POUR INFORMATION UNIQUEMENT

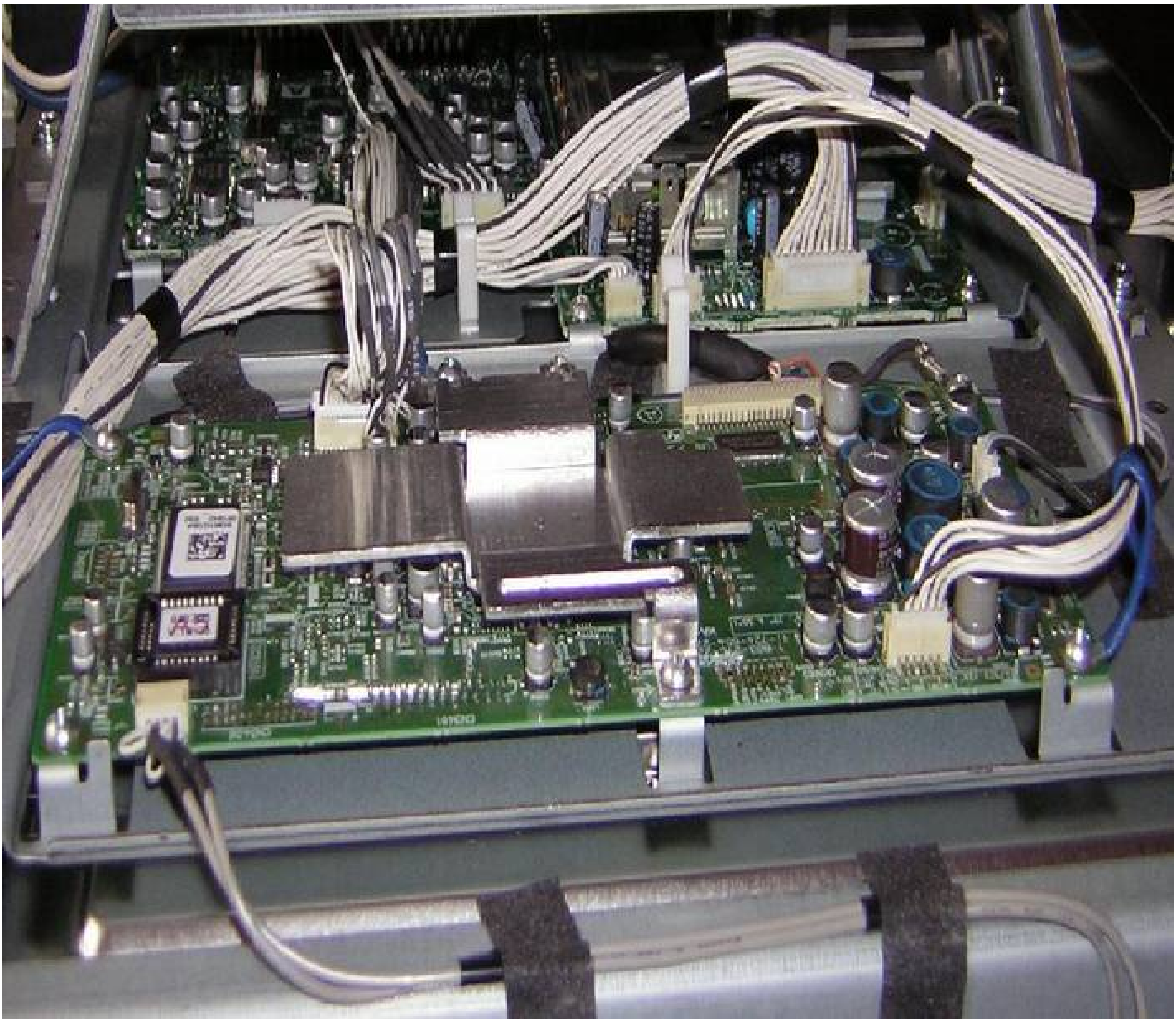
Version officielle

Manuel d’apprentissage

Votre carrière

Electronique théorique fondamentale

TOME I



Daniel ROBERT

PRÉFACE

Lorsqu'on s'occupe de radio, de télévision, de micro-ordinateur ou d'électronique, il n'est guère possible de se passer de mathématiques. En effet, d'une part on se heurte constamment à de nouveaux problèmes que l'on doit résoudre, et d'autre part on se trouve chaque jour en présence, dans la littérature technique, de formules et développements mathématiques, que l'on doit pourvoir comprendre si l'on veut utiliser le texte pour la solution de problèmes pratiques.

Le présent ouvrage a été écrit pour aider le lecteur dans ce domaine. Il a été conçu pour remplacer un cours de mathématiques appliquées à l'électronique, et peut constituer une base d'études pour tout technicien désireux de se perfectionner et un aide-mémoire pour un ingénieur qui éprouve le besoin de rafraîchir ses connaissances.

Aucune connaissance spéciale n'est nécessaire pour consulter avec profit cet ouvrage qui commence par les équations les plus simples et le rappel de quelques notions de base sur le calcul en général et sur le principe de la représentation graphique. Après cela, on passe successivement par les puissances et les racines, les courbes représentatives, la mise en équation d'un problème quelconque, suivie par la transformation et la résolution de ces équations, l'utilisation d'une règle à calcul, les logarithmes, les décibels et les népers. Il est question, ensuite, de l'interprétation des données et des rapports obtenus pas des mesures de plus en plus complexe, des principes du calcul différentiel et intégral, de la variable complexe, des vecteurs et du calcul des imaginaires.

L'auteur s'est efforcé de rendre son exposé clair et simple, de l'illustrer par de nombreux graphiques et figures et de le compléter par des exemples numériques. De plus, la curiosité du lecteur est excitée par des questions (avec réponses) et par des problèmes (avec solutions).

Tout au long de l'exposé des notes ont été ajoutées, de façon à guider le lecteur dans son travail et ne pas laisser succomber à un découragement à la suite d'un échec apparent.

L'ensemble de l'ouvrage a été conçu de façon que son contenu mathématique ainsi que le contenu électronique correspondent le mieux possible aux exigences de la pratique. On a renoncé, notamment, à toutes les démonstrations et à tous les développements chaque fois qu'ils ne présentent pas une utilité pratique immédiate.

Il nous reste à ajouter qu'un ouvrage de mathématiques, même s'il est écrit simplement, ne doit pas être lu superficiellement si l'on veut en tirer un profit quelconque. Son contenu doit être assimilé, tous les exemples donnés doivent être recalculés, toutes les courbes doivent être redessinées, etc. C'est dans ces conditions seulement que l'on tirera le maximum de profit de cet ouvrage et que l'on apprendra à apprécier l'«outil» mathématique que l'on avait peut-être tendance à négliger auparavant.

Daniel ROBERT

SOMMAIRE

1. - NOTION DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

Tout courant électrique dans un conducteur est dû à un déplacement d'électrons. Durant leur déplacement, ces électrons rencontrent des obstacles dus aux atomes du conducteur.

Un conducteur présente une certaine opposition au passage du courant électrique, opposition qui est appelée résistance électrique.

La notion de résistance électrique peut s'étendre à n'importe quel matériau, même aux isolants dans la mesure où ceux-ci opposent au déplacement des charges électriques une résistance tellement grande qu'elle empêche quasiment tout passage de courant.

La résistance se classe parmi les grandeurs électriques et possède son unité.

1. 1. - UNITÉ DE MESURE DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

La résistance électrique (symbole R) se mesure en Ohm (symbole Ω).

Ω est la dernière lettre de l'alphabet Grec : Oméga. Pour indiquer la valeur des résistances, on utilise fréquemment des multiples de l'Ohm tel que le kiloohm (symbole kΩ) qui vaut 1 000 Ohms ou le mégohm (symbole MΩ) qui vaut 1 million d'Ohms.

La résistance R d'un conducteur électrique est définie par trois paramètres **:**

- sa longueur

- sa section

- sa nature

1. 1. 1. - INFLUENCE DE SA LONGUEUR

Il est évident que la résistance rencontrée par les charges électriques se déplaçant dans un conducteur est d'autant plus grande que ce conducteur est long, car le nombre des atomes rencontrés par les charges sur leur chemin est plus important.

La résistance d'un conducteur est donc proportionnelle à sa longueur.

1. 1. 2. - INFLUENCE DE SA SECTION

Les charges électriques se meuvent d'autant plus facilement que la section du conducteur est importante. Pour imaginer cela, on peut dire que les charges électriques ont un espace plus important pour se déplacer.

La résistance d'un conducteur est donc inversement proportionnelle à sa section.

1. 1. 3. - INFLUENCE DE SA NATURE ET NOTION DE RÉSISTIVITÉ

Deux conducteurs de même longueur et de même section, mais de nature différente, c'est-à-dire constitués de matériaux différents (par exemple l'un en cuivre, l'autre en fer) présentent des résistances électriques différentes.

La différence entre les propriétés électriques des matériaux est caractérisée par leur résistivité. Le symbole de la résistivité est la lettre grecque ρ (rô) et son unité est l'ohm-mètre (Ω-m). Figure 1-a sont regroupées les résistivités des principaux métaux purs et des alliages d'usage courant en technique électrique.

Fig. 1-a. - Métaux purs.

Métal	Résistivité à 20°C
Argent	$1{,}6 \times 10^{-8}$ Ω-m
Cuivre	$1{,}7 \times 10^{-8}$ Ω-m
Aluminium	$2{,}8 \times 10^{-8}$ Ω-m
Tungstène	$5{,}6 \times 10^{-8}$ Ω-m
Fer	$9{,}6 \times 10^{-8}$ Ω-m
Platine	10×10^{-8} Ω-m
Plomb	22×10^{-8} Ω-m
Mercure	95×10^{-8} Ω-m

Fig. 1-b. - Résistivité de substances d'usage courant en technique électrique. b) Alliages.

Alliage	Composition			Résistivité (en 10^{-8} Ω-m)
Laitons	Cu 60 à 70 %	Zn 40 à 30 %		Entre 5 et 10
Maillechort	Cu 60 %	Zn 25 %	Ni 15 %	30
Manganine	Cu 85 %	Mn 11 %	Ni 4%	40
Constantan	Cu 60 %	Ni 40 %		50
Ferronickel	Fe 75 %	Ni 25 %		80
Nichrome	Ni 65 %	Fe 23 %	Cr 12 %	110

Un petit commentaire sur ces tableaux est nécessaire, on s'aperçoit que la résistivité n'est pas exprimée en Ω-m et ceci parce que cette unité est beaucoup trop grande pour les conducteurs. Dans la figure 1-a, on utilise le cent millionième d'ohm-mètre (10^{-8} Ω-m). Mais suivant les ouvrages, vous pouvez trouver cette résistivité exprimée en $\mu\Omega$-m (microohm-mètre) qui vaut 10^{-6} Ω-m ou encore en $\mu\Omega$-mm. Inversement pour les isolants dont la résistivité est importante, on utilise le mégohm-mètre (MΩ-m) qui vaut 10^{6} (1 million Ω-m).

1. 1. 4. - DÉTERMINATION DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE D'UN CONDUCTEUR

Comme nous venons de le voir, la résistance électrique d'un conducteur est définie par trois paramètres. Nous pouvons donc penser que ces paramètres peuvent être liés entre eux par une relation permettant de déterminer la résistance d'un conducteur donné connaissant ses dimensions et sa nature.

Nous savons déjà que cette résistance est proportionnelle à la longueur **:**

R = f (l) (se lit **R** en fonction de **l**).

Nous savons également que cette résistance est inversement proportionnelle à la section **:**

$$R = f\left(\frac{1}{S}\right)$$

La résistivité du conducteur intervient également dans ce calcul. L'unité de résistivité étant **l'ohm-mètre ;** ainsi, plus le conducteur sera long plus l'influence de sa résistivité se fera sentir sur le déplacement des électrons donc sur la résistance de conduction **:**

$$R = f(\rho)$$

De la combinaison des trois relations précédentes, nous pouvons déduire la formule générale pour déterminer la résistance d'un conducteur **:**

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

R : Résistance électrique en Ω
ρ : Résistivité en $\Omega - m$
l : Longueur en m
S : Section en m²

Connaissant cette formule, nous pouvons à titre d'exemple calculer la résistance que présente un conducteur en cuivre de **100 m** de longueur et de **1 mm²** (**10^{-6} m²**) de section, sachant que la résistivité du cuivre est **$1{,}7 \times 10^{-8}$ Ω-m**.

$$R = \rho \frac{l}{S} \Longrightarrow R = \frac{1{,}7 \times 10^{-8} \times 100}{10^{-6}} = 1{,}7\,\Omega$$

Pour compléter notre exemple, la figure 1-c donne la résistance de conducteurs de **100 m de long** et de **1 mm² de section** mais réalisés en différents matériaux, et ce dans le but de réaliser une meilleure analyse comparative de ces métaux au point du vue électrique.

Fig. 1-c. - Analyse comparative.	
Métal	**Résistance d'un fil de 100 m de long et de 1 mm² de section**
Argent	1,6 Ω
Cuivre	1,7 Ω
Aluminium	2,8 Ω
Tungstène	5,6 Ω
Fer	9,6 Ω
Platine	10 Ω
Plomb	22 Ω
Mercure	95 Ω

Enfin, pour clore ce chapitre sur la résistance électrique, il faut savoir que celle-ci varie avec la température car la résistivité de la substance varie avec la température également. Toutefois, toutes les substances ne réagissent pas de façon identique. En règle générale, la résistivité augmente lorsque la température augmente mais dans des proportions différentes suivant les substances.

Les alliages, bien que possédant une résistivité plus importante que les métaux purs (figure 1-b), ont par contre une résistivité beaucoup plus stable.

Par exemple la manganine et le constantan (ce qui justifie le nom donné à cet alliage) sont particulièrement utilisés pour la réalisation des résistances étalonnées ou des ohms-étalons (résistances spécialement construites pour représenter aussi exactement que possible l'unité de résistance électrique).

Quelques substances voient, par contre, leur résistivité diminuer lorsque la température augmente et c'est notamment le cas de certains mélanges d'oxydes ou de sulfures.

1. 2. - CONDUCTANCE ET CONDUCTIVITÉ

Jusqu'à présent, nous avons considéré les conducteurs du point de vue de la résistance qu'ils opposent au passage du courant, mais comme son nom l'indique, ce conducteur sert à acheminer le courant d'un point à un autre.

L'aptitude d'un conducteur à acheminer plus ou moins bien le courant s'appelle la **conductance électrique**. Un conducteur présente une conductance d'autant plus grande que sa résistance est faible. La conductance sera donc l'inverse de la résistance.

Le symbole de la conductance est **G** et son unité est le **Siemens** (symbole **S**).

Comme nous avons défini une résistivité, nous pouvons définir une **conductivité qui est l'inverse de la résistivité**.

$$\mathbf{G = 1 / R}$$

Le symbole de la conductivité est **y** (se lit gamma, lettre de l'alphabet grec) et son unité est le **Siemens / mètre** (symbole **S / m**).

Comme nous l'avons vu, nous pouvons appeler conducteurs tous les éléments qui présentent la propriété de se laisser facilement traverser par le courant, ils ont donc une conductivité élevée et offrent une faible résistance à ce courant **:** c'est notamment le cas des fils de cuivre utilisés pour effectuer les liaisons dans les circuits électriques.

Dans ces circuits, cependant, il se présente souvent la nécessité d'opposer au courant une résistance plus ou moins élevée, ceci s'obtient par l'emploi d'éléments réalisés à partir de matériaux à haute résistivité.

Ces éléments ne peuvent plus être considérés comme des conducteurs à part entière dans la mesure où leur rôle spécifique est d'opposer au courant électrique une résistance déterminée.

Pour cette raison, ces éléments sont appelés des **résistances** et caractérisés par la résistance, exprimée en **ohm**, qu'ils opposent au courant.

Dans le tableau de la figure 1-d sont regroupées les quatre grandeurs que nous venons d'examiner. Pour chacune d'elles sont reportés l'unité, le symbole correspondant et les relations existant entre ces grandeurs.

Grandeur électrique		Unité de mesure		Relations entre les grandeurs électriques
Appelation	Symbole	Appelation	Symbole	
Résistance	R	ohm	Ω	$R = \frac{\rho l}{S}$ $R = \frac{1}{G}$
Résistivité	ρ	ohm-mètre	Ω-m	$\rho = \frac{R.S}{l}$ $\rho = \frac{1}{\gamma}$
Conductance	G	siemens	S	$G = \frac{1}{R}$
Conductivité	λ	siemens / mètre	S / m	$\gamma = \frac{1}{\rho}$

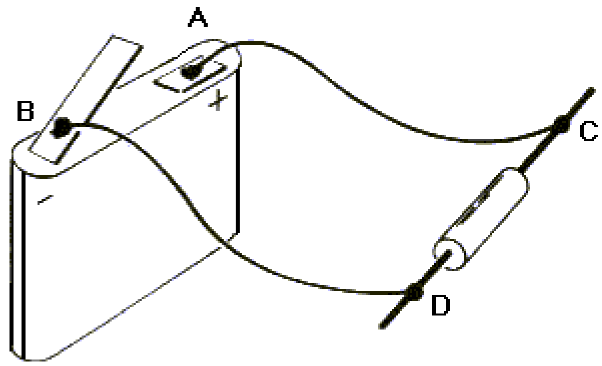
Fig. 1-d. - Différentes grandeurs électriques.

La plus importante de ces grandeurs est sans conteste la résistance car nous pouvons directement mesurer sa valeur par comparaison avec des éléments connus, comme nous le verrons en temps utile.

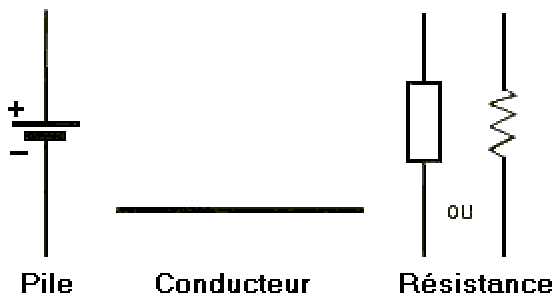
2. - LA LOI D'OHM

NOTA : Les formules de la loi d'Ohm sont équivalentes à savoir **: U = R x I** ou **V = R x I**.

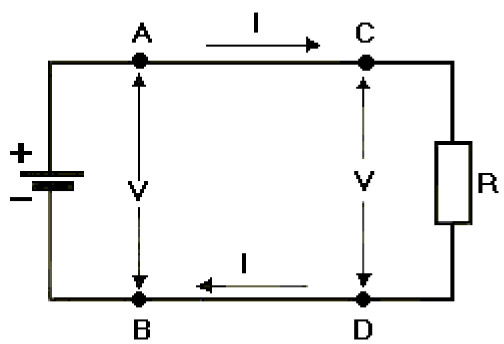
Toutes les grandeurs électriques relatives à un circuit sont maintenant définies. Nous connaissons la tension, le courant (ou intensité) et la résistance. Nous pouvons passer à l'examen d'un circuit complet et voir quelle influence ont chacune de ces trois grandeurs sur son fonctionnement. Commençons par le circuit très simple tel qu'il est représenté (figure 1-a).



a) Circuit électrique.



b) Symboles graphiques.



c) Schéma du circuit électrique.

Fig. 1. - Mise en évidence de la loi d'Ohm.

Ce circuit est constitué d'une résistance reliée à une pile, l'insertion de la résistance est nécessaire pour que le circuit présente une valeur résistive bien déterminée.

Figure 1-a, les composants du circuit sont représentés sous leur aspect réel mais lors de l'examen des circuits électriques on considère toujours les composants sous leur aspect symbolique. Nous obtenons ainsi **le schéma électrique** du circuit à analyser.

Figure 1-b sont donnés les symboles électriques des trois composants de notre circuit, tandis que la figure 1-c apparaît son schéma électrique

Les lettres **A, B, C** et **D** des figures 1-a et 1-c désignent les points où les deux conducteurs reliant la pile et la résistance sont soudés sur ces deux éléments. La partie du schéma à gauche des points **A** et **B** représente le circuit interne de la pile tandis que la partie à droite de ces mêmes points représente le circuit extérieur à la pile, circuit constitué par les conducteurs et la résistance.

Sur la figure 1-c, nous pouvons indiquer clairement les différentes grandeurs électriques connues.

La tension obtenue aux bornes de la pile entre les points A et B est désignée par son symbole V. Ce symbole est inscrit entre les deux flèches qui mettent en évidence les points A et B, points entre lesquels apparaît cette tension.

La même tension V est également présente aux bornes de la résistance R, c'est-à-dire entre les point C et D, car le point C est relié directement au point A et donc possède le même potentiel électrique que ce point ; il en est de même avec le point D relié directement à B.

La résistance du circuit extérieur à la pile est repérée par son symbole R. On ne tient compte que de la valeur résistive de la résistance et l'on néglige celles des conducteurs et de la pile qui sont très faibles. Enfin, le courant qui traverse le circuit est désigné par son symbole (I) avec la flèche montrant la direction de son déplacement suivant le sens conventionnel. Nous voyons clairement sur ce schéma que le courant part du pôle positif de la pile, traverse le conducteur AC puis la résistance R et revient au pôle négatif de la pile via le conducteur DB.

La tension **V** existante aux bornes de la pile a tendance à provoquer la circulation du courant **I** tandis que la résistance **R** présente un obstacle à son passage **:** on comprend que l'intensité va dépendre de la tension et de la résistance. En d'autres termes, il doit exister une relation qui lie entre elles ces trois grandeurs électriques fondamentales.

Cette relation fut découverte par le physicien Allemand Georges Simon OHM (1789 -1854) et fut appelée **loi d'Ohm**. L'unité de résistance porte également le nom de ce physicien.

Ohm put énoncer sa loi à la suite de nombreuses expériences et de mesures minutieuses **;** pour se faire une idée du procédé qu'il adopta, on peut faire quelques remarques simples.

Comme la tension de la pile est la cause qui détermine la circulation du courant dans le circuit, **si on augmente la tension, on augmente aussi l'intensité du courant ;** on peut facilement vérifier ce fait en reliant successivement au circuit des piles qui donnent des tensions toujours plus élevées et en mesurant l'intensité du courant que chacune d'elles fait circuler, mais on peut aller plus loin.

En effet, si on divise la tension de chaque pile par l'intensité du courant qu'elle fait circuler, on trouve toujours la même valeur **;** cette valeur ne varie donc pas, bien qu'on fasse varier la tension, et aussi par conséquent l'intensité du courant.

Nous observons donc que des trois grandeurs électriques considérées dans notre circuit la seule qui n'ai pas variée est la résistance puisque nous avons toujours conservé le même composant. Nous pouvons penser que cette grandeur constante est égale au résultat, lui-même constant, de la division de la tension par l'intensité du courant.

OHM constata cette réalité et énonça sa loi de la manière suivante **:**

La résistance s'obtient en divisant la tension par le courant.

Mais pour faire varier le courant qui circule dans le circuit, nous pouvons faire varier la résistance au lieu de la tension **:** en effet, comme la résistance est un obstacle à la circulation du courant, si on l'augmente on doit diminuer le courant, car il rencontre un obstacle plus grand.

Nous pouvons facilement vérifier ce fait, en conservant ou en prenant une pile, et en remplaçant la résistance par d'autres composants qui ont une résistance de plus en plus grande **:** on mesure l'intensité du courant dans chaque cas, et on peut constater que **si la résistance augmente, le courant diminue**.

Si ensuite nous multiplions la valeur résistive de chaque résistance par le courant qui la traverse, nous trouvons toujours la même valeur bien que résistance et courant varient.

Dans ce cas, des trois grandeurs électriques, seule la tension demeure constante car la même pile est utilisée. Nous pouvons donc penser que la valeur trouvée en multipliant la résistance par l'intensité du courant qui la traverse est la valeur de la tension de la pile.

Là aussi, OHM constata cet état de fait et put énoncer sa loi de cette deuxième façon **:**

On obtient la tension en multipliant la résistance par l'intensité du courant.

A ce point, nous pouvons observer que pour faire varier le courant, nous avons d'abord fait varier tension et résistance séparément. Voyons maintenant ce qui se passe si la tension et la résistance varient simultanément et dans les mêmes proportions.

De cette manière, si l'on divise la tension par la résistance, on trouve toujours la même valeur. D'autre part, si l'on mesure le courant qui circule dans le circuit pour chaque cas, nous nous apercevons qu'il conserve toujours la même valeur **:** nous pouvons donc penser que la valeur trouvée en divisant la tension par la résistance est justement celle de l'intensité du courant.

Dans ce cas encore, OHM aboutit à cette conclusion, ce qui lui fit énoncer sa loi d'une troisième façon **:**

On obtient l'intensité du courant en divisant la tension par la résistance.

Vous ne devez pas penser qu'il y a trois lois d'Ohm **:** la loi d'Ohm est unique, mais comme elle lie entre elles trois grandeurs électriques (**tension**, **intensité du courant et résistance**) elle peut se présenter sous trois formes différentes, selon la grandeur que l'on fait dépendre des autres.

La loi d'Ohm permet donc de calculer l'une des trois grandeurs en connaissant les deux autres.

Pour bien vous rendre compte de ceci, regardez la figure 2 sur laquelle sont représentés les trois cas dans lesquels la loi d'Ohm peut être utilisée sous ses trois formes différentes.

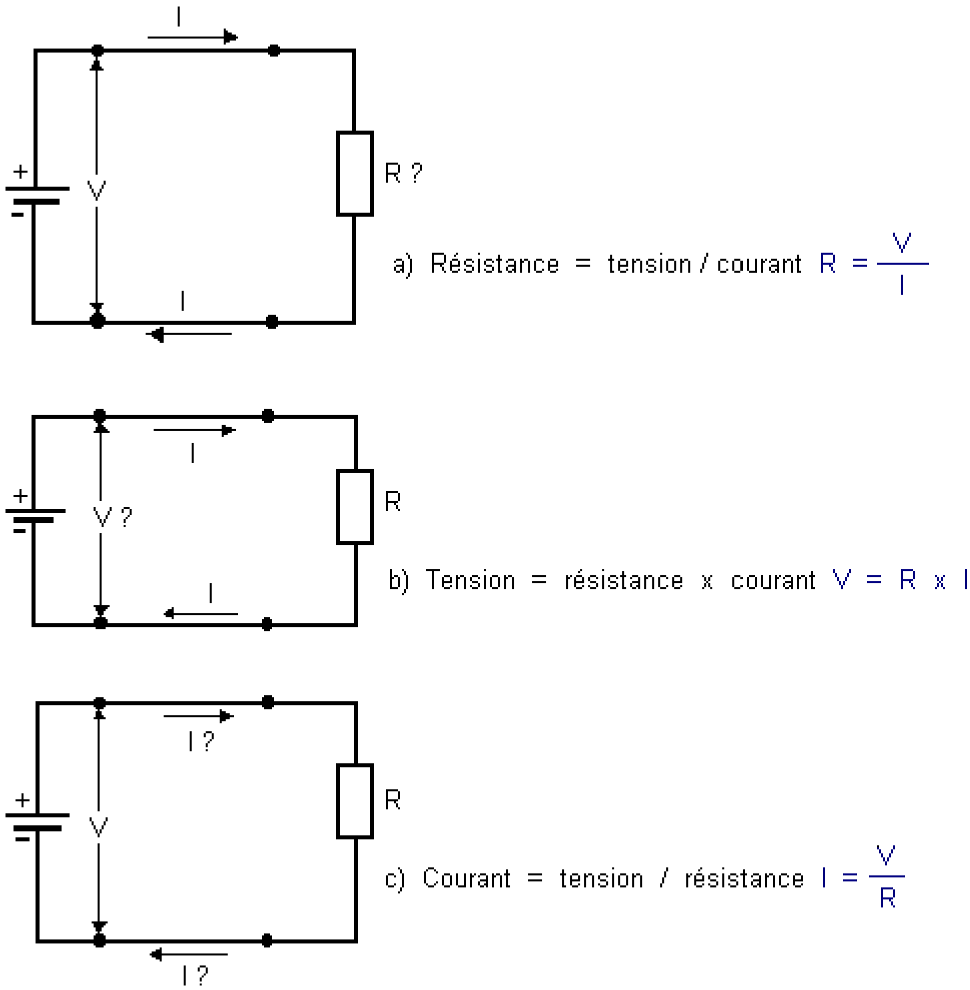


Fig. 2. - Les trois formes de la loi d'Ohm.

Il peut arriver que l'on veuille calculer la résistance d'un circuit auquel est reliée une pile, qui donne une certaine tension, **par exemple 15 volts,** et qui fait **circuler un courant de 3 ampères** (figure 2-a). Dans ce cas, **on calcule la résistance en divisant la tension par l'intensité du courant,** il suffit d'appliquer la formule de la loi d'Ohm **:**

$$\boxed{R = \frac{V}{I}}$$

R = 15 Volts / 3 Ampères = 5 Ohms.

Donc R = 5 Ohms.

On peut, au contraire, vouloir calculer la tension que doit avoir une pile pour faire circuler un courant déterminé dans un circuit de résistance connue (figure 2-b) **:** dans ce cas, **on calcule la tension en multipliant la résistance par l'intensité du courant.** Prenons les mêmes valeurs que ci-dessus, nous aurons **:**

$$\boxed{V = R \times I}$$

V = 5 Ohms x 3 Ampères = 15 Volts.

Donc V = 15 Volts.

On peut enfin vouloir calculer le courant qui circule dans un circuit de résistance connue auquel est reliée une pile qui donne une tension connue (figure 2-c) **:** dans ce cas, **on calcule l'intensité du courant en divisant la tension par la résistance.** Prenons toujours les mêmes valeurs évoquées.

$$\boxed{I = \frac{V}{R}}$$

I = 15 Volts / 5 Ohms = 3 Ampères.

Donc I = 3 Ampères.

Note : Le symbole de la tension, peut être, selon les ouvrages, être **V** ou **U**. De ces trois exemples, nous pouvons comprendre la grande utilité de la loi d'Ohm pour les calculs pratiques **:** gardez toujours en mémoire la figure 2 et les trois formes de la loi d'Ohm. Comme vous pouvez le constater, on tombe bien sur nos pieds, puisque nous avons bien les trois résultats à savoir **: 5 Ohms, 15 Volts** et **3 Ampères.**

Nous allons dès maintenant constater l'utilité de cette loi en l'appliquant à l'analyse des liaisons série et parallèle.

3. - LIAISONS SÉRIE - LIAISONS PARALLÈLE

Dans les circuits électriques, les éléments qui les constituent peuvent être reliés entre eux de manières différentes selon les nécessités **;** nous allons examiner les différents types de liaisons et leurs propriétés particulières, qu'il s'agisse des résistances ou des piles.

3. 1. - ASSOCIATION DE RÉSISTANCES EN SÉRIE

Revenons un instant à l'examen du circuit de la figure 1. Dans celui-ci, le courant **I** sortant de la borne "**+**" de la pile, traverse la résistance **R** totale et revient dans la pile par sa borne "**-**" et, pour distinguer ces deux résistances, nous les appellerons **R1** et **R2**.

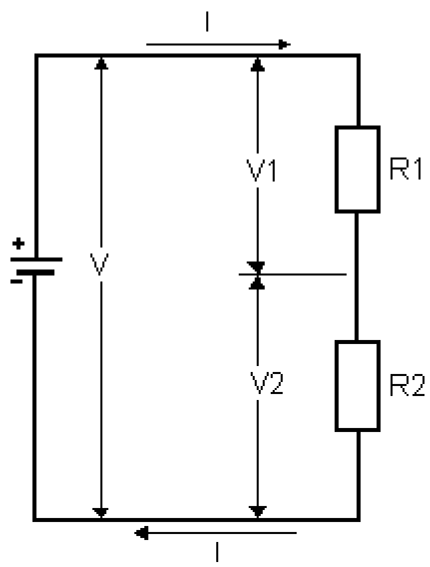


Fig. 1. - Association de résistances en série

Le courant **I** fourni par la pile doit traverser successivement R1 puis R2 pour pouvoir revenir à la borne "**-**" de la pile.

Quand deux ou plusieurs éléments d'un circuit (dans ce cas deux résistances) **sont traversés successivement par le même courant**, **on dit qu'ils sont reliés en série**, ou plus simplement **qu'ils sont en série.**

Le fait que le courant circulant dans ces éléments soit le même pour tous est une caractéristique spécifique des liaisons en série, donc **plusieurs résistances en série sont toutes traversées par** le même courant. (Ceci est évident et facile à comprendre).

L'adjonction de la résistance R2 rend la valeur résistive totale du circuit plus grande que s'il n'y avait que la résistance R1, car le courant, outre l'obstacle causé par R1 à son passage, doit également traverser R2. Nous pouvons dire que la résistance totale du circuit de la figure 1 ci-dessus qui s'oppose au passage du courant est donnée par la somme des valeurs résistives de chaque résistance. Rappelez-vous que **:**

La résistance équivalente présentée par plusieurs résistances reliées en série s'obtient en additionnant la valeur résistive de chacune des résistances.

Regardons maintenant ce qu'il advient de la tension délivrée par la pile. Aux bornes de chaque résistance, il apparaît une tension et ceci conformément à la loi d'Ohm.

Pour la figure 1, La tension V de la pile se partage entre les deux résistances R1 et R2 présentes dans le circuit. Aux bornes de R1 apparaît une tension V1 (déterminée par les valeurs de I et de R1) et aux bornes de R2 apparaît une tension V2 (déterminée par les valeurs de I et de R2). La somme de ces deux tensions est égale à la tension totale de la pile **:** V1 + V2 = V.

Illustrons par un exemple ce qui vient d'être affirmé.

Figure 2 est reporté le même circuit mais certaines grandeurs électriques sont agrémentées d'une valeur.

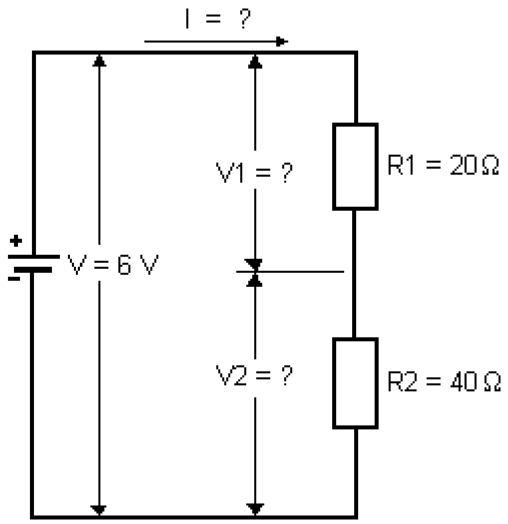


Fig. 2. - Calcul des résistances en série.

Dans ce circuit, nous devons déterminer l'intensité du courant I qui circule dans les résistances R1 et R2, ainsi que les tensions V1 et V2 présentent à leur bornes.

Les deux résistances étant reliées en série, toutes deux sont traversées par le même courant, donc la résistance globale offerte à la circulation de ce courant est déterminée par la somme des deux résistances soit **:**

Résistance équivalente = R1 + R2 = 20 Ω + 40 Ω = 60 Ω

L'application de la loi d'Ohm sous forme I = V / R nous permet de calculer I :

I = 6 V / 60 Ω = 0,1 A = 100 mA

100 mA est l'intensité du courant qui traverse R1 et R2. Pour calculer les tensions V1 et V2 présentes aux bornes de R1 et de R2, la loi d'Ohm sera appliquée sous forme V = RI.

V1 = R1 x I = 20 Ω x 100 mA = 20 Ω x 0,1 A = 2 V

V2 = R2 x I = 40 Ω x 100 mA = 40 Ω x 0,1 A = 4 V

Ces résultats trouvés, nous constatons d'emblée que la tension V de la pile s'est partagée en deux parties et nous avons réalisé un circuit appelé **diviseur de tension**.

Dans les circuits électroniques, on a souvent recours à l'association de deux résistances en série dans le but d'obtenir une tension plus faible que celle fournie par l'alimentation du circuit.

Par exemple, supposons devoir alimenter une lampe fonctionnant sous **6 V** et absorbant un courant maximum de **0,05 A** (**50 mA**) à partir d'une pile de **9 V**.

Sous peine de détruire la lampe, il est impossible de relier celle-ci directement à la pile étant donné que la tension trop importante de celle-ci ferait circuler un courant trop intense dans la lampe, courant qui "grillerait" (comme on dit couramment) la lampe.

Pour éviter cet inconvénient, nous pouvons disposer dans le circuit une **résistance chutrice** en série avec la lampe, comme illustré figure 3. Sur cette figure, vous ferez également connaissance avec le symbole graphique d'une lampe.

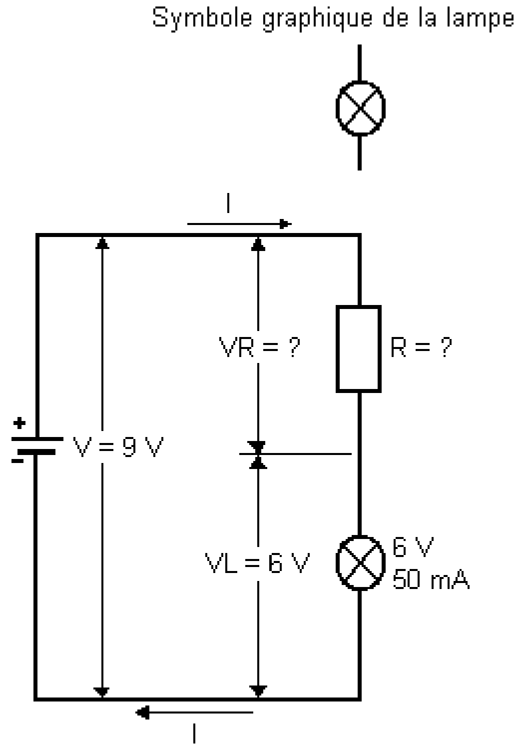


Fig. 3. - Résistance chutrice.

La valeur de la résistance R doit être calculée de façon adéquate pour qu'à ses bornes, la tension soit de 3 V (excédent fourni par la pile). Cette valeur peut être calculée par la loi d'Ohm car le courant I qui circule dans le circuit est imposé par la lampe L soit 50 mA et la tension VR à ses bornes de 3 V.

$$R = VR / I$$

Remplaçons VR par V - VL (VL = tension aux bornes de la lampe L).

$$R = V - VL / I = (9V - 6V) / 0,05\ A = 3\ V / 0,05 = 60\ \Omega$$

Dans ce cas, la résistance R reliée en série avec la lampe L forme avec celle-ci un diviseur de tension qui réduit la tension appliquée à la lampe, de manière à permettre son allumage dans de bonnes conditions.

On dit que la résistance R a ainsi "chuté" une partie de la tension fournie par la pile.

Les résistances sont largement utilisées dans les circuits pour produire des chutes de tension, et réaliser ainsi des diviseurs de tensions.

Un deuxième type de liaison utilisé pour les résistances est l'association en parallèle, illustrée figure 4.

3. 2. - ASSOCIATION DE RÉSISTANCES EN PARALLÈLE

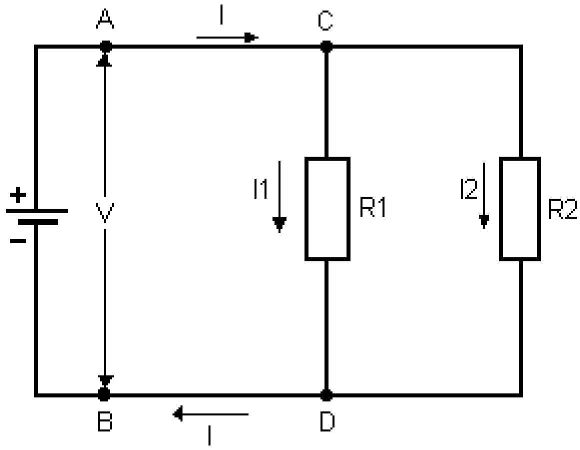


Fig. 4. - Association de résistances en parallèle.

Dans ce type de montage, chacune des deux résistances R1 et R2 ont une de leurs bornes reliées au "**+**" de la pile et l'autre au "**-**". Toutes deux se voient donc appliquer la même tension, celle fournie par la pile.

Cet état de fait est une caractéristique spécifique des liaisons en parallèle ; rappelez-vous que **:**

Aux bornes de plusieurs éléments associés en parallèle, il y a toujours la même tension.

Dans ce type de liaison, il faut donc essentiellement analyser le comportement du courant. Figure 4, notons pour le courant (I) qui sort du pôle positif de la pile se partage au point C en deux courants appelés I1 et I2 **;** chacun de ses courants traverse une résistance (I1 traverse R1 et I2 traverse R2) puis se réunissent au point D pour reformer le courant initial **I** qui rejoint alors le pôle négatif de la pile.

Le courant **I** fourni par la pile est donc égal à la somme des courants qui traversent chacune des résistances.

$$I = I1 + I\ 2$$

Pour déterminer la résistance équivalente Req d'un tel assemblage, il nous faut utiliser la loi d'Ohm. La figure 5 est reporté le circuit électrique de la figure 4 ainsi que le schéma équivalent dans lequel apparaît Req.

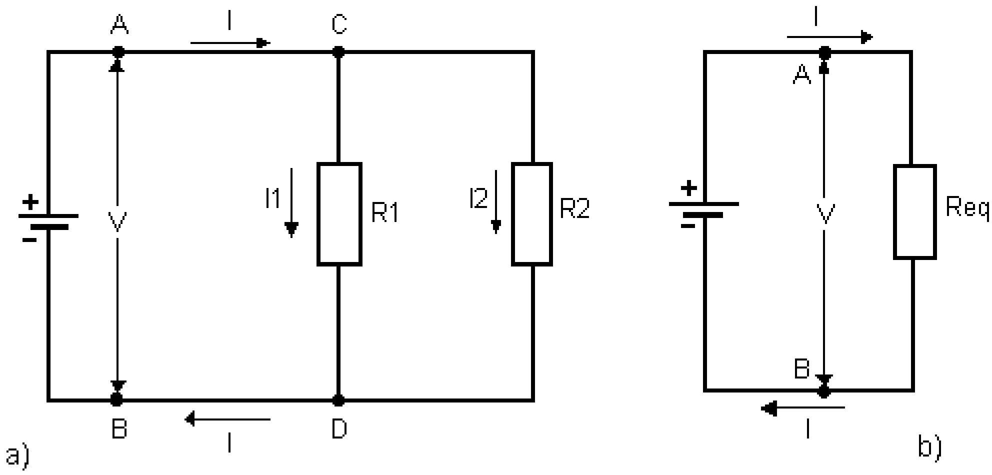


Fig. 5. - Détemination de Req.

Figure 5-a, nous pouvons déterminer la valeur du courant (I) en fonction de R1 et de R2.

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = V_{R1} / R_1$$

$$I_2 = V_{R2} / R_2$$

Nous savons que dans un tel montage, la tension aux bornes de chaque résistance est égale à la tension fournie par la pile **:**

$$V = V_{R1} = V_{R2}$$

$$(1) \quad \text{d'où} \quad I_1 = V / R_1$$

$$(1) \quad I_2 = V / R_2$$

$$(1) \quad \text{et} \quad I = (V / R_1) + (V / R_2)$$

De la figure 5-b, nous déduisons que : (2) $I = V / R_{eq}$

Les deux égalités (1) et (2) donnent le même courant I et sont donc égales :

$$(1) = (2) \quad \Rightarrow \quad (V / R_1) + (V / R_2) = V / R_{eq}$$

Multiplions les deux termes de l'égalité par 1 / V :

$$I / V \times (V / R_1) + (V / R_2) = (1 / V) \times (V / Req)$$

Simplifions les deux termes de l'égalité.

$$\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} = \frac{1}{Req} \quad \Rightarrow \quad Req = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}}$$

Nous avons ainsi déterminé la valeur de Req en fonction de R1 et de R2. Étendue au cas général de plusieurs résistances en parallèle, cette formule devient **:**

$$\boxed{Req = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \dots}}$$

Lors de notre démonstration, nous sommes passés par le résultat intermédiaire suivant **:**

Autrement dit, l'inverse de la résistance équivalente est égale à $1 / R_{eq} = (1 / R_1) + (1 / R_2)$

somme des inverses des résistances du circuit, ou pour être plus précis que la conductance équivalente est égale à la somme des conductances de chaque résistance.

$$G_{eq} = G_1 + G_2$$

Ainsi, pour calculer la résistance équivalente $\mathbf{R_{eq}}$ de deux ou plusieurs résistances en parallèle, on peut faire les trois opérations suivantes **:**

- déterminer la conductance de chaque résistance **:** $G = 1 / R$
- effectuer la somme des conductances trouvées **:** $G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3 +$ **...**
- prendre l'inverse de la somme obtenue **:** $R_{eq} = 1 / G_{eq}$

Quand **deux résistances seulement sont en parallèle**, on adopte la formule suivante qui dérive de la formule générale **:**

$$R_{eq} = (R_1 \times R_2) \ / \ (R_1 + R_2)$$

Par un exemple pratique chiffré, mettons en application ce que nous venons de voir **:**

Soit à calculer la résistance équivalente au circuit représenté figure 6.

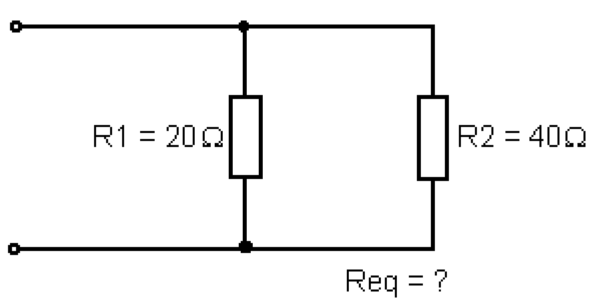


Fig. 6. - Calcul de la résistance équivalente.

Pour calculer $\mathbf{R_{eq}}$, effectuons les trois opérations requises **:**

- calcul de la conductance de chaque résistance **:**

$$G_1 = 1 / R_1 = 1 / 20\ \Omega = 0{,}05\ S$$
$$G_2 = 1 / R_2 = 1 / 40\ \Omega = 0{,}025\ S$$

- somme des conductances :

$$G_{eq} = G_1 + G_2 = 0{,}05 + 0{,}025 = 0{,}075\ S$$

- Calcul de la résistance équivalente :

$$R_{eq} = 1 / G_{eq} = 1 / 0{,}075 = \text{environ } 13{,}3\ \Omega$$

Les résistances R1 et R2 en parallèle sont donc équivalentes à une résistance unique de 13,3 Ohms environ.

Pour comparer les deux types d'associations des résistances, nous pouvons noter que dans le cas de résistances en série, la valeur de la résistance équivalente est toujours supérieure à la valeur de chaque résistance tandis que dans le cas d'une association parallèle la valeur de la résistance équivalente est dans tous les cas inférieure à la valeur de chaque résistance et même mieux, elle est inférieure à la plus petite des résistances.

Les formules présentées servent également aux calculs de circuits plus complexes nés de la combinaison des deux types d'associations.

Prenons pour exemple le circuit de la figure 7 et supposons devoir calculer sa résistance équivalente.

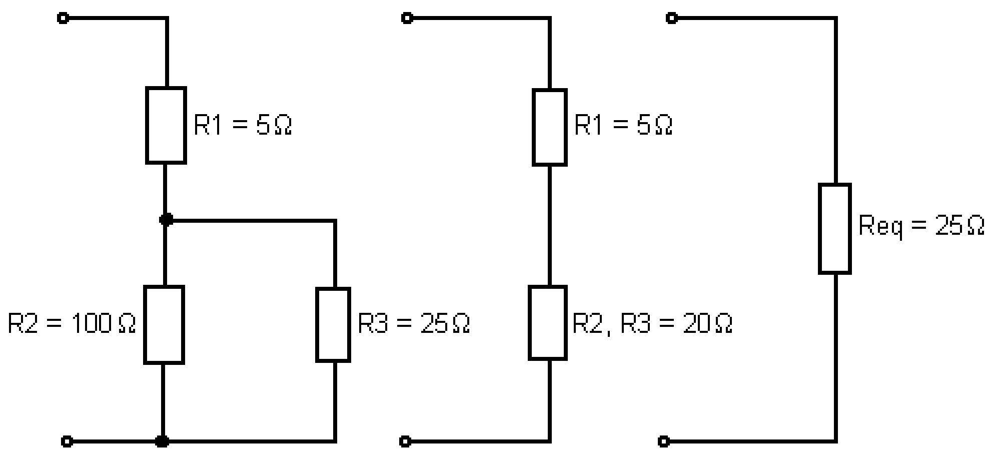


Fig. 7. - Calcul de résistances en série et en parallèle.

On calcule tout d'abord la résistance équivalente (R2 - R3) aux résistances R2 et R3 en parallèle soit **:**

$$R_2\text{-}R_3 = (R_2 \times R_3) / (R_2 + R_3) = (100 \times 25) / (100 + 25) = 2500 / 125 = 20\ \Omega$$

Aux deux résistances R2 et R3, on peut substituer une unique résistance de 20 Ohms (R2 et R3), comme dans la figure 7-b.

A partir de cette figure, on calcule la résistance Req équivalente (figure 7-c) à R1 et R2-3 en série :

$$R_{eq} = R_1 + R_{2\text{-}3} = 5 + 20 = 25\ \Omega$$

De cet exemple pratique, il ressort qu'en présence d'un circuit complexe, il faut traiter les deux types d'associations séparément de manière à simplifier le circuit progressivement jusqu'à obtenir une unique résistance.

Il est également intéressant de voir le comportement des tensions et des courants dans un tel circuit.

Dans la figure 8 est reporté le même circuit mais complété par la représentation des différents courants et tensions .

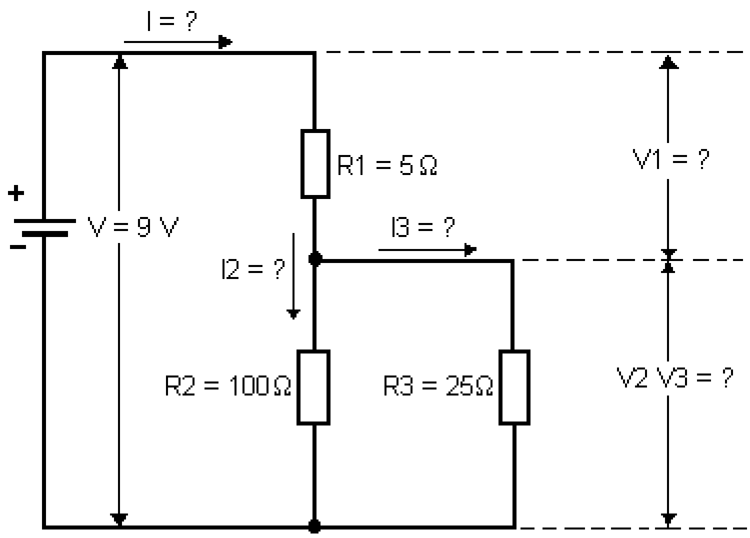


Fig. 8. - Calculs des différents courants et tensions.

Il nous faut à présent déterminer les paramètres accompagnés d'un point d'interrogation dans la figure 8 soit **I**, **V_1, V_2, V_3, I_2** et **I_3.**

- Calcul de **I :**

I est le courant total circulant dans le circuit, nous l'obtenons en divisant la tension fournie par la pile par la résistance équivalente du circuit, qui est comme calculée précédemment de 25 Ohms **:**

$$I = V / R_{eq} = 9 / 25 = 0{,}36\ A = 360\ mA$$

- Calcul de **V_1 :**

V1, tension aux bornes de la résistance **R1** s'obtient en multipliant **R1** par le courant qui la traverse, or ce courant n'est autre que **I :**

$$V_1 = R_1 \times I = 5 \times 0{,}36 = 1{,}8\ V$$

- Calcul de $\mathbf{V_2}$ et $\mathbf{V_3}$ **:**

$\mathbf{V_{2\text{-}3}}$, tension aux bornes de l'ensemble $\mathbf{R_2}$ **-** $\mathbf{R_3}$ est égale à la différence entre la tension **V** de la pile et la tension $\mathbf{V_1}$ chutée par $\mathbf{R_1}$ **:**

$$V_{2\text{-}3} = V - V_1 = 9 - 1{,}8 = 7{,}2 \text{ V}$$

- Calcul de $\mathbf{I_2}$ **:**

$\mathbf{I_2}$, courant circulant dans $\mathbf{R_2}$ s'obtient en divisant la tension aux bornes de $\mathbf{R_2}$ soit $\mathbf{V_{2\text{-}3}}$ par $\mathbf{R_2}$ **:**

$$I_2 = V_{2\text{-}3} / R_2 = 7{,}2 / 100 = 0{,}072 \text{ A} = 72 \text{ mA}$$

- Calcul de $\mathbf{I_3}$ **:**

Le courant circulant dans $\mathbf{R_3}$, peut s'obtenir de deux façons **:**

$$I_3 = I - I_2 = 360 \text{ mA} - 72 \text{ mA} = 288 \text{ mA}$$

ou $$I_3 = V_{2\text{-}3} / R_3 = 7{,}2 / 25 = 0{,}288 \text{ A} = 288 \text{ mA}$$

3. 3. - ASSOCIATION DE PILES

Après avoir vu ce qui se produit dans le circuit extérieur des piles, selon le type de liaison adopté pour les résistances, nous allons examiner le circuit intérieur aux piles.

Le courant qui retourne aux pôles négatif de la pile, après avoir parcouru le circuit extérieur, doit traverser la solution électrolytique à l'intérieur de la pile pour se porter sur le pôle positif, d'où il recommence à circuler dans le circuit extérieur.

La solution électrolytique de la pile offre une résistance au courant qui la traverse. Comme cette résistance n'appartient pas au circuit extérieur, elle est appelée **résistance interne** de la pile.

Figure 9, la partie située à gauche des points A et B constitue le circuit interne de la pile.

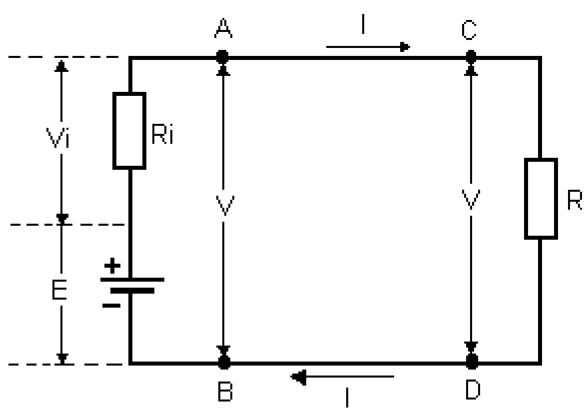


Fig. 9. - Effet de la résistance interne de la pile.

La pile possédant une résistance interne, il est possible de la matérialiser sur le circuit électrique, c'est ce que nous avons fait avec la résistance **Ri**.

Si nous considérons cette résistance **Ri** comme une résistance à part entière, étant traversée par le courant **I**, une tension **Vi** va naître à ses bornes. **Ri** produit une chute de tension mais comme **Ri** est située à l'intérieur de la pile, cette chute de tension s'effectue dans la pile. C'est pour cette raison que la résistance et la chute de tension qu'elle provoque sont symbolisées par un **i**, (**i** servant à rappeler que ces deux paramètres sont internes à la pile).

En conséquence, la tension nécessaire aux bornes de la pile n'est pas la tension totale fournie par la pile, mais est égale à cette tension diminuée de la chute de tension interne.

Selon la loi d'Ohm, la tension qui apparaît aux bornes de **Ri** s'obtient en multipliant **Ri** par le courant qui la traverse, or ce courant n'est autre que le courant traversant le circuit et fourni par la pile.

Nous constatons donc que la chute de tension interne à la pile est d'autant plus élevée que le courant débité par celle-ci augmente.

Inversement, cette chute de tension interne est nulle quand la pile n'est reliée à aucun circuit extérieur. Dans de telles conditions, aux bornes de la pile apparaît la totalité de la tension qu'elle peut fournir.

Cette tension s'appelle **force électromotrice** d'une pile et est symbolisée par la lettre **E** comme dans la figure 9.

Il faut retenir de ceci que **la force électromotrice d'une pile est la tension présente à ses bornes lorsque la pile ne fournit aucun courant.** L'unité de la force électromotrice est bien sûr le volt.

Dans la plupart des cas, la résistance interne d'une pile est de loin très inférieure à la résistance du circuit extérieur et lors d'éventuels calculs, cette valeur est négligée sans que cela apporte d'erreur appréciable dans les résultats.

Dans ces cas, nous considérons que la tension fournie par la pile est égale à sa force électromotrice. Dorénavant, pour le terme force électromotrice, nous utiliserons l'abréviation universellement reconnue **f.e.m.**

Pour illustrer ce qui vient d'être dit, donnons des valeurs aux éléments de la figure 9 **:**

E = 9 V
Ri = 0,3 Ohm
R = 8,7 Ohms

Le courant **I** circulant dans le circuit est donné par le rapport entre la **f.e.m.** et la résistance équivalente de ce circuit constitué de **R** et de **Ri**.

$$I = E / R_{eq} = E / (R + Ri) = 9\ V / (0,3 + 8,7) = 9 / 9 = 1\ A$$

La chute de tension **Vi** interne à la pile est de **:**

$$Vi = Ri \times I = 0,3 \times 1 = 0,3\ V$$

La tension disponible aux bornes de la résistance **R** lorsque la pile débite un courant de **1 A** est de **:**

$$V = E - Vi = 9 - 0,3 = 8,7\ V$$

Comme vous pouvez le constater, la tension chutée dans **Ri** est minime au regard de la tension réellement disponible aux bornes de **R**. Pour d'autres calculs, **Vi** pourrait donc être négligée.

Voyons à présent les différentes associations réalisables à partir de plusieurs piles.

Figure 10 est représenté le type d'association que vous serez appelé à rencontrer le plus souvent, il s'agit d'une association en série.

Cette association s'effectue en reliant la borne positive de l'une à la borne négative de l'autre. Puisque chaque pile a une **f.e.m.** de **1,5 V** entre les points **B** et **A**, il y a une différence de potentiel de **1,5 V** de même qu'entre les point **C** et **B**.

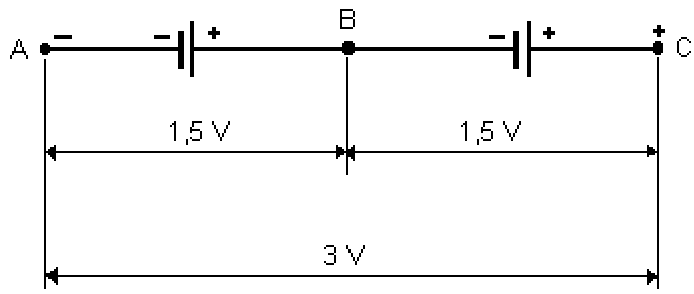


Fig. 10. - Association de piles en série.

Le point **C** a un potentiel électrique supérieur de **1,5 V** à celui du point **B**, qui lui-même a un potentiel supérieur de **1,5 V** par rapport au point **A**. Nous aurons donc un potentiel électrique de **3 V** entre les points **C** et **A**, bornes de l'ensemble.

Nous pouvons alors conclure **:**

En mettant plusieurs piles en série, on obtient une f.e.m. totale égale à la somme des f.e.m. de chaque pile.

On a recours à ce type d'association lorsque l'on a besoin d'une tension plus élevée que celle fournie par une seule pile. Dans ce cas, l'ensemble des piles reliées en série est aussi appelé **batterie** de piles. Ceci est le cas de la pile de **4,5 V** que vous utilisez pour vos pratiques puisqu'elle est formée de **trois éléments** de **1,5 V** chacun reliés en série.

En ce qui concerne la résistance interne, il est évident qu'une batterie de piles a une résistance interne égale à la somme des résistances internes de chaque élément qui la compose. Enfin, tous les éléments étant en série, ils sont traversés par le même courant, comme dans toutes les associations de ce type. D'autre part, il faut savoir qu'une pile ne doit jamais fournir un courant d'intensité supérieure à une valeur déterminée, qui dépend de ses caractéristiques de fabrication, sous peine d'entraîner rapidement sa détérioration.

C'est pour cela que **le circuit extérieur d'une pile n'est jamais constitué par un simple fil de cuivre :** en effet, à cause de la très faible résistance du fil, la pile serait obligée de fournir un courant d'intensité très élevée qui la détériorerait très vite. Dans ce cas, **on dit que la pile est en court-circuit ;** pour la bonne conservation des piles, il faut donc éviter de les mettre en court-circuit, en reliant directement leurs pôles par un simple conducteur de résistance négligeable.

Quand un courant plus important que celui que peut délivrer une seule pile est nécessaire, nous utilisons plusieurs piles reliées en parallèle comme le montre la figure 11.

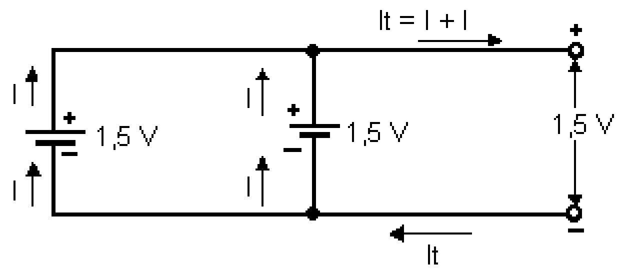


Fig. 11. - Association de piles en parallèle.

Dans cette figure, **nous voyons que le courant total fourni par plusieurs piles en parallèle est égal à la somme des courants que peut fournir chaque pile.**

Naturellement, pour que cela se produise, il faut que les pôles positifs de chaque pile soient reliés entre eux, de même que les pôles négatifs, comme sur la figure 11. Aux bornes de l'ensemble, la **f.e.m.** est égale à celle fournie par une seule pile, caractéristique commune à toutes les associations en parallèle.

En pratique, ce type d'association est rarement utilisé parce que si les résistances internes et les f.e.m. de chaque pile ne sont pas rigoureusement identiques, on observera la décharge d'une pile dans l'autre entraînant leur détérioration mutuelle.

4. - ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET CHALEUR

La notion d'énergie fut suggérée à l'homme par l'observation de phénomènes naturels **;** en observant par exemple le vent, la foudre ou les éruptions volcaniques, il vient spontanément à l'idée que la nature n'est pas une chose inerte mais qu'elle possède une énergie que l'homme s'est ensuite ingénié à utiliser.

Pour cela, il est cependant nécessaire de domestiquer les manifestations de l'énergie naturelle, mais ceci n'est pas toujours faisable et l'homme a dû reproduire artificiellement ces phénomènes naturels de la façon la plus appropriée pour ensuite utiliser l'énergie mise en jeu.

Dans ces cas, on dit communément que l'énergie est "consommée", pour en obtenir un travail ou de la chaleur. Quand nous nous trouvons en face de travail ou de chaleur, produits artificiellement par l'homme, nous devons nous souvenir que ce travail ou cette chaleur ont été obtenus aux dépens d'une énergie correspondante qui a été consommée. Par exemple, l'échauffement du filament d'une ampoule, qui devient incandescent jusqu'à produire de la lumière "consomme" de l'énergie, cette énergie est de nature électrique. En réalité, l'énergie n'est pas consommée mais simplement transformée en un autre type d'énergie. Il est donc plus correct de dire que l'énergie électrique se transforme en énergie mécanique (c'est-à-dire en travail) ou en énergie thermique (chaleur ou lumière).

Nous allons à présent analyser la production de chaleur à partir de l'énergie électrique, puis nous analyserons comment de cette énergie électrique nous pouvons obtenir du travail.

4. 1. - EFFET THERMIQUE DU COURANT

La chaleur produite grâce à l'énergie électrique est due à l'effet thermique du courant, qui consiste en l'échauffement d'un conducteur parcouru par ce courant.

Voyons en premier lieu de quelle façon un courant, parcourant un conducteur, peut produire son échauffement. Comme nous le savon déjà, les corps et donc les conducteurs sont constitués d'atomes qui occupent les positions déterminées.

Lorsqu'un courant circule dans un conducteur, le passage des électrons de ce courant est gêné par les atomes du conducteur contre lesquels se heurtent ces électrons **;** ces derniers cèdent ainsi une part de leur énergie qui réchauffe le conducteur.

4. 2. - ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

L'énergie électrique est une grandeur électrique qui peut être quantifiée. Cela est important car cette énergie est très coûteuse. Pour voir de quelle manière nous pouvons mesurer l'énergie électrique, référons-nous à un circuit très simple tel que celui de la figure 1.

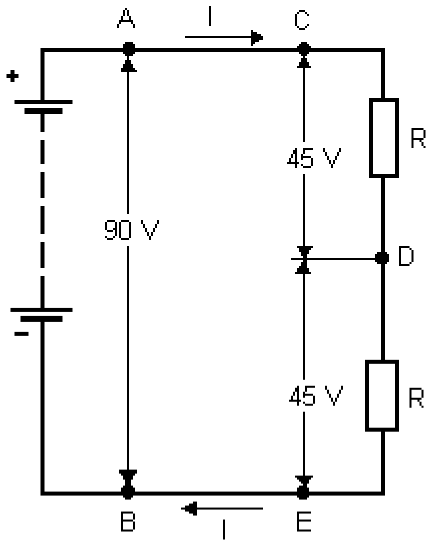


Fig. 1. - Circuit utilisateur d'énergie électrique.

Ce circuit est constitué d'une batterie reliée à deux résistances égales **R** montées en série. Pour notre explication, nous supposons que ces deux résistances appartiennent à un radiateur électrique.

Il est important de se rappeler que toutes les charges constituant le courant électrique circulant dans notre circuit sont égales. Donc, ce qui est vrai pour l'une d'elle est vrai pour toutes les autres. Pour notre explication, analysons ce qui se produit sur une charge, par exemple un électron.

Figure 1, suite au passage du courant dans les deux résistances, il se produit un dégagement de chaleur, l'énergie de l'électron y est donc consommée.

Aux bornes des deux résistances (entre les points **C** et **E**), la tension est identique à celle aux bornes de la batterie (points **A** et **B**) donc de **90 V** (la chute de tension dans les conducteurs étant négligeable). Cette tension de **90 V** se divise en deux parties égales de **45 V** puisque les résistances sont identiques et montées en série. Ces deux résistances fournissent donc chacune la moitié de la chaleur globale produite par le radiateur.

L'électron qui traverse ces deux résistances à tour de rôle perd une moitié de son énergie dans la première résistance et l'autre moitié dans la seconde résistance.

Considérons maintenant la résistance reliée entre les points C et D et voyons quelles valeurs possèdent l'énergie de l'électron et le potentiel électrique.

Au point C, l'électron possède toute son énergie, le point C a donc un potentiel supérieur de 90 V au point E.

Au point D, après avoir traversé la première résistance, l'électron ne possède plus que la moitié de son énergie puisque cette résistance en a consommé une moitié pour produire de la chaleur.

Le point D a un potentiel de 45 V supérieur au point E, c'est-à-dire la moitié des 90 V présents au point C.

Nous constatons ainsi qu'à une diminution d'énergie subie par l'électron en traversant la résistance correspond une diminution analogue du potentiel aux bornes de cette même résistance.

La différence de potentiel ainsi créée correspond à l'énergie cédée à la résistance par les électrons du courant électrique, énergie transformée en chaleur.

Pour ne rien omettre dans mon explication, il nous faut préciser que l'énergie possédée par la charge électrique est fournie par la batterie suite aux réactions chimiques qui se produisent à l'intérieur de celle-ci entre ses électrons et la solution électrolytique qu'elle contient.

L'altération des électrodes et le phénomène de polarisation expliqués précédemment et qui provoque l'épuisement de la batterie sont justement dus aux réactions chimiques internes à la pile.

Ce qui se passe pour un électron et évidemment vrai pour tous ceux composant le courant électrique car chacun des électrons apporte sa contribution d'énergie qu'il a reçue de la pile.

Si à présent, nous désirons connaître l'énergie totale consommée par le radiateur pour produire de la chaleur, il suffit de multiplier la tension qui lui est appliquée par la batterie, par le nombre de charges c'est-à-dire que la quantité d'électricité qui a traversé les résistances pendant la totalité du temps de fonctionnement.

Comme nous le verrons un peu plus tard, la tension est facilement mesurable, par contre, il n'en est pas de même pour la quantité d'électricité. Cependant, nous pouvons également mesurer l'intensité du courant électrique qui, comme nous le savons correspond à la quantité d'électricité, autrement dit, **le nombre de coulombs qui traversent un circuit en une seconde.**

En conclusion, si nous multiplions la tension appliqué au radiateur par l'intensité du courant électrique qui le traverse, nous connaîtrons l'énergie utilisée en une seconde par le radiateur pour produire de la chaleur. **Cette énergie représente la puissance électrique** (symbole **P**) **du radiateur**. Il faut donc retenir que **:**

La puissance électrique d'un appareil électrique correspond à l'énergie absorbée par cet appareil en une seconde : elle est obtenue en multipliant la tension appliquée à ses bornes par l'intensité du courant qui le traverse :

$$\mathbf{P = V \times I}$$

L'unité de mesure de la puissance électrique est le **watt** (symbole **W**) tandis que la tension et l'intensité s'expriment respectivement **en volt** et **en ampère.**

Dans les applications pratiques, vous serez appelés à rencontrer des puissances très grandes ou au contraire très petites **:** pour les fortes puissances, on utilise le **kilowatt** (symbole **kW**) qui vaut mille watts. Pour les faibles puissances, on utilise le **milliwatt** (symbole **mW**) qui est le millième partie du watt.

Connaître la puissance électrique d'un appareil électrique est très important parce que cette information donne immédiatement une idée de l'énergie consommée par cet appareil. Pour cette raison, les fabricants indiquent sur leurs appareils la puissance électrique de ceux-ci.

Supposons par exemple, que sur un radiateur électrique figure la puissance de **500 W**. Cela signifie que ce radiateur consomme une énergie de **500 W** à chaque seconde. S'il fonctionne une heure, il consommera une énergie 3 600 fois plus grande, étant donné qu'il y a 3 600 secondes dans une heure (60 x 60). nous pourrons dire que **:**

L'énergie consommée par un appareil électrique maintenu en fonctionnement pendant un temps déterminé, s'obtient en multipliant sa puissance exprimée en watt par le temps exprimé en secondes.

$$\mathbf{W = P \times t}$$

Puisque pour obtenir l'énergie, nous multiplions la puissance en watt par le temps en seconde. Il est évident que cette énergie se mesure en watt par seconde (**Ws**). A cette unité de mesure de l'énergie électrique a été donné le nom de **Joule** (symbole **J**).

Les appareils électriques fonctionnant en général pendant un temps très supérieur à la seconde, il n'est pas pratique de calculer l'énergie ainsi consommée en multipliant la puissance en watt par le temps de fonctionnement exprimé en seconde.

Pour cette raison, il est préférable de multiplier la puissance en watt par le temps exprimé en heure, l'énergie est alors exprimée non plus en watt par seconde, c'est-à-dire en joule, mais en watt par heure c'est-à-dire en **watt-heure** (symbole **Wh**) qui équivaut à **3 600 joules (1 heure = 3 600 secondes)**.

En pratique, vous rencontrerez le **kilowatt-heure** (symbole **kWh**) qui vaut **1000 Wh**. Par exemple, les compteurs d'électricité installés dans les habitations mesurent l'énergie électrique consommée en kilowatt-heure.

4. 3. - LOI DE JOULE

Nous connaissons maintenant la relation qui lie la tension et le courant à la puissance électrique et à l'énergie consommée pour produire de la chaleur.

Or, nous savons que cette production de chaleur est due à la résistance rencontrée par les charges électriques du courant lors de leur déplacement au travers d'un conducteur. L'énergie consommée dépend donc directement du courant et de la résistance qu'il rencontre.

Il existe effectivement une relation qui lie ces deux grandeurs à l'énergie. Pour mieux comprendre leur action vis-à-vis de l'énergie, il faut tout d'abord se référer à l'énergie consommée chaque seconde autrement dit à la puissance électrique.

Cette relation, énoncée par le physicien anglais James Prescott JOULE (1818 - 1889), est appelée **loi de Joule**. Comme nous l'avons déjà vu, ce physicien a également donné son nom à l'unité de mesure d'énergie ainsi qu'à l'effet thermique du courant appelé effet Joule.

La loi de Joule peut s'énoncer ainsi **:**

La puissance électrique consommée par une résistance pour produire de la chaleur s'obtient en multipliant la valeur de la résistance par le carré du courant qui la traverse :

$$\mathbf{P = R \times I^2}$$

Si la résistance et le courant sont mesurés respectivement en Ohm et en Ampère, la puissance est exprimée en watt.

La loi de Joule peut se déduire de celle déjà vue **: P = V x I**. En effet, de la loi d'Ohm, la tension **V** aux bornes d'une résistance est donnée par **V = R x I**. Si nous remplaçons **V** par ce produit, nous obtenons **:**

$$\mathbf{P = R \times I \times I = R \times I^2}$$

Nous pouvons faire deux constatations à partir de cette formule.

La première est que la puissance consommée augmente dans les mêmes proportions que la résistance, par exemple si la résistance double, la puissance double également.

S'il n'en est pas de même lorsque le courant augmente, en effet si par exemple le courant double, la puissance est multipliée par 4.

Nous pouvons donc affirmer que **:**

La puissance électrique P augmente en fonction du carré du courant.

Si dans la formule **P = V x I** nous remplaçons non pas **V** par sa valeur en fonction de la loi d'Ohm mais **I**, soit **I = V / R** nous trouvons une nouvelle formule de la puissance :

$$P = V \times I = (V \times V) / R = V^2 / R$$

Donc : $P = V^2 / R$

Dans le cas où R double, la puissance P diminue de moitié tandis que si V double, la puissance est multipliée par 4.

Nous pouvons déduire que **:**

La puissance électrique P augmente en fonction du carré de la tension.

Nous sommes maintenant en mesure de calculer la puissance et donc l'énergie électrique consommée pour produire de la chaleur en connaissant deux des trois grandeurs électriques que sont la tension, le courant et la résistance dont dépend le fonctionnement de tout circuit électrique.

Mais quelle quantité de chaleur obtient-on en consommant une énergie déterminée ?

La réponse fut apportée par JOULE suite aux nombreuses expériences qu'il réalisa.

Tout d'abord, pour mesurer une quantité de chaleur, il faut lui donner une unité de mesure propre.

Pour effectuer ce calcul, on exploite le fait que lorsqu'un corps reçoit de la chaleur, sa température augmente.

Puisque cette augmentation de chaleur est mesurable à l'aide d'un thermomètre, il est possible de déduire la quantité de chaleur reçue par le corps.

C'est ainsi que fut définie l'unité de mesure de quantité de chaleur appelée **Calorie** (symbole **Cal**). Il a été convenu que **:**

La calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de un degré Celsius (par exemple de 20°C à 21°C) la température d'un gramme d'eau.

Pour les quantités de chaleur généralement rencontrées en pratique, on utilise la **kilocalorie** (symbole **kCal**), ce multiple de la calorie est défini en se référant non plus à un gramme d'eau mais à un kilogramme d'eau. **La kilocalorie est mille fois plus grande que la calorie.** On utilise également la **thermie** (symbole **th**) qui vaut **1 million de calories** (soit une mégacalorie).

Joule quantifia ses expériences de façon précise en utilisant un conducteur de résistance connue parcouru par un courant connu et ceci pendant un temps donné. Il détermina que pour chaque joule d'énergie consommée, il obtenait **0,238 cal**. Cette quantité de chaleur est appelée équivalent thermique de l'énergie. **Inversement pour une quantité de chaleur de 1 calorie, il faut 4,185 Joules.**

4. 4. - RÉSISTANCES ET PUISSANCE

Voyons à présent comment les nouvelles grandeurs électriques que sont la puissance et l'énergie s'appliquent à un élément tel qu'une résistance.

Reprenons le circuit utilisé lors de l'analyse des liaisons séries et représenté figure 2.

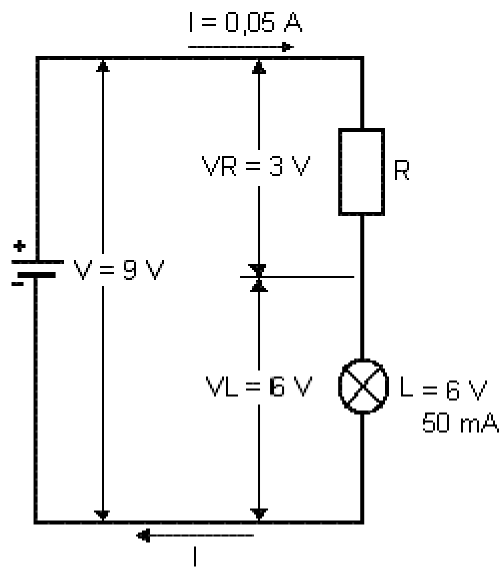


Fig. 2. - Puissance dissipée par une résistance.

Comme la pile fournie une tension de 9 V tandis que la lampe ne nécessite que 6 V, nous avons dû relier en série avec la lampe une résistance qui provoque une chute de tension de 3 V.

Cette résistance déterminée produit de la chaleur en consommant de l'énergie électrique. Cette énergie est consommée inutilement puisque le rôle du circuit n'est pas de produire de la chaleur mais de produire de la lumière par le biais de la lampe et non par le rougeoiement de la résistance.

L'énergie consommée par la résistance à chaque seconde, c'est-à-dire la puissance électrique doit être considérée comme de la **puissance dissipée** puisqu'elle n'est pas utilisée d'une manière ou d'une autre. Pour cette raison, les résistances sont appelées **: éléments dissipant de la** puissance.

Essayons à présent de calculer la puissance dissipée par la résistance R (soit PR) et celle dissipée par la lampe L (PL). Nous supposons que le courant circulant dans le circuit de la figure 2 a une intensité de 0,05 A (50mA). Ce courant correspond au courant absorbé par la lampe.

En appliquant la formule P = V x I, nous obtenons les valeurs de PR et de PL.

$$PR = VR \times I = 3 \times 0{,}05 = 0{,}15 \text{ W} = 150 \text{ mW}$$

$$PL = VL \times I = 6 \times 0{,}05 = 0{,}3 \text{ W} = 300 \text{ mW}$$

Les mêmes valeurs peuvent être obtenues en appliquant les autres relations que nous connaissons soit **:**

$$P = R \times I^2 \quad \text{et} \quad P = V^2 / R$$

Dans ces cas, il faut auparavant déterminer la valeur de la résistance R et celle du filament de L en appliquant la loi d'Ohm.

$$R = VR / I = 3 / 0{,}05 = 60\ \Omega$$

$$RL = VL / I = 6 / 0{,}05 = 120\ \Omega$$

Ce qui donne pour les deux puissances PR et PL **:**

$$PR = R \times I^2 = 60 \times (0{,}05 \times 0{,}05) = 60 \times 0{,}0025 = 0{,}15 \text{ W} = 150 \text{ mW}$$

$$\text{et} \qquad PL = VL^2 / R = (6 \times 6) / 120 = 36 / 120 = 0{,}3 \text{ W} = 300 \text{ mW}$$

La résistance R devra donc être en mesure de dissiper une puissance au moins égale à 150 mW. Une résistance est un composant électronique caractérisé non seulement par sa valeur ohmmique mais également par sa puissance maximale qu'il peut dissiper sans risque de destruction.

Il existe ainsi des résistances qui, bien que possédant la même valeur résistive dissipent des puissances très différentes, qui vont de fractions de watt à plusieurs dizaines de watts. Elles se différencient par leurs dimensions ou par les matériaux avec lesquels elles sont fabriquées.

C'est ainsi que la technique aidant, les constructeurs arrivent à diminuer les dimensions des résistances tout en conservant des puissances fortes.

De l'augmentation de température produite par la dissipation de la puissance en chaleur, dérive un fait important. Précédemment, il a été dit que plus la température d'un corps est élevée, plus l'agitation de ses atomes est importantes, ceci est vrai aussi pour les résistances et en général pour tous les conducteurs.

Mais si les atomes s'agitent avec plus d'amplitude, il leur est plus facile de se trouver sur le parcours des charges constituant le courant électrique qui circule dans le conducteur. Nous pouvons alors en déduire que **:**

En augmentant la température d'un conducteur, sa résistance électrique augmente. Cette augmentation de résistance est différente d'un matériau à l'autre.

Pour chacun d'eux, nous pouvons connaître cette augmentation à l'aide du **coefficient de température** qui indique de combien augmente une résistance de **1 Ohm** quand sa température s'accroît de **1° C** et ceci pour un matériau donné.

Pour les résistances, les constructeurs emploient des matériaux à faible coefficient de température de sorte que leur valeur résistive ne subisse pas de variation sensible, même si la température atteint des valeurs élevées.

FIN

Revu
Par Daniel ROBERT le 29 mai 17 19:39

Version officielle

AUTEUR : Daniel ROBERT

Dépôt légal : Juin 2017

Site : http://www.electronique-et-informatique.fr/

http://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et-Informatique/index.php