la borne positive étant celle se trouvant dans le pied de l'appareil.
- Les électrons, chargés négativement, seront attirés par le tube relié à la borne positive du générateur.
- Les électrons, en frappant une surface recouverte d'une substance fluorescente cèdent leur énergie cinétique en produisant de la lumière. C'est l'effet photoélectrique.

Chapitre 21. L'intensité du courant électrique et la tension

Un courant électrique dans un conducteur est un mouvement d'ensemble des électrons libres. Les effets du courant dépendent du débit d'électrons. L'intensité du courant mesure ce débit.

1 L'intensité du courant

On considère un fil conducteur parcouru par un courant. Le courant étant établi pendant une durée Δt , on désigne par n le nombre d'électrons traversant une section quelconque du fil. La charge électrique correspondante est, en valeur absolue:

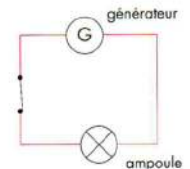
$$|Q| = n \cdot e$$

On définit l'intensité I du courant par:

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

Cette grandeur représente la charge électrique traversant une section quelconque du conducteur par unité de temps. Elle se mesure en ampères [A], du nom du physicien et mathématicien français André Marie Ampère (1775-1836).

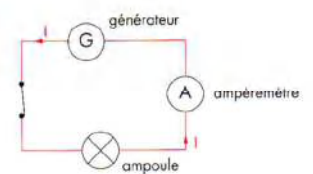
Un courant de 1 ampère représente un débit de charges électriques de 1 coulomb par seconde, soit le passage de $6,25 \cdot 10^{18}$ électrons par seconde.



2 La mesure de l'intensité; l'ampèremètre

L'intensité I se mesure avec un ampèremètre que l'on intercale dans le circuit ou à l'endroit où l'on désire connaître sa valeur.

L'ampèremètre se branche en série.



L'ampèremètre se branche en série.

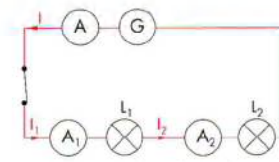
3 Intensité dans un circuit en série

Deux récepteurs, par exemple deux ampoules, sont branchés **en série** dans un circuit s'ils sont disposés bout à bout entre les bornes du générateur. On dit aussi que le circuit est formé d'une seule **maille**.

Deux récepteurs en série sont parcourus par le même courant électrique, donc **l'intensité du courant est la même en chaque point d'un circuit série**:

$$I = I_1 = I_2$$

Des ampèremètres branchés en différents endroits du circuit confirment cette propriété.



Les trois ampèremètres indiquent la même valeur.

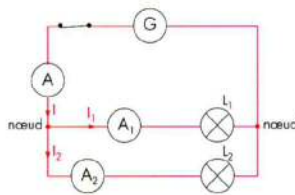
4 Intensités dans un circuit en parallèle

Deux récepteurs, par exemple deux ampoules, sont branchés **en parallèle** dans un circuit si les bornes du premier sont connectées aux bornes du second. Le **courant principal I** sortant du générateur se sépare en deux courants I_1 et I_2 dans les récepteurs L_1 et L_2 . On dit que le circuit est formé de deux **mailles**; le point du circuit où le courant se sépare est un **noeud**.

Dans un circuit en parallèle, l'intensité I du courant électrique qui arrive à un noeud est égale à la somme des intensités I_1 et I_2 des courants qui en partent:

$$I = I_1 + I_2$$

La mesure des intensités à l'aide d'ampèremètres confirme cette propriété.

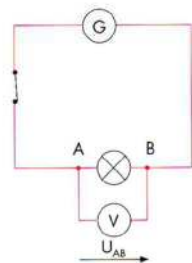


La valeur indiquée par l'ampèremètre A est la somme des valeurs indiquées par les ampèremètres A_1 et A_2 .

7 La mesure de la tension; le voltmètre

La tension entre deux points **A** et **B** d'un circuit se mesure avec un voltmètre.

On le branche en parallèle avec la portion de circuit qui nous intéresse.



Le voltmètre V se branche en parallèle.

8 Tensions dans un circuit en série

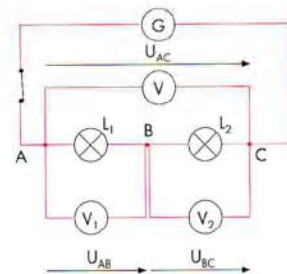
Considérons un circuit composé de deux ampoules en série.

L'énergie transformée lors du passage de 1 C à travers tout le circuit est la somme des énergies transformées au passage de cette charge à travers chaque ampoule.

La tension U_{AC} aux bornes du circuit en série est égale à la somme des tensions U_{AB} et U_{BC} aux bornes de chaque ampoule:

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$

Cette propriété se vérifie à l'aide de voltmètres.



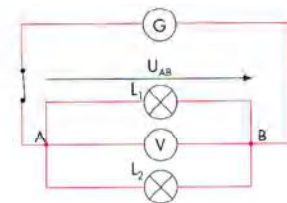
La valeur indiquée par le voltmètre V est la somme des valeurs indiquées par les voltmètres V_1 et V_2 .

9 Tension dans un circuit en parallèle

Les deux ampoules sont maintenant branchées en parallèle. Désignons par **A** et **B** leurs bornes communes.

L'énergie pour faire passer une charge de 1 C (et par conséquent une charge quelconque) de **A** à **B** est la même quelle que soit l'ampoule traversée.

Un seul voltmètre branché en **A** et **B** mesure la tension commune aux bornes de chaque ampoule. La tension aux bornes de chaque ampoule est la même.



Le voltmètre V indique la tension U_{AB} commune aux ampoules L_1 et L_2 .

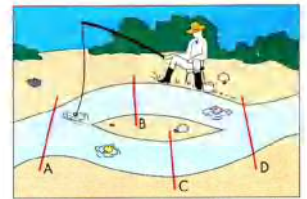
5 Une image pour mieux comprendre l'intensité du courant

On peut comparer la circulation du courant électrique dans un circuit au courant d'une rivière. L'intensité électrique est alors représentée par le débit d'eau.

La charge électrique étant conservée, l'intensité du courant est la même avant et après la dérivation.

Le courant électrique est conservé.

L'illustration permet de se représenter ce qui se passe dans un circuit en parallèle.



Le débit de l'eau, mesuré en A ou D, est la somme des débits mesurés en B et C.

6 La tension ou différence de potentiel

Le déplacement des charges électriques entre les extrémités **A** et **B** d'un circuit nécessite de l'énergie. Cette énergie est transformée par le conducteur.

Par définition, la tension (ou différence de potentiel) U_{AB} entre A et B est l'énergie transformée au passage d'une charge de 1 C entre A et B.

L'énergie E_{AB} transformée lors du déplacement d'une charge quelconque $|Q|$ dans le conducteur est alors donnée par:

$$E_{AB} = U_{AB} \cdot |Q|$$

L'unité de mesure de la tension est le volt [V], du nom du physicien italien Alessandro Volta (1745-1827), inventeur de la pile électrique.

$$1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$$

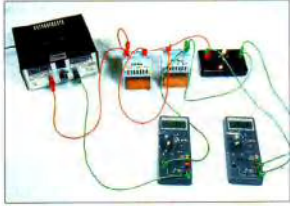
Remarque

Une situation analogue a été rencontrée en mécanique: le travail minimum pour soulever un corps d'un point **A** à un point **B** ne dépend pas du trajet suivi.

Le tableau ci-dessous établit la correspondance entre les paramètres jouant un rôle analogue dans les deux situations:

Paramètres électriques	Paramètres mécaniques
Ampoule L_1 entre deux points A et B d'un circuit	Premier trajet reliant deux points A et B
Ampoule L_2 entre A et B	Second trajet entre A et B
Charge Q passant de A et B	Masse m passant de A et B
Energie pour déplacer la charge Q entre A et B:	Travail minimum pour déplacer la masse m entre A et B:
$E = U_{AB} \cdot Q $	$W_{\min} = g \cdot \Delta h \cdot m$
Cette énergie ne dépend pas de l'ampoule traversée	Ce travail ne dépend pas du trajet suivi
$\frac{E}{ Q } = U_{AB}$	$\frac{W_{\min}}{m} = g \cdot \Delta h$
La tension U_{AB} représente l'énergie à fournir par unité de charge pour la déplacer de A à B.	Cette grandeur ne porte pas de nom particulier; elle représente le travail minimum à fournir pour déplacer 1 kg de A à B.

1 Dessiner un schéma le plus simple et le plus clair possible du circuit ci-dessous.

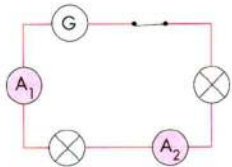


2 Dessiner un schéma le plus simple et le plus clair possible du circuit ci-dessous.



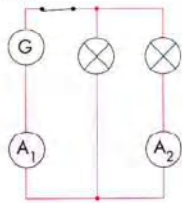
3 Sur la figure ci-dessous, l'ampèremètre A_2 indique 250 mA.

Qu'indique l'ampèremètre A_1 ?



4 Examiner la figure ci-dessous. Combien y a-t-il de nœuds dans le circuit ?

Quel est l'ampèremètre qui indique la plus grande intensité ?



5 Compléter les égalités suivantes :

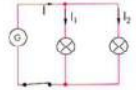
- 350 mA = A
- 0,025 A = mA
- 1,2 A = mA
- 0,250 mA = A
- 830 A = mA

6 Un lustre possède cinq ampoules traversées chacune par une intensité de 0,27 A. Faire le schéma du montage et placer un ampèremètre pour mesurer l'intensité qui passe dans les fils d'alimentation.

Qu'indique cet ampèremètre ?

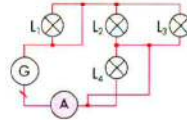
7 Compléter le tableau de mesures, correspondant au circuit ci-dessous.

I	I_1	I_2
0,30 A	150 mA	
	0,15 A	200 mA
250 mA	0,15 A	
0,40 A	0,25 A	
	0,075 A	0,20 A



8 Dans le montage représenté sur la figure ci-dessous, toutes les ampoules sont identiques. L'ampèremètre indique 0,64 A.

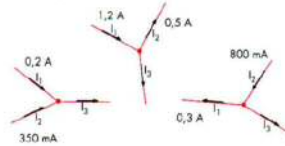
Quelle est l'intensité qui traverse chaque lampe ?



9 Comment sont branchés les différents appareils reliés à une même multiprise ?

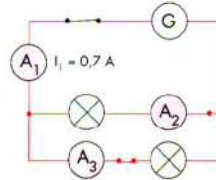
Expliquer pourquoi ces appareils ne doivent pas être trop nombreux.

10 Les schémas de la figure ci-dessous représentent les nœuds d'un circuit. Calculer I_3 dans chacun des cas.

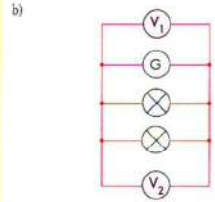
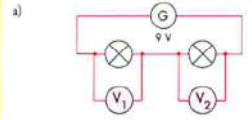


11 Les ampoules sont identiques dans tout le circuit de la figure ci-dessous.

Qu'indique chaque ampèremètre ?

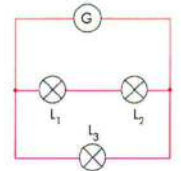


12 Sur les figures ci-dessous, le voltmètre V_1 indique 6 volts. Qu'indique le voltmètre V_2 ?



13 Regarder le circuit de la figure ci-dessous. On désire mesurer l'intensité qui passe dans l'ampoule L_1 , et la tension aux bornes de l'ampoule L_2 .

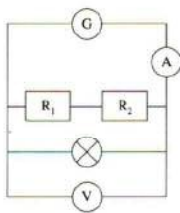
Schématiser votre montage en représentant l'ampèremètre et le voltmètre.



Corrigé des exercices

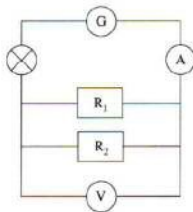
L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 1



L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 2



L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 3

Les deux ampoules sont branchées en série. Par conséquent, l'indication de l'ampèremètre A_1 sera la même que celle de l'ampèremètre A_2 , soit 250 mA.

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 4

Il y a deux nœuds dans le schéma représenté.

Le courant sortant du générateur se sépare avant de traverser les ampoules branchées en parallèle. L'ampèremètre A_1 indique la somme des intensités des courants de chaque branche.

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 5

350 mA = 0,350 A

0,025 A = 25 mA

1,2 A = 1 200 mA

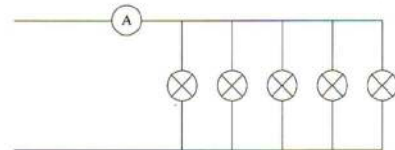
0,250 mA = 0,25 · 10⁻³ A

830 A = 8,3 · 10⁵ mA

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 6

Les ampoules sont branchées en parallèle afin que chacune soit alimentée sous la même tension. L'ampèremètre indiquera donc une intensité de 5 · 0,27 A = 1,35 A



L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 7

I	I_1	I_2
0,30 A	150 mA	150 mA
0,35 A	0,15 A	200 mA
250 mA	0,15 A	100 mA
0,40 A	0,25 A	0,15 A
0,275 A	0,075 A	0,20 A

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 8

Les ampoules L_1 et L_4 sont en court-circuit, elles ne sont donc pas allumées et aucun courant ne les traverse.

L'intensité du courant dans chacune des deux autres ampoules allumées sera donc égale à :

$I = 0,64 \text{ A} / 2 = 0,32 \text{ A}$

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 9

Tous les appareils sont conçus pour fonctionner sous une même tension (220 V sur le réseau domestique). Par conséquent, sur une multiprise, ils seront branchés en parallèle.

On ne doit pas brancher un trop grand nombre d'appareils sur une multiprise. En effet, le courant total, dans la ligne d'alimentation, est égal à la somme des courants traversant chaque appareil et pourrait être plus élevé que celui qui supporte le fusible protégeant la ligne.

Chapitre 22. Résistance d'un conducteur. La loi d'Ohm

On appelle **dipôle** tout élément de circuit électrique ou électronique qui possède deux bornes. Certains dipôles, comme les résistances radio ou les fils conducteurs, ont des propriétés intéressantes. Ce sont des conducteurs ohmiques, ou plus simplement, des résistances.

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 10

- Dans le premier circuit, en haut, le courant I_3 est égal à la différence des courants I_1 et I_2 :

$$I_3 = I_1 - I_2 = 1,2 \text{ A} - 0,5 \text{ A} = 0,7 \text{ A}$$
- Dans le circuit, en bas à gauche, le courant I_3 est égal à la somme des courants I_1 et I_2 :

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0,2 \text{ A} + 0,35 \text{ A} = 0,55 \text{ A}$$
- Dans le circuit, en bas à droite, le courant I_3 est égal à la différence des courants I_2 et I_1 :

$$I_3 = I_2 - I_1 = 0,8 \text{ A} - 0,3 \text{ A} = 0,5 \text{ A}$$

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 11

Le courant total est partagé en deux parties égales (les deux ampoules étant identiques):

$$I_2 = I_3 = I_1 / 2 = 0,7 \text{ A} / 2 = 0,35 \text{ A}$$

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 12

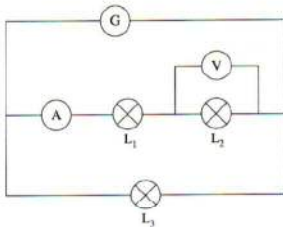
- a) Dans un circuit série, la somme des tensions est égale à la tension délivrée par le générateur.
- Le voltmètre V_2 indiquera donc la différence entre la tension aux bornes du générateur et la tension indiquée par le voltmètre V_1 :

$$V_2 = V_G - V_1 = 9 \text{ V} - 6 \text{ V} = 3 \text{ V}$$
- b) Dans ce circuit, les deux ampoules sont branchées en parallèle, la tension V_1 mesurée aux bornes du générateur est la même que celle mesurée par le voltmètre V_2 :

$$V_2 = V_1 = 6 \text{ V}$$

L'intensité du courant électrique et la tension

Exercice 13



Le graphe obtenu est une droite qui passe par l'origine des axes. La tension U et l'intensité I sont proportionnelles:

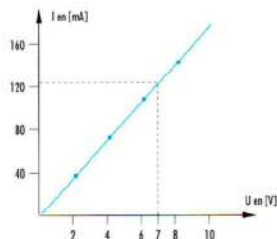
$$\frac{U}{I} = \text{constante}$$

Un dipôle dont la caractéristique est une droite passant par l'origine des axes est appelé **dipôle ohmique** ou **résistor**; par abus de langage, il est fréquemment appelé **résistance** (morte).

Un fil conducteur peut être assimilé à un dipôle ohmique, bien que sa résistance varie quelque peu avec la température du fil lors de l'utilisation; la proportionnalité entre U et I n'existe que dans un domaine limité.

U [V]	I [mA]
0	0
2	36
4	70
6	106
8	142

Résultats des mesures.



Caractéristique «courant tension» d'un dipôle ohmique.

3 Loi d'Ohm

Dans le cas d'un dipôle ohmique, la proportionnalité entre la tension U et l'intensité I s'exprime par la loi d'Ohm:

$$\frac{U}{I} = R \text{ ou } U = R \cdot I$$

La constante de proportionnalité R est la résistance du dipôle. Son unité de mesure est l'ohm [Ω]. Par définition, **1 Ω est la résistance d'un dipôle ohmique traversé par un courant de 1 A lorsqu'il est soumis à une tension de 1 V.**

4 Résistance d'un fil conducteur

Un fil conducteur cylindrique de section S et de longueur l est branché à un générateur. Un ampèremètre mesure l'intensité I et un voltmètre la tension U entre les extrémités du fil; on en déduit la valeur de la résistance du fil:

$$R = \frac{U}{I}$$

1 La caractéristique d'un dipôle

Les dipôles ont tous une fonction précise, et leur comportement à l'intérieur du circuit électrique est prévisible à partir de leur caractéristique.

On appelle «caractéristique courant-tension» d'un dipôle, la courbe représentant l'intensité I du courant qui le traverse en fonction de la valeur de la tension U qui existe entre ses bornes.



Montage expérimental, pour tracer la caractéristique d'un dipôle.

2 La caractéristique d'un dipôle ohmique

EXPERIENCE

Une résistance est un conducteur utilisé dans les montages électriques; elle a l'aspect d'un petit cylindre.

Branchons cette résistance aux bornes d'un générateur de tension variable. Un ampèremètre mesure l'intensité I du courant et un voltmètre mesure la tension U entre ses bornes. On reporte sur un graphique l'intensité I du courant en fonction de la tension U .



Une résistance.

- a) L'expérience est répétée avec des fils de même nature et de même section, mais de longueurs différentes. On constate que la résistance R est proportionnelle à la longueur l .
- b) L'expérience est répétée avec des fils de même nature et de même longueur, mais de sections différentes. On constate que la résistance R est inversement proportionnelle à la section S .

On en déduit la relation:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Le facteur de proportionnalité ρ (rhô) est caractéristique de la substance constituant le fil; c'est sa **résistivité**.

Comme

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l}$$

la résistivité se mesure en [$\Omega \cdot \text{m}$].

Remarques

- La résistance d'un fil n'est pas tout à fait constante; la résistivité varie avec la température.

Elle suit une loi analogue à celle de la dilatation:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)]$$

où ρ est la résistivité à la température de fonctionnement θ , alors que ρ_0 est la résistivité à la température de référence θ_0 . La constante α est le coefficient de température de la résistivité; pour le cuivre, $\alpha = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Pour des alliages comme le constantan ($\alpha = 0,01 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), cette variation est suffisamment faible pour être négligée. Le coefficient de température de la résistivité et le coefficient de dilatation linéaire s'expriment avec le même symbole (α), sont de même nature mais décrivent des phénomènes physiques différents.

- La résistance des fils de liaison entre les différents éléments d'un circuit est négligeable. On utilise les fils de connexion les plus courts possible.

SUBSTANCE	ρ [$\Omega \cdot \text{m}$]
Argent	$1,59 \cdot 10^{-8}$
Constantan	$49 \cdot 10^{-8}$
Cuivre	$1,63 \cdot 10^{-8}$
Fer	$9,71 \cdot 10^{-8}$
Nichrome	$\sim 100 \cdot 10^{-8}$
Nickel	$6,84 \cdot 10^{-8}$
Eau	$2 \cdot 10^3$
Bois (épicéa)	$10^{10} \text{ à } 10^{11}$
Marbre	$10^8 \text{ à } 10^9$
PVC	10^{14}
Soufre	$2 \cdot 10^{15}$
Verre pyrex	10^{12}
Verre acrylique	10^{17}

Tableau de quelques résistivités.

5 Résistance équivalente

Dans un circuit, plusieurs résistances sont souvent associées. La **résistance équivalente** à une portion AB de circuit contenant plusieurs résistances est la résistance unique qui, placée entre A et B ne modifie ni la tension entre ces points, ni l'intensité du courant qui circule dans le circuit principal.

Résistances en série

Deux résistances R_1 et R_2 sont montées en série. Déterminons la résistance équivalente R . On note I_1 , I_2 et I les intensités traversant respectivement R_1 , R_2 et R . U_{AC} , U_{CB} et U_{AB} sont les tensions aux bornes de ces mêmes résistances.

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$$

Par la loi d'Ohm:

$$R \cdot I = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$$

Comme $I = I_1 = I_2$, on obtient finalement:

$$R = R_1 + R_2$$

La **résistance équivalente R est plus grande que chacune des résistances R_1 et R_2 .**

Résistances en parallèle

Deux résistances R_1 et R_2 sont montées en parallèle. Les intensités sont notées comme dans le paragraphe précédent; U_{AB} désigne la tension aux bornes de R_1 , R_2 et R .

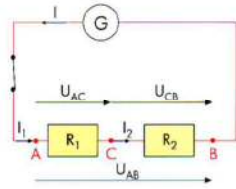
$$I = I_1 + I_2$$

Par la loi d'Ohm:

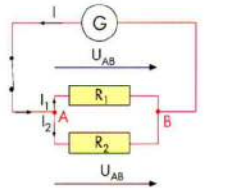
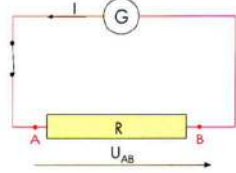
$$\frac{U_{AB}}{R} = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2}$$

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

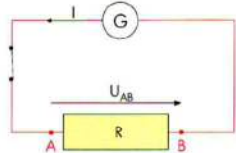
La **résistance équivalente R est plus petite que chacune des résistances R_1 et R_2 .**



Résistance équivalente à deux résistances en série.



Résistance équivalente à deux résistances en parallèle.



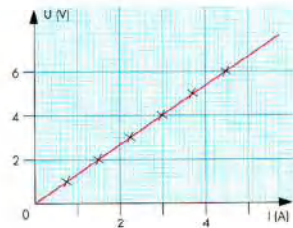
EXERCICES

- Qu'appelle-t-on «caractéristique» d'un dipôle ?
a) Schématiser un montage qui permet de la déterminer expérimentalement.
c) Représenter la caractéristique d'un résistor de résistance $R = 10 \Omega$.

- Qu'est-ce que la loi d'Ohm ?

- Un conducteur ohmique a une résistance $R = 330 \Omega$; il est parcouru par un courant d'intensité $I = 72 \text{ mA}$.
Calculer la tension U qui existe entre ses bornes.

- La caractéristique d'un conducteur ohmique est représentée sur la figure ci-dessous.
Calculer sa résistance R .



- Rechercher dans une encyclopédie qui était Ohm. Citer quelques-uns de ses travaux.

- Caractéristique d'une ampoule

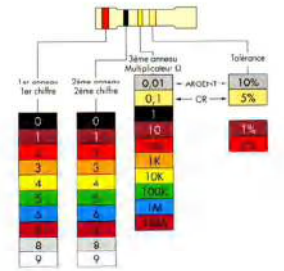
Le tableau ci-dessous donne l'intensité I qui traverse une lampe en fonction de la tension U appliquée entre ses bornes.

- Tracer la caractéristique de la lampe.
- Montrer, en utilisant cette courbe, que la résistance du filament dépend de sa température.

U [V]	0,5	1	1,5	2	2,5	3
I [mA]	105	140	170	200	225	250
U [V]	3,5	4	4,5	5	5,5	6
I [mA]	270	290	302	325	340	360

7 Code des couleurs des résistances

Les valeurs des résistances sont codées à l'aide d'anneaux colorés. La première figure vous donne le code des couleurs. Utiliser ce document pour déterminer les résistances des conducteurs ohmiques de la seconde figure ci-dessous.



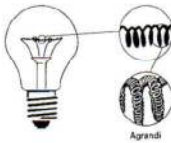
- Sur les résistances radio, le dernier cercle coloré indique la tolérance que le constructeur garantit sur R .
Que signifie $R = 330 \Omega \pm 5\%$?

- Calculer la résistance d'un cordon de connexion en cuivre de 1 m de longueur et de $0,75 \text{ mm}^2$ de section.

EXERCICES

- Extrayons le filament d'une ampoule hors d'usage et observons ce filament à la loupe binoculaire. On découvre alors que celui-ci est enroulé en une double spirale. La spirale grossière est visible à l'œil nu, mais la spirale fine ne l'est pas.

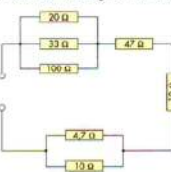
Grâce à cette double spirale, on peut placer dans l'ampoule un fil suffisamment long et fin. De plus, on peut porter ce fil à une température très élevée. Le matériau choisi est le tungstène ($\rho_{20^\circ\text{C}} = 5,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$) à cause de la haute température de son point de fusion ($\sim 3400^\circ\text{C}$).



Une ampoule marquée «60W/230V», par exemple, est munie d'un filament d'environ $0,023 \text{ mm}$ de diamètre et de 67Ω de résistance à 20°C .

- Quelle est la longueur du filament de cette ampoule ?
- Quelle est l'utilité de la double spirale du filament ?
- Pourquoi le filament ne se consume-t-il pas ?

- Déterminer la résistance équivalente à l'association des résistances de la figure ci-dessous.



12 Conducteurs en série

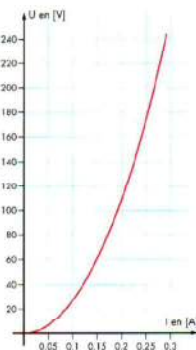
On monte en série deux conducteurs ohmiques de résistances respectives R_1 et R_2 .

Calculer la résistance R du dipôle équivalent.

- $R_1 = 470 \Omega$ et $R_2 = 680 \Omega$.
- $R_1 = 5,1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 825 \Omega$.

- Ce graphique a été réalisé en mesurant le courant traversant le filament d'une ampoule ordinaire en fonction de la tension appliquée à cette ampoule.

- Déterminer la tension et la puissance qui sont écrites sur cette ampoule. (La puissance est définie à la page 329).
- Déterminer la résistance du filament lorsque l'ampoule fonctionne normalement.
- Expliquer pourquoi le graphique ci-dessous n'est pas une droite. Remonter aussi loin que possible dans l'explication.

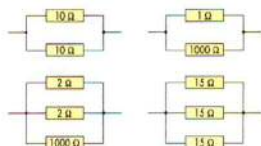


14 Conducteurs en parallèle ou en dérivation

Deux résistances $R_1 = 510 \Omega$ et $R_2 = 560 \Omega$ sont branchées en parallèle.

Indiquer un ordre de grandeur pour la résistance équivalente.

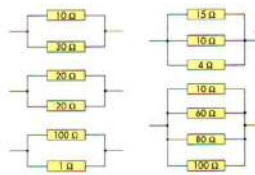
- Estimer mentalement la résistance équivalente aux résistances de ces portions de circuits.



- On branche en série deux résistances R_1 et R_2 de 15 et 36 ohms.

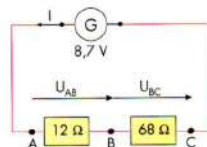
Entre quelles limites se situe la valeur de la résistance équivalente à cette portion de circuit si les tolérances sur R_1 et R_2 sont de 5% ?

- Calculer les résistances équivalentes aux résistances de ces portions de circuits.



18 Intensité dans un circuit

On réalise le montage de la figure ci-dessous, dans lequel deux résistances $R_1 = 12 \Omega$ et $R_2 = 68 \Omega$ sont branchées en série. Le générateur maintient entre les deux bornes de l'ensemble une tension constante de 8,7 V.

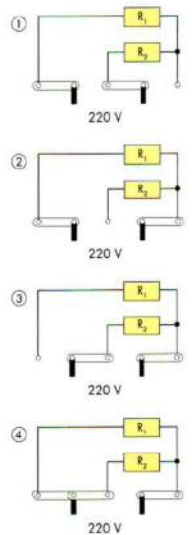


- Calculer la résistance R équivalente à R_1 et R_2 .
- Utiliser la loi d'Ohm pour calculer l'intensité I du courant qui circule dans le circuit.
- Calculer les tensions U_{AB} et U_{BC} aux bornes de chaque résistance.
- Les deux résistances sont maintenant branchées en parallèle. L'intensité du courant qui circule dans le circuit principal va-t-elle varier ?

Si oui, va-t-elle augmenter ou diminuer ? Expliquez votre réponse.

EXERCICES

- Un réchaud électrique est constitué de deux corps de chauffe qui sont deux résistances R_1 et R_2 . Le commutateur du réchaud permet de coupler ces résistances des quatre manières indiquées sur les schémas.



- Calculer la valeur des résistances des corps de chauffe en vous servant des indications de la puissance données dans le tableau ci-dessous dans le cas de la figure ② et de la figure ③.
- Compléter le tableau en indiquant, pour le type de couplage, si une ou deux résistances sont en service et, dans le cas où deux résistances sont en service, si elles sont couplées en parallèle ou en série. Déterminer et indiquer également les puissances manquantes.

Position (circuit choisi)	Valeur de R_1 en [Ω]	Valeur de R_2 en [Ω]	Résistance du circuit en [Ω]	Puissance du circuit en [W]
①				
②				500
③				750
④				

20 Les matériaux supraconducteurs

Ces matériaux, capables de conduire le courant électrique sans lui opposer la moindre résistance, sont devenus l'enjeu d'une concurrence scientifique mondiale. Les découvertes à l'origine de cette empoignade ont d'ailleurs valu le prix Nobel de Physique 1987 à leurs auteurs, Georg Bednorz et Alex Müller.

Les matériaux conducteurs classiques opposent tous une certaine résistance au passage du courant électrique, dont une partie se dissipe sous forme de chaleur. Dans les supra-conducteurs, l'électricité circule sans entrave, et les fils restent froids. Les super-ordinateurs acquièrent une rapidité étonnante et, comme ils ne dégagent plus de chaleur, leur taille peut être considérablement réduite. Il devient possible de fabriquer des moteurs électriques miniatures surpuissants. Les trains à grande vitesse, dont les roues seraient remplacées par un champ magnétique, pourraient dépasser le stade du prototype. Ce rêve de technicien ne sera sans doute pas concrétisé avant la fin des années 90. Depuis 1911, ce phénomène n'était observé qu'à une température extrêmement basse: -269°C . Aujourd'hui encore, les supra-conducteurs nécessitent des systèmes de réfrigération à hélium liquide, très coûteux et encombrants, ce qui limite considérablement leur utilisation.

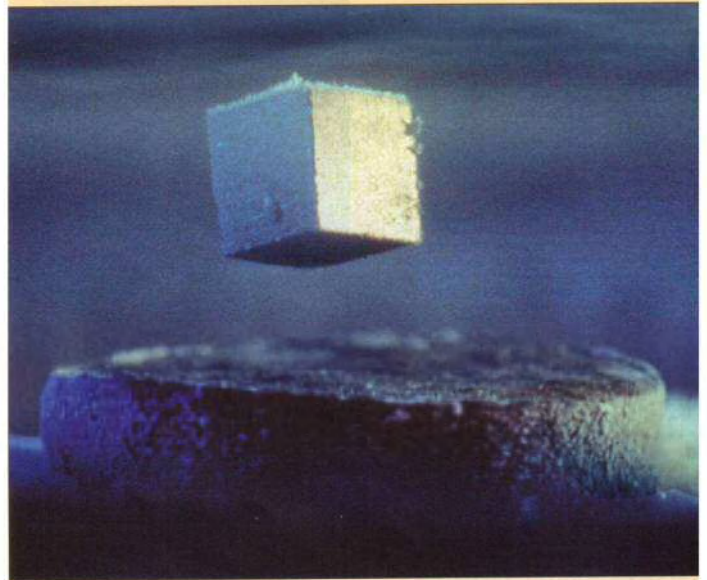
Seuls quelques acharnés continuent les recherches. Parmi eux, Bednorz et Müller. Contre l'avis de tous, ils expérimentent les mélanges les plus diverses. En mars 1986, ils tombent sur un mélange mis au point par le Français Bernard Raveau. Ils le testent à basse température. Surprise: la supraconductivité est atteinte à -243°C . Depuis, dans le monde entier, des milliers de physiciens se penchent sur la question. Ils sont déjà parvenus à -179°C , température à laquelle l'hélium peut être remplacé par de l'azote liquide, infiniment moins cher et plus facile à manipuler, et espèrent trouver un matériau qui soit supraconducteur à température ambiante.

Article de J.P. DUFOUR, *Expres* «aujourd'hui» n° 13 du 18 décembre 87.



Effet Meissner.
L'image représente l'extrémité d'une pincette qui tient un aimant (au centre). Au-dessus et au-dessous «lévitent» deux pastilles de matériau supraconducteur. L'aimant induit un courant électrique dans les pastilles. Ce courant persiste à cause de l'absence de résistance électrique des pastilles. L'interaction de ce courant électrique avec l'aimant provoque l'effet de lévitation.

21



Effet Meissner (effet d'un champ magnétique sur un supraconducteur).

Questions

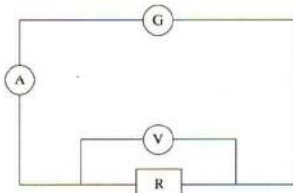
- En état de supraconductivité, la résistance électrique des métaux devient pratiquement nulle. Quelle conséquence cela a-t-il sur la valeur de l'intensité du courant qui les traverse, lorsqu'ils sont soumis à une certaine tension U ?
- Citer quelques applications possibles de la supraconductivité.

Corrigé des exercices

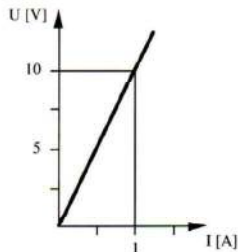
Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 1

- La caractéristique courant-tension d'un dipôle est la courbe représentant l'intensité I de courant qui le traverse en fonction de la valeur de la tension U mesurée aux bornes du dipôle.
-



- Un dipôle ohmique ou résistor présente une caractéristique qui est une droite passant par l'origine.



Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 2

La loi d'Ohm exprime la proportionnalité entre la tension U aux bornes d'un dipôle ohmique et l'intensité du courant I qui le traverse: $U = R \cdot I$.

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 3

La tension U aux bornes du conducteur ohmique peut être calculée en appliquant la loi d'Ohm:

$$U = R \cdot I \quad U = 330 \, \Omega \cdot 0,072 \, \text{A} = 23,76 \, \text{V}$$

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 4

Sur le graphique on peut lire que pour une tension de 6 V, l'intensité du courant qui traverse le conducteur vaut 4,5 A. La résistance s'obtient en appliquant la loi d'Ohm:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6 \, \text{V}}{4,5 \, \text{A}} = 1,33 \, \Omega$$

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

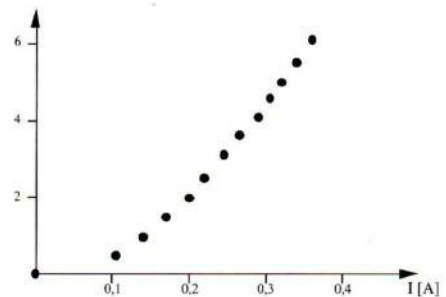
Exercice 5

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 6

a)



- La courbe obtenue n'est pas une droite passant par l'origine. Le conducteur constituant le filament de la lampe n'est pas un conducteur ohmique. On remarque que l'intensité du courant n'est pas proportionnelle à la tension appliquée aux bornes de la lampe. L'intensité du courant croît moins vite que la tension appliquée, ce qui signifie que la résistance augmente avec la température.

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 7

En prenant comme exemple la résistance dessinée, on lit que la première bande colorée correspond à 2, la deuxième correspond à 0, la troisième correspond à 10 k et la quatrième, dorée, indique une tolérance de 5%. La valeur de cette résistance sera donc: $200\,000 \, \Omega$ avec une tolérance de 5%.

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 8

5% de $330 \, \Omega = 16,5$

La vraie valeur de cette résistance sera comprise entre $330 \, \Omega - 16,5$ et $330 \, \Omega + 16,5$ soit comprise entre $313 \, \Omega$ et $347 \, \Omega$.

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 9

La résistance de ce cordon se calcule en appliquant la relation :

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S} = 1,63 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} \cdot \frac{1 \text{ m}}{0,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 0,022 \Omega$$

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 10

a) La longueur du filament se calcule à l'aide de la relation:

$$\ell = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{67 \Omega \cdot \pi \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 \text{ m}^2}{5,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}} = 0,376 \text{ m}$$

b) La double spirale permet, sur un plus faible encombrement d'enrouler une grande longueur de fil.

c) Le filament ne se consume pas car il existe à l'intérieur de l'ampoule un gaz inerte à faible pression (absence d'oxygène).

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 11

On calcule la résistance équivalente à l'association des résistances proposées en calculant, par exemple, la résistance équivalente R_{eq1} aux 3 résistances en parallèle puis la résistance équivalente R_{eq2} aux 2 résistances en parallèle, on additionne ensuite ces 2 résistances équivalentes aux 2 résistances en série:

$$\frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{33 \Omega} + \frac{1}{100 \Omega} = 0,09 \Omega^{-1} \text{ d'où } R_{eq1} = 11,07 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{eq2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{4,7 \Omega} + \frac{1}{10 \Omega} = 0,312 \Omega^{-1} \text{ d'où } R_{eq2} = 3,19 \Omega$$

$$R_{eq\text{total}} = R_{eq1} + R_{eq2} + 47 \Omega + 10 \Omega = 71,26 \Omega$$

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 12

La résistance équivalente de 2 résistances montées en série s'obtient par la somme de ces 2 résistances:

a) $R_{eq} = R_1 + R_2 = 470 \Omega + 680 \Omega = 1\ 150 \Omega$

b) $R_{eq} = R_1 + R_2 = 5\ 100 \Omega + 825 \Omega = 5\ 925 \Omega$

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 18

a) La résistance équivalente R_{eq} des deux résistances montées en série vaut :

$$R_{eq} = 12 \Omega + 68 \Omega = 80 \Omega$$

b) En utilisant la loi d'Ohm, on calcule l'intensité du courant: $I = U/R_{eq} = 8,7 \text{ V} / 80 \Omega = 0,109 \text{ A}$

c) La tension aux bornes de chacune des résistances est obtenue en appliquant la loi d'Ohm, sachant que la tension totale est égale à la somme des deux tensions U_{AB} et U_{BC} :

$$U = R \cdot I \text{ d'où: } U_{AB} = 12 \Omega \cdot 0,109 \text{ A} = 1,31 \text{ V} \text{ et } U_{BC} = 68 \Omega \cdot 0,109 \text{ A} = 7,41 \text{ V}$$

d) Si les résistances sont branchées en parallèle, la résistance équivalente est alors plus faible que la résistance équivalente du montage en série. L'intensité du courant dans le circuit sera alors plus élevée.

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 19

a) Dans le cas de la figure 2, seule la résistance R_1 est alimentée, la résistance du corps de chauffe peut être calculée à l'aide de la puissance P et de la tension d'alimentation U selon:

$$P = U \cdot I \text{ et d'après la loi d'Ohm } U = R \cdot I, \text{ on obtient: } P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \text{ et } R = \frac{U^2}{P}$$

$$\text{soit: } R_1 = \frac{U^2}{P} = \frac{(220 \text{ V})^2}{500 \text{ W}} = 96,8 \Omega$$

De même, la résistance du corps de chauffe $R_2 = 64,5 \Omega$

b)

Position (circuit choisi)	Valeur de R_1 (en Ω)	Valeur de R_2 (en Ω)	Résistance du circuit (en Ω)	Puissance du circuit (en W)
1	96,8	64,5	R_1 et R_2 en série $R_{eq} = 161,3 \Omega$	300
2	96,8	64,5	R_1 en service $R_{eq} = 96,8 \Omega$	500
3	96,8	64,5	R_2 en service $R_{eq} = 64,5 \Omega$	750
4	96,8	64,5	R_1 et R_2 en parallèle $R_{eq} = 38,7 \Omega$	1250

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 13

a) On peut lire sur le graphique qu'à une valeur de tension de 220 V correspond une intensité de courant de 0,275 A. La puissance est définie comme le produit de la tension par le courant: $P = U \cdot I$

$$\text{d'où } P = 220 \text{ V} \cdot 0,275 \text{ A} = 60,5 \text{ W}$$

Cette ampoule portera les indications suivantes: 220 V- 60 W

b) La résistance se calcule en considérant l'ampoule comme un conducteur ohmique, soit: $R = U/I$

$$\text{d'où } R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{0,275 \text{ A}} = 800 \Omega$$

c) Le graphe montre qu'en fait l'ampoule n'est pas un résistor. La résistance augmente avec la température car la résistivité du matériau constituant le filament augmente avec la température.

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 14

La résistance équivalente de deux conducteurs ohmiques montés en parallèle est plus faible que la résistance de chacun des conducteurs. Dans l'exemple, les deux résistances ayant environ la même valeur, on peut évaluer la résistance équivalente comme valant la moitié de la résistance d'un des résistors soit environ 270 Ω .

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 15

a) Portion de circuit en haut à gauche: $R_{eq} = 5 \Omega$ b) Portion de circuit en haut à droite: $R_{eq} = 1 \Omega$

c) Portion de circuit en bas à gauche: $R_{eq} = 1 \Omega$ d) Portion de circuit en bas à droite: $R_{eq} = 5 \Omega$

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 16

La tolérance en valeur absolue pour chacune des résistances vaut respectivement: 0,75 Ω et 1,8 Ω . La valeur de la résistance équivalente est obtenue par la somme des résistances, soit:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 15 \Omega + 36 \Omega = 51 \Omega$$

La somme des tolérances vaut : 0,75 Ω + 1,8 Ω = 2,55 Ω que l'on arrondira à 3 Ω .

Les limites de la valeur de la résistance équivalente sont: 48 Ω et 54 Ω .

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 17

Dans les cinq portions de circuits proposés, les résistances sont montées en parallèle. La résistance équivalente se calcule en appliquant la relation générale:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

a) Résistances de 10 Ω et 30 Ω : $R_{eq} = 7,5 \Omega$ b) Résistances de 20 Ω et 20 Ω : $R_{eq} = 10 \Omega$

c) Résistances de 100 Ω et 1 Ω : $R_{eq} = 0,99 \Omega$ d) Résistances de 15 Ω , 10 Ω et 4 Ω : $R_{eq} = 2,4 \Omega$

e) Résistances de 10 Ω , 60 Ω , 80 Ω et 100 Ω : $R_{eq} = 7,19 \Omega$

Résistance d'un conducteur; la loi d'Ohm

Exercice 21

a) En raisonnant sur la loi d'Ohm, on arriverait à la conclusion que l'intensité du courant serait égale à l'infini (∞). Ce résultat théorique met en évidence la limite de validité du modèle exprimé par la loi d'Ohm. En réalité, il n'est plus nécessaire de disposer d'une tension pour qu'un courant circule dans un supraconducteur.

b) L'utilisation de circuits supraconducteurs présente un immense avantage: toute information peut être transportée sans consommation d'énergie. Il suffit d'initialiser le phénomène pour qu'il perdure. Plusieurs applications sont envisageables: ordinateurs extrêmement rapides, puissants et compacts; moyens de transport ultra-rapides grâce à une lévitation par effet magnétique (les électroaimants seraient alimentés par des supraconducteurs); transport de l'énergie électrique sans perte d'énergie par effet Joule, rendement très élevé des moteurs électriques.

Chapitre 23. Energie et puissance électriques. L'effet Joule

Un récepteur transforme l'énergie électrique qu'il consomme en une autre forme d'énergie utile (mécanique dans le cas d'un moteur). Mais quel que soit le récepteur, il dégage de la chaleur lorsqu'il fonctionne; c'est l'effet Joule. Ce dégagement d'énergie thermique représente souvent une perte au détriment des autres énergies souhaitées, sauf pour certains appareils utilisés pour chauffer: fer à repasser, radiateur électrique,...

1 Energie et puissance électriques

Utilisons la définition de la tension U aux bornes d'un récepteur pour déterminer l'énergie électrique qu'il transforme pendant la durée Δt :

$$E_{el} = U \cdot |Q|$$

$|Q|$ étant la valeur absolue de la charge qui le traverse pendant la durée Δt de fonctionnement.

Par la définition de l'intensité du courant I ,

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

et on trouve

$$E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$$

La puissance vaut:

$$P = \frac{E_{el}}{\Delta t} = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{\Delta t} = U \cdot I$$

La puissance électrique d'un récepteur est le produit de la tension U entre ses bornes par l'intensité I du courant qui le traverse.



Corps de chauffe d'un fer à repasser.



Mesure de la puissance d'une ampoule.

2 Energie thermique dissipée par effet Joule

Un conducteur transforme intégralement l'énergie électrique E_{el} en énergie thermique E_{th} :

$$E_{th} = E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$$

Un tel conducteur satisfaisant la loi d'Ohm

$$U = R \cdot I$$

on obtient

$$E_{th} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

où R est la résistance du conducteur.

L'énergie thermique dissipée par un fil conducteur parcouru par un courant

- est proportionnelle à la durée de fonctionnement Δt ;
- est proportionnelle au carré de l'intensité du courant;
- dépend de la résistance du fil, c'est-à-dire de sa nature et de ses dimensions (section et longueur).

3 Vérification expérimentale

Un corps de chauffe est branché aux bornes d'un générateur de tension U ajustable. Un ampèremètre mesure l'intensité I du courant.

Le corps de chauffe est immergé dans une masse m d'eau contenue dans un calorimètre. On relève sa température initiale θ_1 puis on établit le courant pendant la durée Δt ; on mesure ensuite la température finale θ_2 de l'eau.



Mesure de l'effet Joule.

On considère que l'énergie thermique dissipée par le fil est entièrement transmise à l'eau.

$$E_{th} = c_{eau} \cdot m \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

L'expérience se déroule en deux parties.

- a) L'intensité I du courant est maintenue constante pour chaque mesure et on fait varier la durée Δt .

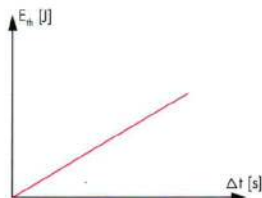
On reporte sur un graphique l'énergie thermique E_{th} en fonction de la durée Δt et on obtient une droite passant par l'origine des axes.

La proportionnalité entre l'énergie thermique dissipée et le temps est vérifiée.

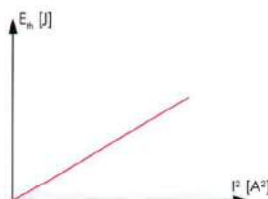
- b) La durée Δt est constante pour chaque mesure et on fait varier l'intensité I du courant en ajustant la tension U .

On reporte sur un graphique l'énergie thermique E_{th} en fonction du carré de l'intensité du courant; on obtient une droite passant par l'origine des axes.

La proportionnalité entre l'énergie thermique dissipée et le carré de l'intensité du courant est vérifiée.



L'énergie thermique est proportionnelle au temps.



L'énergie thermique est proportionnelle au carré de l'intensité du courant.

4 Puissance nominale d'un appareil électrique

Tous les appareils électriques portent deux indications.

La première exprimée en [V] est la tension normale d'utilisation; on l'appelle **tension nominale**. La seconde exprimée en [W] indique la puissance; dans ce cas, on l'appelle **puissance nominale**.

La tension délivrée par le réseau de distribution européen d'électricité est de 220 à 230 V. Les ampoules disponibles dans le commerce et fonctionnant sous cette tension ont une puissance nominale de 15 W, 25 W, 40 W, 60 W, 75 W, 100 W,...

Si une ampoule porte l'indication «220 V – 60 W», cela signifie qu'elle est prévue pour fonctionner sous une tension de 220 V; sa puissance est alors de 60 W. Soumise à une tension plus petite, sa puissance est plus faible et l'ampoule éclaire moins. Soumise à une tension plus grande, sa puissance est plus élevée, ce qui peut faire fondre son filament.



Les indications sont celles de la tension et de la puissance nominales.

5 La mesure de l'énergie transformée

L'énergie électrique transformée dans une installation est égale à la somme des énergies transformées par chaque appareil. Elle est mesurée par le compteur électrique. Chaque tour du disque du compteur correspond à une certaine quantité d'énergie qui est indiquée sur son boîtier. C'est la **constante** du compteur.

L'énergie est exprimée en kilowattheures [kWh].

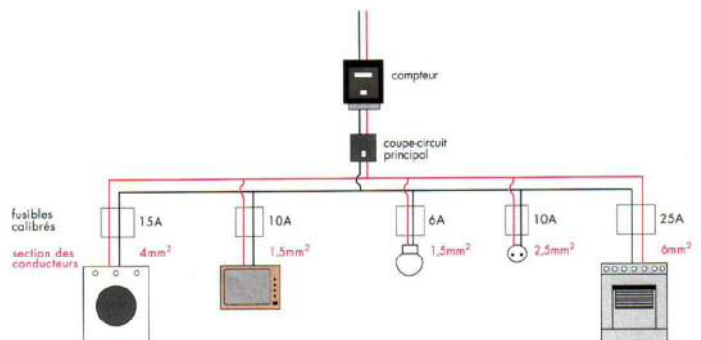
1 kWh est l'énergie transformée par un appareil de puissance 1 kW durant une heure de fonctionnement.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$



6 Les fusibles

Les fusibles sont des fils calibrés et choisis en fonction du circuit que l'on veut protéger. Ils se placent en série dans ce circuit. Si le courant devient trop intense, le fil chauffe suffisamment pour fondre, ce qui ouvre le circuit et coupe le courant.



L'installation électrique dans la maison.

EXERCICES

1 Connaissances pratiques

Donner les ordres de grandeur de la puissance électrique pour chacun des appareils de la vie quotidienne suivants: lampe d'éclairage, moulin à café, fer à repasser, aspirateur, lave-linge, four électrique, téléviseur, réfrigérateur.

2 Les petites ampoules à vis ne portent pas d'indications de puissances, mais de tensions et d'intensités. Calculer les puissances nominales des ampoules suivantes:

- L₁ (3,5 V - 200 mA)
- L₂ (1,5 V - 120 mA)
- L₃ (6 V - 350 mA)

3 Calcul de l'intensité électrique

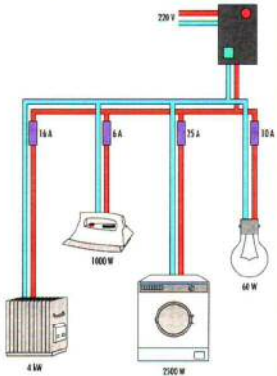
Une ampoule branchée sur un générateur de 12 V a une puissance P = 40 W.

Quelle est l'intensité du courant qui la traverse ?

4 Calcul de la tension électrique

Un radiateur électrique dont la puissance P = 2 kW est traversé par un courant de 9 A. Quelle est alors la tension à ses bornes ?

5 Dans l'installation représentée sur la figure ci-dessous, dire en justifiant la réponse, si tous les fusibles sont bien adaptés aux appareils qu'ils protègent.



6 Fer à repasser

Un fer à repasser a une puissance nominale P = 1000 W.

- a) Par quelle intensité est-il traversé lorsqu'il est branché sur une tension U = 220 V qui est sa tension nominale ?
- b) Quel est le calibre du fusible qu'il faut utiliser pour protéger sa ligne ?

7 Les limites du confort

Rechercher quelles sont les puissances nominales des appareils électriques que vous possédez et préciser quelle est leur tension d'alimentation.

- a) Pour chacun d'eux, calculer l'intensité qui le traverse lorsqu'il fonctionne normalement.
- b) Rechercher sur votre disjoncteur l'intensité maximale qu'il peut supporter sans déclencher, et citer quelques ensembles d'appareils pouvant être utilisés simultanément. Justifier votre réponse par un schéma de l'installation électrique de votre maison.

8 Quand le fil devient un câble

Pourquoi le démarreur d'une automobile est-il relié directement à la batterie par un câble de gros diamètre ?

On indique que la puissance du démarreur est P = 1,5 kW et que la batterie délivre une tension U = 12 V. Justifier la réponse par un calcul.

9 Conversion d'unités

Compléter les égalités suivantes:

- 1 Wh = J
- 4 mW = 4 · 10⁻ W
- 1 kWh = J = ... kJ
- 3600 J = Wh

10 Compteur électrique

Le boîtier d'un compteur électrique porte l'inscription suivante: C = 2,5 Wh/tr.

Que signifie-t-elle ?

On utilise plusieurs appareils dont la puissance totale est égale à 2250 W. Calculer le nombre de tours faits en une minute par le disque du compteur.

EXERCICES

11 Un chauffe-eau permet d'élever la température de 100 kg d'eau de 15°C à 70°C en 2 h. La résistance de son corps de chauffe est de 50Ω.

Calculer l'intensité du courant qui circule dans le corps de chauffe en admettant que toute l'énergie qu'il consomme est absorbée par l'eau.

12 Deux mêmes corps de chauffe A et B, connectés en série avec un générateur, sont parcourus par un courant de 4 A. Leur résistance est identique. A est immergé dans un calorimètre C₁ contenant 300g d'eau et B dans un calorimètre C₂ contenant 150g d'eau. Après 4 minutes de chauffage, la température de l'eau dans C₁ a augmenté de 6°C.

- a) Quelle est l'augmentation de la température de l'eau dans C₂ ?
- b) Calculer les augmentations de la température de l'eau dans C₁ et C₂ si l'intensité du courant ne valait que 2 A.

Note: négliger les capacités calorifiques de C₁ et C₂ ainsi que les pertes d'énergie.

13 Une résistance R traversée par un courant d'intensité I pendant une durée t produit une énergie thermique E.

- a) Sans changer R et t, par quel nombre faut-il multiplier I pour doubler E ?
- b) On triple I. Comment faut-il modifier t pour que E reste la même ?
- c) On double R et on divise U par deux sans changer t. Que devient E ?

14 Les compteurs d'eau sont utilisés pour connaître la consommation d'eau comme les compteurs électriques sont utilisés pour connaître la consommation d'électricité. Les roues chiffrées d'un compteur d'eau sont entraînées par une petite hélice qui tourne dans le courant d'eau. Compléter ce tableau dans lequel on compare un compteur électrique à un compteur d'eau.

Compteur électrique	Compteur d'eau
L'énergie électrique se mesure en	La quantité d'eau se mesure en
La vitesse de rotation du disque est	La vitesse de rotation de l'hélice est
L'équivalent du nombre de m ³ /s du compteur d'eau est le nombre de	L'équivalent du nombre de watts du compteur électrique est le nombre de

15 Compléter le tableau ci-dessous en calculant le temps pendant lequel les différents appareils peuvent fonctionner avec une énergie de 1 kWh.

	Puissance en watts	Temps de fonctionnement
1. Plaque électrique	1500	
2. Ampoule électrique	40	
3. Réveil électrique	0,02	
4. Radiotelevisior	2	
5. Lave-vaisselle	3400	
6. Chauffage électrique	18000	
7. Grille-pain	700	
8. Automobile	60 000	
9. Calculatrice électronique	0,1	
10. Téléviseur	200	

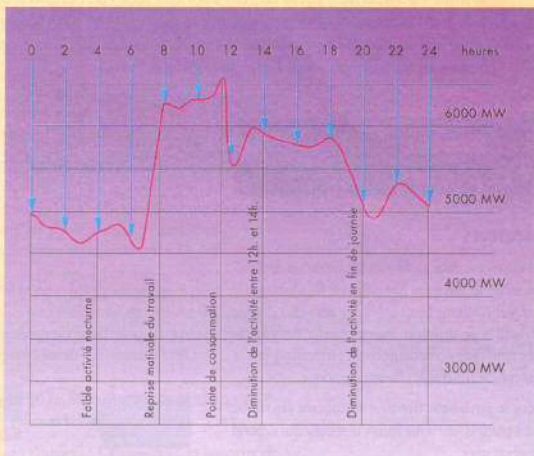
16 Une ampoule porte l'indication «40W/220V».

- a) Calculer sa résistance quand elle fonctionne normalement. Lorsqu'on mesure sa résistance à froid (ampoule éteinte), on trouve 82 Ω.
- b) Comment expliquer la différence avec la valeur calculée précédemment ?

Corrigé des exercices

17 Consommation d'énergie électrique

Le graphique ci-dessous indique la puissance fournie sur le réseau électrique suisse le 17 février 1982.



- a) Quelle est la puissance maximale fournie ce jour ?
- b) Quelle est la puissance minimale fournie ce jour ?
- c) Estimer la consommation d'énergie ce jour-là entre 10 h et 12 h en joules et en kilowattheures.
- d) Estimer la consommation totale d'énergie électrique ce jour-là en kilowattheures.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule

Exercice 1

Ordre de grandeur de la puissance électrique de quelques appareils courants :

- Lampe d'éclairage: 15 W à 500 W
- Moulin à café: 50 W
- Fer à repasser: 1 000 W
- Aspirateur: 1 000 W
- Lave-linge: 3 000 W
- Four électrique: 3 000 W
- Téléviseur: 100 W à 200 W
- Réfrigérateur: 300 W

Energie et puissance électriques; l'effet Joule

Exercice 2

La puissance est définie par le produit de la tension d'alimentation par l'intensité du courant traversant l'appareil : P = U·I

Lampe L₁: P = 3,5 V · 0,2 A = 0,7 W

Lampe L₂: P = 1,5 V · 0,12 A = 0,18 W

Lampe L₃: P = 6 V · 0,35 A = 2,1 W

Energie et puissance électriques; l'effet Joule

Exercice 3

L'intensité du courant électrique est donnée par : I = P / U

Pour l'ampoule de l'exercice : I = 40 W / 12 V = 3,33 A

Energie et puissance électriques; l'effet Joule

Exercice 4

La tension aux bornes d'un appareil est donnée par : U = P/I

Pour le radiateur : U = 2 000 W / 9 A = 222 V

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 5**

- Chaudière de puissance 4 000 W $I = P / U = 4\,000\text{ W} / 220\text{ V} = 18,2\text{ A}$.
Fusible trop faible.
- Fer à repasser de puissance 1 000 W $I = P / U = 1\,000\text{ W} / 220\text{ V} = 4,5\text{ A}$.
Fusible adapté.
- Machine à laver de puissance 2 500 W $I = P / U = 2\,500\text{ W} / 220\text{ V} = 11,4\text{ A}$.
Fusible adapté.
- Ampoule de puissance 60 W $I = P / U = 60\text{ W} / 220\text{ V} = 0,27\text{ A}$.
Fusible adapté.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 6**

- a) L'intensité du courant traversant le fer à repasser est donnée par :
- $$I = P / U = 1\,000\text{ W} / 220\text{ V} = 4,5\text{ A}$$
- b) Le fusible à utiliser pour protéger la ligne doit supporter au moins 4,5 A, on choisira par exemple un fusible de 6 A.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 7**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 8**

L'intensité du courant traversant le démarreur vaut : $I = P / U = 1\,500\text{ W} / 12\text{ V} = 125\text{ A}$
La résistance permettant le passage d'un tel courant doit être très faible:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{(12\text{ V})^2}{1500\text{ W}} = 0,096\ \Omega$$

Cette très faible résistance est obtenue en utilisant un câble de gros diamètre.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 9**

$$1\text{ Wh} = 3\,600\text{ J} \quad 4\text{ mW} = 4 \cdot 10^{-3}\text{ W} \quad 1\text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6\text{ J} = 3,6 \cdot 10^3\text{ kJ}$$

$$3\,600\text{ J} = 1\text{ Wh}$$

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 14**

Compteur électrique	Compteur d'eau
L'énergie électrique se mesure en <i>joules (Ws)</i>	La quantité d'eau se mesure en m^3
La vitesse de rotation du disque représente la <i>puissance électrique en Js</i>	La vitesse de rotation de l'hélice représente le <i>débit d'eau en m³/s</i>
L'équivalent du nombre de m^3/s du compteur d'eau est le nombre de <i>watts (Js) du compteur électrique</i>	L'équivalent du nombre de watts du compteur électrique est le nombre de <i>m³/s du compteur d'eau</i>

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 15**

Appareils	Puissance en watts	Temps de fonctionnement avec 1 kWh (valeurs arrondies)
Plaque électrique	1500	40 min.
Ampoule électrique	40	25 heures
Réveil électrique	0,02	6 années
Radio-transistor	2	21 jours
Lave-vaisselle	3600	17 min.
Chauffage électrique	18000	3 min. 20 s
Grille-pain	700	1,5 heure
Automobile	60000	1 min.
Calculatrice électronique	0,1	1 année
Téléviseur	200	5 heures

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 16**

$$P = U \cdot I \text{ et } U = R \cdot I \text{ d'où } P = I^2 \cdot R$$

- a) La résistance de l'ampoule est calculée avec: $R = U^2 / P = (220\text{ V})^2 / 40\text{ W} = 1210\ \Omega$.
- b) En cours de fonctionnement, l'ampoule chauffe (95 % de l'énergie électrique est transformée en chaleur!) et la résistance du filament augmente rapidement d'où la différence de résistance constatée entre la valeur à froid et en cours de fonctionnement.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 10**

La valeur de la constante du compteur ($C = 2,5\text{ Wh/tour}$) signifie que le disque du compteur effectue 1 tour pour 2,5 Wh d'énergie consommée.
L'énergie consommée par les appareils de puissance 2 250 W pendant 1 heure vaut 2 250 Wh.
Le disque du compteur fera donc: $\frac{2\,250\text{ Wh}}{2,5\text{ Wh/tour}} = 900$ tours pendant une heure soit 15 tours / min.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 11**

L'énergie électrique est totalement transformée en énergie thermique:

$$E_{el} = Q$$

$$R \cdot I^2 \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$I = \sqrt{\frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{R \cdot t}} = \sqrt{\frac{100\text{ kg} \cdot 4,18 \cdot 10^3\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot (70\text{ °C} - 15\text{ °C})}{50\ \Omega \cdot 7\,200\text{ s}}} = 8\text{ A}$$

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 12**

- a) La puissance électrique des deux corps de chauffe est identique. L'énergie électrique est donc la même pour chaque corps de chauffe (ils sont branchés en série, donc traversés par le même courant pendant le même temps). Cette énergie est totalement transformée en énergie thermique.

$$R \cdot I^2 \cdot t = m_A \cdot c_{eau} \cdot \Delta\theta_A = m_B \cdot c_{eau} \cdot \Delta\theta_B$$

$$\Delta\theta_B = \frac{m_A \cdot \Delta\theta_A}{m_B} = \frac{0,3\text{ kg} \cdot 6\text{ °C}}{0,15\text{ kg}} = 12\text{ °C}$$

Autre méthode: Les deux calorimètres contenant le même liquide, étant montés en série donc traversés par le même courant pendant le même temps sont le siège de la même transformation d'énergie. La masse d'eau du calorimètre B vaut la moitié de celle du calorimètre A, donc son élévation de température sera double, soit 12°C.

- b) L'énergie électrique est proportionnelle au carré de l'intensité du courant. L'intensité du courant valant la moitié de celle de la question a), l'énergie sera divisée par 4.

L'élévation de température est proportionnelle à l'énergie : elle sera de 1,5°C pour le calorimètre C₁ et de 3°C pour le calorimètre C₂.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 13**

L'énergie thermique est donnée par $E = R \cdot I^2 \cdot t$

- a) **R** et **t** étant constants, pour doubler **E** il faut multiplier **I** par $\sqrt{2}$.
- b) **R** restant constant, si on triple **I**, il faut diviser **t** par 9.
- c) En doublant **R** et en divisant **U** par deux, cela revient à diviser **I** par 4 (car $I = U/R$).
Si **t** ne change pas, l'énergie **E** est divisée par 8 car dans la relation $E = R \cdot I^2 \cdot t$, **R** est doublée et I^2 est divisée par 16.

Energie et puissance électriques; l'effet Joule **Exercice 17**

- a) On lit sur le graphique: environ 6 600 MW à 11h45.
- b) Environ 4 600 MW à 07h00.
- c) Environ 6 400 MW pendant 2 heures soit $12,8 \cdot 10^6\text{ kWh}$.
ou $12,8 \cdot 10^6\text{ kWh} \cdot 3,6 \cdot 10^6\text{ J/kWh} = 4,6 \cdot 10^{13}\text{ J}$.
- d) Environ 5 500 MW pendant 24 heures soit $132 \cdot 10^6\text{ kWh}$.