

## CHAPITRE

## 5

*Tout comme le poids ou la taille d'une personne, la résistance d'un dipôle est un des paramètres le distinguant des autres. Mais à quoi donc "résiste" une résistance?*

*Objectifs de ce chapitre :*

- *Connaître la notion de résistance et la loi de Joule*
- *Résoudre un exercice de niv. 6 sur la loi d'Ohm*
- *Calculer la  $R_{tot}$  d'un groupement de résistances*

# Les résistances

## 5.1. Zoom sur un dipôle passif

Il est temps de rentrer dans ces petites boîtes noires que sont les dipôles passifs. Après avoir longuement parlé de la façon de les dessiner ou de les interconnecter (les schémas), de ce qui les traverse (les courants), de ce qu'ils subissent (les tensions) et enfin de ce qu'ils consomment (les puissances), nous attaquons ici ce qui les différencie les uns des autres, autrement dit leurs caractéristiques, leurs paramètres électriques.

Pour caractériser une voiture, on parlera de ses différents paramètres tels que son poids, sa vitesse de pointe ou sa consommation moyenne, etc. De même, pour caractériser un dipôle électrique, il existe des paramètres... électriques.

Il y a *trois paramètres électriques fondamentaux*. Le premier, le plus simple, est la *résistance* du dipôle. Les deux autres, la *capacité* et *l'inductance* du dipôle seront vus dans le cours suivant car ils donnent lieu à des comportements électriques beaucoup plus complexes dans la mesure où ils dépendent du temps. Notez qu'il existe également d'autres paramètres électriques mais ils sortent totalement du cadre de ce cours.

### 5.1.1. La résistance R de n'importe quel dipôle

Rares sont les dipôles électriques qui ne sont pas constitués de sous-dipôles, eux-mêmes constitués de dipôles élémentaires. Mais *on peut toujours parler de la résistance d'un dipôle qu'il soit élémentaire ou non*. Même si, comme on le verra plus tard, cette résistance peut varier en fonction d'influences diverses (dont la température). Dès que l'on considère un appareil électrique comme un dipôle, c'est-à-dire que l'on ne s'intéresse plus à ce qui se passe à l'intérieur du dipôle mais simplement son effet sur le courant qui le traverse, on peut parler de sa résistance R. On imagine facilement qu'une ampoule a une certaine résistance lorsqu'elle est allumée, mais il faut également comprendre qu'une télévision a également une certaine résistance (qui varie en fonction du programme et du volume sonore choisis), etc.

Cela dit, avant de s'attaquer à ces dipôles complexes, il faut commencer par maîtriser le comportement électrique des dipôles élémentaires. Parmi ceux-ci, il y a ceux dont la résistance est le seul paramètre vraiment important. Ce sont les dipôles qu'on devrait appeler les résistors mais que tout électronicien appelle les résistances, malgré la confusion que cela crée.

### 5.1.2. Le premier dipôle passif : la résistance électronique

Ces résistances font partie des quelques "briques" de l'électronique. En effet, malgré l'extraordinaire diversité des appareils électroniques, il n'existe en fait qu'un petit nombre de composants fondamentalement différents. Avec les transistors, les condensateurs, les diodes et les bobines, les résistances forment la base de l'alphabet avec lequel on écrit l'électronique. Ce sont les dipôles élémentaires.

N.B. • Les CI (Circuits Intégrés ou puces) contiennent ces mêmes composants mais miniaturisés.

Concrètement, ces résistances ressemblent à des mini-cacahuètes coloriées. Ces couleurs indiquent la valeur de leur résistance suivant un code des couleurs (qui sera étudié en travaux pratiques). Il suffit d'ouvrir n'importe quel appareil électronique pour en observer... sauf peut-être les appareils complètement miniaturisés tels que les GSM. Ceux-ci en contiennent des milliers mais invisibles à l'oeil nu.

Les résistances se symbolisent le plus souvent par un simple rectangle (comme un dipôle quelconque) ou parfois par un zig-zag.

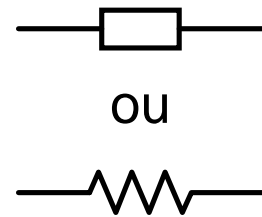


Fig. 74. En électronique, les résistances ressemblent à des caahuètes colorées. Leur symbole est celui d'un dipôle quelconque (rectangle) ou une sorte de zig-zag.  
© Microsoft Encarta



Ces résistances n'ont pas qu'un intérêt didactique. Si elles existent c'est d'abord parce qu'il est beaucoup plus simple de concevoir les circuits électroniques en pouvant isoler dans un seul dipôle chacun des effets que peut avoir un dipôle complexe sur le courant électrique. L'électronique devient alors un jeu à peine plus sophistiquée qu'un LEGO (façon de parler!).

## 5.2. A quoi résiste une résistance ?

### 5.2.1. Explication physique de la loi d'Ohm

Qu'est-ce que la résistance d'un dipôle? La réponse est dans la question ou plutôt dans le mot qui a été choisi. La question devient alors : *à quoi résiste une résistance?* La réponse est encore une question : à quoi d'autre que le courant pourrait-elle résister? C'est assez facile à comprendre. La matière d'un dipôle est en quelque sorte une jungle pour les électrons. Plus cette jungle est dense, plus les électrons auront des difficultés à s'y mouvoir, plus la résistance du dipôle sera grande.

Pour vous faire une idée de cette notion de résistance, imaginez que vous devez traverser une piste de danse endiablée, puis que vous devez la retraverser au moment où le DJ change de disque. Dans le premier cas, la résistance que vous rencontrerez sera beaucoup plus grande que dans le second.

Autre analogie : Le nombre de bandes de circulation. La circulation deviendra plus fluide lorsque l'autoroute sur laquelle vous roulez passera de deux à quatre bandes de circulation. La résistance au passage des voitures aura subitement baissé. Dernière analogie : La section d'une tuyauterie. Plus un tuyau est étroit, plus il présente de résistance au passage de l'eau.

A priori on pourrait conclure que plus la résistance d'un dipôle est grande, plus le courant est petit. Mais il suffit de penser à l'analogie hydraulique pour se rendre compte que la tension entre l'entrée et la sortie du dipôle va jouer un rôle. En effet, un tuyau fin peut très bien être traversé par un débit d'eau beaucoup plus important qu'un gros tuyau. Il suffit pour cela d'augmenter la différence de pression entre l'entrée et la sortie du tuyau. Le principe est le même en électricité : *Le courant dépend diminue avec la résistance du dipôle mais augmente avec la tension à ses bornes.* Entre le courant, la tension et la résistance, on arrive donc à la relation suivante

$$\text{courant} = \frac{\text{tension}}{\text{résistance}}$$

effet
cause
opposition

En électronique, la tension est souvent fixe. Les résistances servent alors à contrôler l'intensité du courant dans un circuit *comme des vannes réglant le débit dans un circuit hydraulique.*

Fig. 75. Il y a une analogie assez intéressante entre un circuit hydraulique et un circuit électrique.

© Physique 5<sup>ème</sup>, option compl., Ed. De Boeck

	circuit hydraulique	circuit électrique
conservation de :	la quantité d'eau	la quantité d'électricité
la cause est :	dénivellation	différence de potentiel
l'effet engendré est :	débit d'eau	intensité du courant
paramètres qui influencent :	les caractéristiques de la tuyauterie	la résistance du circuit qui dépend de sa nature, sa longueur, sa section ...

## 5.2.2. La loi d'Ohm

Mathématiquement, cette relation entre le courant, la tension et la résistance donne l'équation la plus importante de ce cours : la loi d'Ohm, en hommage à Georg Simon Ohm (1789-1854), physicien allemand, un des premiers à avoir travaillé sur la notion de résistance. On a également donné son nom à l'unité de la résistance : ohm [ $\Omega$ ], qui sera définie au § 5.3.2. p.106.

**La loi d'Ohm : Dans un dipôle, le courant est proportionnel à la tension appliquée au dipôle et inversement proportionnel à la résistance du dipôle.**

$$I_x = \frac{U_x}{R_x}$$

EQ 10

$I_x$  : Courant dans le dipôle x [A]  
 $U_x$  : Tension aux bornes du dipôle x [V]  
 $R_x$  : Résistance du dipôle x [ $\Omega$ ]

Ainsi, tout dipôle qui présente une résistance de  $10\Omega$  et qui subit une tension de  $55V$  sera traversé par un courant de  $5,5A$ . Si ce même dipôle est traversé par un courant de  $6A$  c'est qu'il est soumis à une tension de  $60V$ .

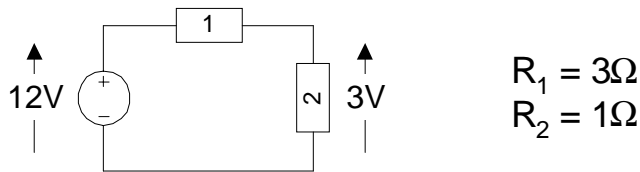
*Attention !* En poussant cette relation à la limite, on voit que si la résistance est infinie, le courant devient nul. De même si la résistance est nulle, le courant est infini. Cela signifie qu'un conducteur parfait possède une résistance nulle et qu'un isolant (parfait) possède une résistance infinie. Un interrupteur fermé a (théoriquement) une résistance nulle et un interrupteur ouvert... une résistance infinie (en théorie). On voit aussi que la distinction entre conducteur et isolant qui avait été faite au point § 1.1.2. p.10 repose en fait sur la notion de résistance. En pratique, un matériau conducteur a une résistance très faible (mais non nulle) et un isolant a une résistance énorme (mais pas infinie).

## 5.2.3. La loi d'Ohm dans un circuit électrique

L'indice x, qui apparaît dans le formule EQ 10 ci-dessus, a une importance primordiale. Il est là pour insister sur le fait qu'un dipôle électrique n'est jamais seul dans un circuit. Sauf dans le cas particulier d'un seul dipôle passif alimenté par un seul dipôle actif, il y a toujours plusieurs tensions, plusieurs courants et plusieurs résistances. Il s'agit donc de ne pas se tromper car *la loi d'Ohm n'est valable qu'avec les grandeurs du dipôle concerné*. Ainsi, la cou-

rant dans le dipôle 2 ci-dessous vaut 3A et non 12A, comme on pourrait le croire à priori, parce que  $U_2 = 3V$  parce que  $U_2$  n'est pas égal à  $U_g$ .

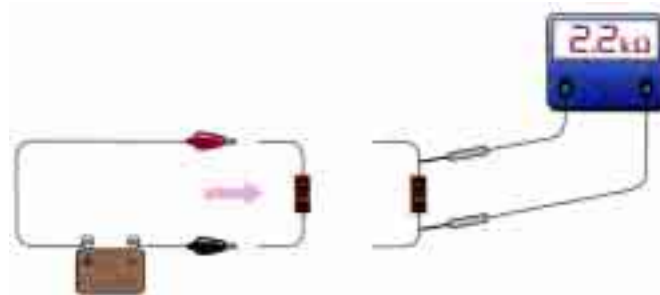
Fig. 76. L'erreur classique consiste à écrire que  $I_2 = 12V / 1\Omega = 12A$ . C'est faux parce que  $U_2$  n'est pas égal à  $U_g$ .



## 5.2.4. La mesure d'une résistance

Mesurer une résistance est une opération très facile. Cela se fait avec un *ohmmètre*. S'il est intégré dans un multimètre, il faut alors régler ce multi en position ohmmètre :  $\Omega$ . Une seule chose est importante. Afin de ne pas mesurer un ou plusieurs dipôles qui seraient en parallèle avec celui dont on veut mesurer la résistance, il faut déconnecter le dipôle du reste du circuit, comme illustré ci-dessous.

Fig. 77. Mesurer une résistance est une opération facile. Il suffit, le plus souvent de brancher l'ohmmètre en parallèle sur le dipôle... sauf quand il faut déconnecter le dipôle.



**Remarque :** Le principe de mesure d'un ohmmètre repose sur la loi d'Ohm puisqu'il applique une tension fixe au dipôle et mesure le courant qui circule alors dans le circuit. Un ohmmètre est donc un mini générateur couplé à un ampèremètre. Il ne mesure pas des ohms mais des ampères et calcule la résistance en utilisant la loi d'Ohm.

## 5.3. Quand ça résiste... ça chauffe !

### 5.3.1. Explication physique de l'effet Joule

On a dit plus haut qu'un dipôle résiste au courant. Physiquement il s'agit d'un phénomène de frottement. Or chacun sait que lorsqu'on frotte, ça chauffe! Dans un dipôle électrique c'est exactement cela qui se passe : *quand ça résiste, ça chauffe.*

Ce phénomène de freinage est de type visqueux, exactement comme la résistance de l'air sur une voiture. Pour faire passer un courant, il faut donc fournir de l'énergie et cela d'autant plus que la vitesse des électrons est plus grande, c'est-à-dire que le courant est plus important. Cette énergie est dissipée dans les chocs avec les atomes et se retrouve en fin de compte sous forme de chaleur.

Ce phénomène a reçu le nom *d'effet Joule* en hommage à ce scientifique anglais qui a étudié et surtout formalisé ce phénomène en 1840. Il est présent dans tous les conducteurs. Bien entendu, il est moins important dans les "bons conducteurs", dont la résistance est faible, que dans les "mauvais conducteurs" dont la résistance est plus élevée. Ces derniers ont aussi leur utilité car ils permettent de réaliser ce que l'on nomme encore des "résistances" qui servent cette fois à dégager de la chaleur (voir § 5.3.3. p.109).

*Attention !* Dans tout ce qui précède, il y a un piège, qui donne lieu à une erreur très répandue. La chaleur dégagée ne dépend pas uniquement de la résistance, elle dépend aussi de l'intensité du courant. Or celui-ci dépend de la résistance. *Il est faux de dire que plus ça résiste, plus ça chauffe car plus ça résiste, moins le courant est important.*

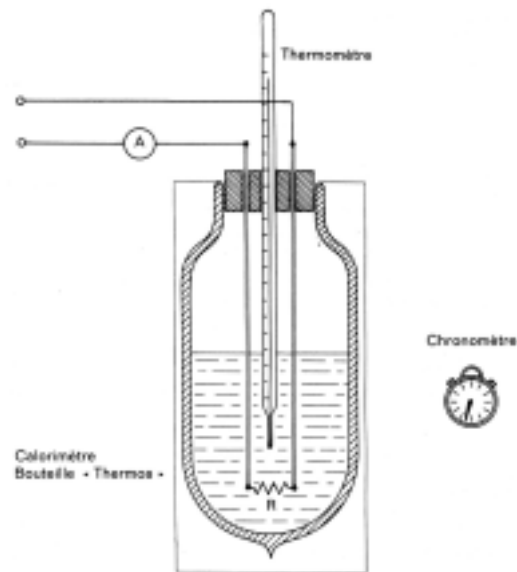
### 5.3.2. La loi de Joule

Pour quantifier l'effet Joule, il y a une expérience relativement facile à mettre en oeuvre. C'est celle que Joule a réalisée pour établir sa formule. Le principe consiste à immerger un conducteur dans un petit récipient (idéalement un

thermos mais ce n'est pas indispensable pour observer l'effet) contenant de l'eau ainsi qu'un thermomètre au dixième de degré.

Fig. 78. Pour déterminer expérimentalement la loi de Joule, il "suffit" de plonger une résistance dans de l'eau et de mesurer l'élévation de température. C'est l'expérience qu'a réalisée Joule en 1840.

© Electricité, Brunquers - Foubert, Dessain Ed De Boeck, 1993.



On observe alors, pour un conducteur donné, que

- lorsque la durée du passage du courant est multipliée par 3, l'élévation de température est multipliée par 3
- lorsque l'intensité du courant est multipliée par 3, l'élévation de température est multipliée par 9

On arrive ainsi à la conclusion, expérimentale, que l'énergie thermique due au passage du courant dans un conducteur est proportionnelle au carré du courant et au temps. On peut alors écrire, à l'instar de Joule, que

$$W_{th} = cste \cdot I^2 \cdot t \quad \text{EQ 11}$$

où la constante est le facteur de proportionnalité qui dépend du conducteur. C'est d'ailleurs, très précisément, ce facteur que l'on a appelé la résistance  $R$  du conducteur.

**Définition officielle de la résistance  $R$  : La résistance d'un conducteur est la constante de proportionnalité de la loi de Joule.**

$$R \triangleq \frac{W_{th}}{I^2 \cdot t}$$

$W_{th}$  : Energie thermique dégagée [J]

$I$  : Courant dans le conducteur [A]

$t$  : Durée [s]

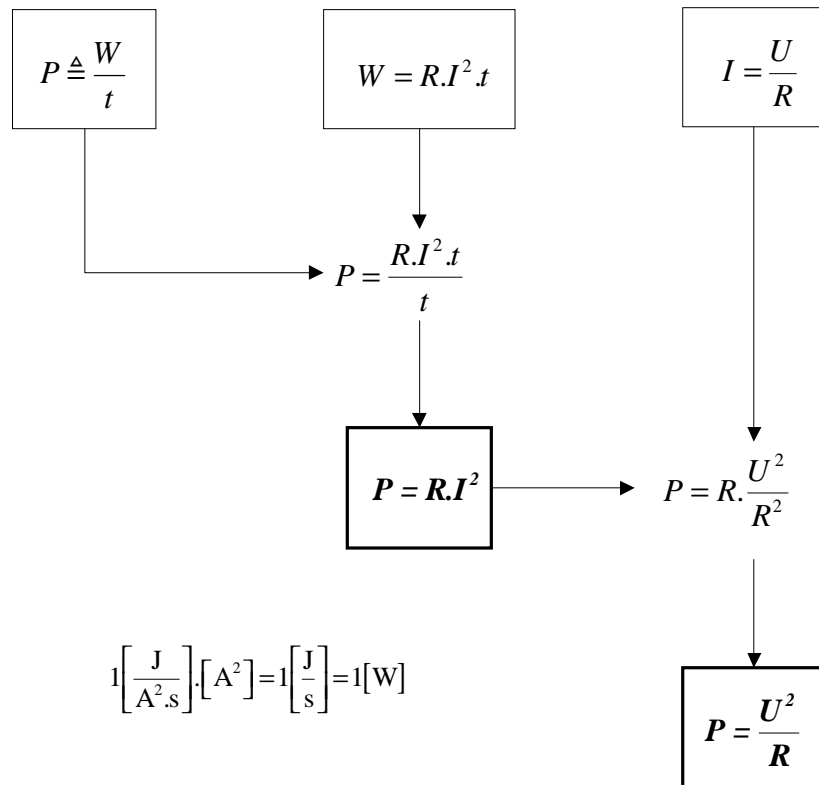
$R$  : Résistance du conducteur [ $\Omega$ ]

EQ 12

Cette définition, plus physique, n'est pas fondamentale pour un électricien. Par contre, la loi de joule ramenée à une unité de temps, c'est-à-dire la formule de Joule en terme de puissance est absolument fondamentale. On peut le dé-



montre mathématiquement à partir de la définition de puissance, de la loi d'Ohm et de la loi de Joule.



On voit que les unités sont cohérentes. En multipliant des volts par des ampères, on trouve bien des watts.

**La loi de Joule pour un dipôle résistif : La puissance thermique dissipée par un dipôle lorsqu'il est traversé par un courant est proportionnel à la résistance et au carré du courant.**

$$P_x = R_x \cdot I_x^2$$

$$P_x = \frac{U_x^2}{R_x}$$

EQ 13

$P_x$  : Puissance dissipée par le dipôle x [W]

$I_x$  : Courant dans le dipôle x [A]

$U_x$  : Tension aux bornes du dipôle x [V]

$R_x$  : Résistance du dipôle x [ $\Omega$ ]

### 5.3.3. Avantages et inconvénients de l'effet Joule

#### a) Tout circuit électrique chauffe

Puisqu'un dipôle de résistance nulle, ça n'existe pas normalement (sauf dans les supraconducteurs comme le verra au point § 7.2.3. p.152), cela signifie que tous les dipôles dégagent de la chaleur dès qu'ils sont traversés par un courant. En particulier les câbles et les pistes de circuits intégrés. C'est d'ailleurs pour cela qu'ils doivent être dimensionnés soigneusement afin de ne pas fondre lorsqu'ils sont traversés par un courant (voir § a) p.157). Mais c'est aussi pour cela qu'on installe souvent des ventilateurs dans les appareils pour assurer une meilleure circulation de l'air et donc un meilleur refroidissement.

Fig. 79. C'est parce tout dipôle électrique chauffe qu'il faut correctement le refroidir pour qu'il ne fonde pas. D'où l'intérêt des ventilateurs à l'intérieur des appareils tels que les PC.



#### b) Mais l'effet Joule c'est parfois très utile

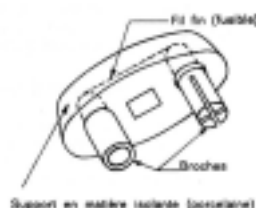
L'effet Joule c'est aussi très utile lorsque la chaleur est justement l'effet recherché. Dans une maison plusieurs appareils domestiques fonctionnent sur ce principe : fers à repasser, radiateurs, chauffe-eau, cuisinières, etc. Ces appareils sont constitués d'un serpentín (résistance), simple fil résistant enrobé dans une gaine isolante, protégée par une enveloppe métallique, et délivrent des puissances de l'ordre du kilowatt.

La lampe à incandescence (l'ampoule classique) fonctionne aussi grâce à l'effet Joule, car si le filament produit de la lumière c'est parce qu'il chauffe. Son principe sera étudié plus en détail au § 7.3.2. p.158.

#### c) L'effet Joule, ça fait aussi tout sauter... heureusement!

Puisque tout chauffe, on peut aussi profiter de l'effet Joule pour couper le courant lorsqu'il devient trop important. C'est le rôle des fusibles. Un fusible est principalement constitué d'un fil qui fond à une température donnée. Certains sont encore toujours en plomb (d'où le surnom donné aux fusibles). Si le courant qui traverse le circuit dépasse une valeur déterminée, le fil fond.

Fig. 80. Un fusible comprend toujours un fil fin qui fond lorsque le courant dépasse une certaine valeur.  
© Electricité 2, Brunquers - Foubert, Ed De Boeck, 1993



Fondamentalement, il existe deux familles de fusibles qui se distinguent par ce qu'ils protègent. Les premiers se trouvent près du compteur de l'installation domestique et servent à protéger toute l'installation électrique c'est-à-dire les fils encastrés dans les murs et à travers lesquels passe le courant. Si l'intensité de celui-ci devient trop élevée, ces fils vont s'échauffer exagérément ce qui peut provoquer un incendie.

Une intensité de courant trop élevée pourrait parcourir les fils:

- en cas de court-circuit, c'est-à-dire en cas de contact entre les deux fils menant au générateur; dans ce cas il se forme à cet endroit un passage trop facile pour le courant et l'intensité du courant peut devenir très élevée.
- lorsqu'un trop grand nombre de récepteurs sont branchés simultanément sur le même réseau, ce qui provoque un appel de courant trop important.

Notez qu'aujourd'hui ces fusibles sont remplacés par des disjoncteurs magnéto-thermiques qui ont l'énorme avantage de pouvoir être réenclenchés facilement lorsque le problème est résolu. Leur rôle est identique à celui des fusibles mais leur principe de fonctionnement est plus complexe et ne peut être expliqué ici.

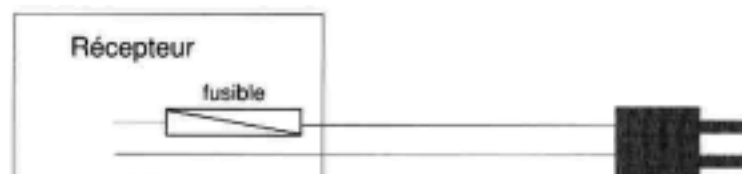
Fig. 81. Dans les nouvelles installations domestiques, le disjoncteur a remplacé le fusible.



Les seconds sont à l'intérieur des appareils et servent à le protéger contre une intensité de courant trop élevée. Ils ne protègent que l'appareil.

Fig. 82. Un fusible à l'intérieur d'un appareil n'a pas du tout le même rôle que les disjoncteurs. Il sert à protéger l'appareil uniquement.

© Physique 5<sup>ème</sup>, option complémentaire, De Boeck 1992



Une intensité de courant trop élevée pourrait traverser le récepteur:

- en cas de raccordement de celui-ci à un générateur dont la différence de potentiel est trop élevée
- lorsque la différence de potentiel du générateur dépasse trop la normale (il existe toujours des fluctuations de cette différence de potentiel d'un moment à l'autre de la journée).

### 5.3.4. Les résistances électroniques sont fragiles

Les résistances électroniques sont fabriquées pour être légères et bon marché. Elles ne sont pas conçues pour se transformer en chauffage. Cela signifie qu'elles peuvent dissiper une certaine puissance mais pas plus sans fondre.

Pour caractériser une résistance électronique, on définit alors sa puissance maximum en plus de sa résistance. Ainsi, une résistance  $100\Omega$   $0,25W$  ne peut dissiper plus de  $\frac{1}{4}W$ . Par calcul, on peut trouver quel sera le courant maximum qu'elle tolère sans fondre. Il suffit d'inverser les formules de Joule (EQ 13 page 108). Cela donne

$$I^2 = \frac{P}{R} \quad \text{ou} \quad U^2 = P \cdot R$$

puis

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad \text{ou} \quad U_{\max} = \sqrt{P \cdot R}$$

ce qui donne, pour une résistance de  $100\Omega$   $\frac{1}{4}W$ ,

$$I_{\max} = 50\text{mA} \quad \text{et} \quad U_{\max} = 5V.$$

Ce calcul est extrêmement fréquent en électronique, ne fut-ce que pour vérifier que le courant qui traverse une résistance ne dépasse pas le courant maximum admissible.

Remarques :

- Une pratique courante consiste à ne pas dépasser 60% de la valeur maximum.
- Erreur très courante :  $\sqrt{10^x} \neq 10^{\sqrt{x}}$  mais  $\sqrt{10^x} = 10^{\frac{x}{2}}$  !!

## 5.4. La résistance équivalente

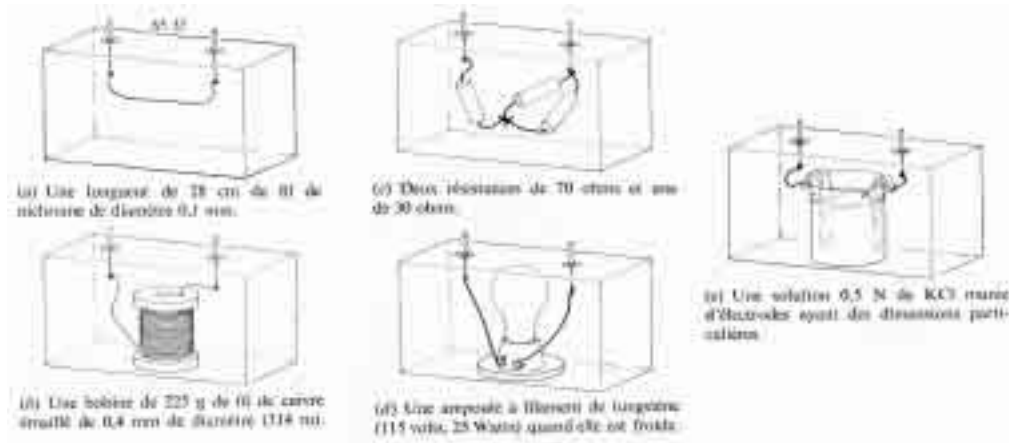
Regardons les cinq boîtes de la figure 83. Pour l'extérieur, chacune d'elles est un dipôle. Pourtant, à l'intérieur de chaque boîte, il y a un système différent. Si l'on insère l'une de ces boîtes dans un circuit électrique, on observe que le courant est numériquement 65 fois plus petit que la tension. On dit alors que la résistance entre bornes du dipôle est de  $65\Omega$ .

Ce ne serait pas correct pour toutes les valeurs possibles du courant ou de la tension. Quand on augmente la tension, il peut se produire beaucoup de choses, qui changeront le rapport tension/courant. Vous êtes sûrement capables

de dire dans quelles boîtes on aura le plus tôt des ennuis. Il y a cependant une certaine limite au dessous de laquelle toutes les boîtes se comportent linéairement, et elles sont alors toutes identiques d'un point de vue électrique. Si un circuit contient une de ces boîtes, il aura le même comportement quelle que soit la boîte utilisée. *Chaque boîte est équivalente à une résistance de  $65\Omega$ .*

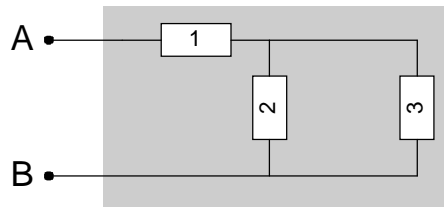
Fig. 83. Toutes ces boîtes peuvent être considérées comme une simple résistance de  $65\Omega$ .

© Berkeley, cours de physique, électricité et magnétisme, Ed. A. Colin, 1973



Cet exemple confirme qu'on peut parler de la résistance d'un seul dipôle, mais qu'on peut aussi parler de la résistance d'un ensemble de dipôles si (et seulement si) ils forment également un dipôle.

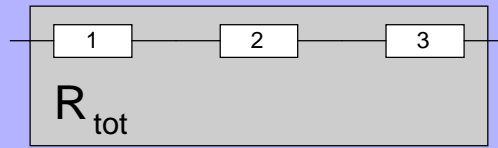
Fig. 84. On peut parler de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  et/ou de  $R_{123}$ , c'est-à-dire la résistance du dipôle AB. On l'appelle alors la résistance équivalente  $R_{eq}$  ou totale  $R_{tot}$ .



Que vaut alors la résistance équivalente  $R_{eq}$  (ou la résistance totale  $R_{tot}$ )? Suffit-il de faire la somme des résistances qui la composent? Cela dépend! Il faut analyser les connexions entre les dipôles. Ceux-ci peuvent être en série, en parallèle ou les deux ensemble dès qu'il y a plus de deux sous-dipôles.

### 5.4.1. La résistance équivalente série

Lorsque toutes les résistances sont en série, la résistance totale augmente. Elle est simplement la somme des résistances. Cela se comprend facilement puisque le chemin à parcourir est plus long pour le courant, la résistance du dipôle total est plus grande.



**En série les résistances s'additionnent.**

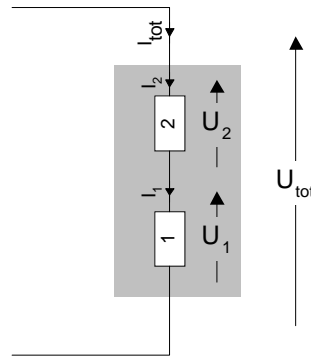
$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

EQ 14

$R_x$  : Résistance du dipôle x [ $\Omega$ ]

$R_{tot}$  : Résistance totale [ $\Omega$ ]

Outre la justification physique, il y a moyen de démontrer cette formule à partir des lois précédente. Prenons le cas particulier de deux dipôles.



On écrit les lois d'Ohm pour les 2 dipôles et le dipôle total.

$$U_1 = R_1 \cdot I_1$$

$$U_2 = R_2 \cdot I_2$$

$$U_{tot} = R_{tot} \cdot I_{tot}$$

Par la loi des tensions, on peut écrire que

$$U_{tot} = U_1 + U_2$$

Par conséquent

$$R_{tot} \cdot I_{tot} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$$

Comme les trois courants sont identiques puisque les 2 dipôles sont en série entre eux et avec le dipôle total, on peut les simplifier, ce qui donne bien

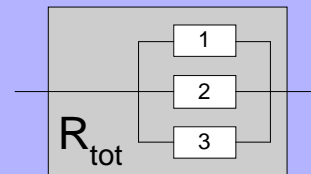
$$R_{tot} = R_1 + R_2$$

CQFD.

## 5.4.2. La résistance équivalente parallèle

Lorsque toutes les résistances sont en parallèle, la résistance totale diminue. Encore une fois, cela se comprend facilement si l'on pense que le courant "a plus de place pour passer". La résistance totale diminue donc avec le nombre de résistance. Dans le cas particulier où toutes les résistances sont identiques, elle est tout simplement divisée par le nombre de résistances.

Mathématiquement, la formule est un peu plus compliquée que la précédente car il faut effectuer une addition de fractions.



**En parallèle, l'inverse des résistances s'additionnent pour donner l'inverse de la résistance totale.**

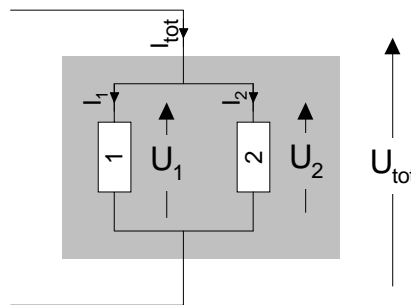
$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$$

EQ 15

$R_x$  : Résistance du dipôle x [ $\Omega$ ]

$R_{\text{tot}}$  : Résistance totale [ $\Omega$ ]

Tout comme la précédente, on peut démontrer cette formule à partir des lois vues jusqu'ici. Prenons le cas de deux résistances en parallèle.



On écrit de nouveau les lois d'Ohm pour les 2 dipôles et le dipôle total.

$$U_1 = R_1 \cdot I_1$$

$$U_2 = R_2 \cdot I_2$$

$$U_{\text{tot}} = R_{\text{tot}} \cdot I_{\text{tot}}$$

Par la loi des courants cette fois, on peut écrire que

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2$$

Par conséquent

$$\frac{U_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$$

Comme les trois tensions sont identiques puisque les 2 dipôles sont en parallèle entre eux et avec le dipôle total, on peut les simplifier, ce qui donne bien

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

CQFD.

### 5.4.3. La résistance équivalente mixte

N.B. • Lorsque deux résistances sont quelconques, elles ne forment pas un dipôle. On ne peut donc pas parler de  $R_{\text{tot}}$ .

Si certaines résistances sont en parallèle, d'autres en série, etc., on peut également parler de la résistance équivalente si (et seulement si) le tout forme un dipôle. Mais il faut travailler en plusieurs étapes.

Par exemple, pour le circuit de la figure 84, on doit d'abord considérer  $R_{23}$ , où  $R_2$  et en // avec  $R_3$ , puis  $R_{123}$  où  $R_1$  est en série avec  $R_{23}$ .

Un autre exemple. Voici comment il faut procéder pour calculer la résistance totale du dipôle suivant.

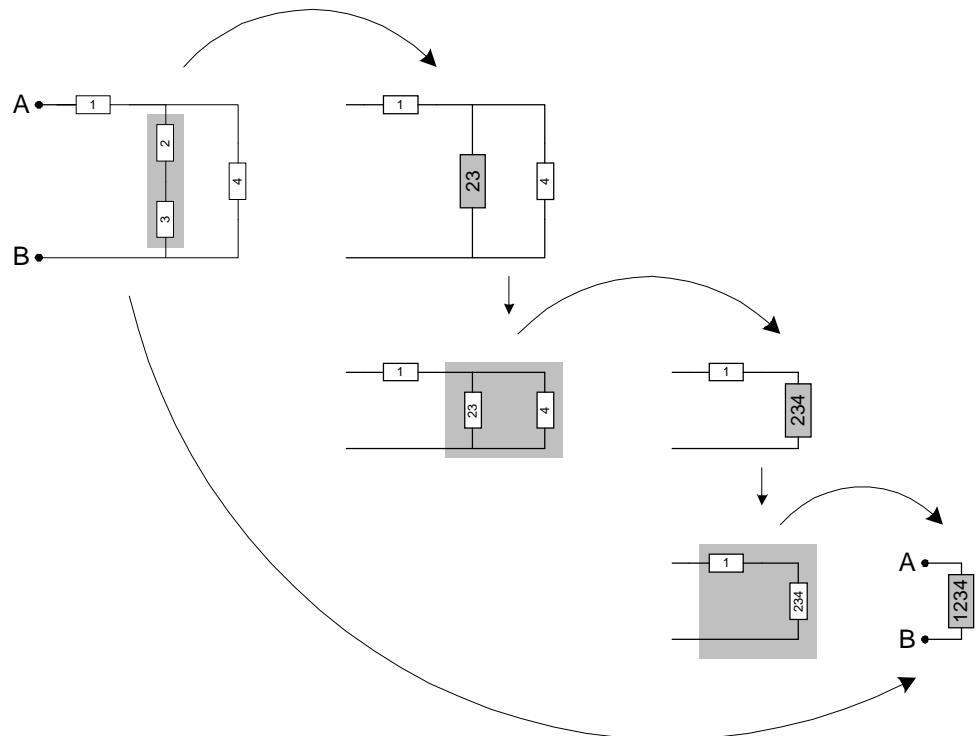


Fig. 85. Pour calculer la résistance totale d'un circuit mixte, il faut procéder par étapes successives en rassemblant ce qui peut être rassemblé.



### 5.4.4. Comment fabriquer une $150\Omega$ avec des $100\Omega$ ?

En électronique, il arrive très souvent que l'on ne possède pas la résistance nécessaire mais seulement une gamme de résistances plus ou moins standard (dont par exemple la série E12). De plus il s'agit souvent de distribuer la puissance sur plusieurs résistances. Bref, on doit apprendre à associer des résistances entre elles pour "fabriquer" une résistance totale. C'est donc l'inverse des points précédents.

Par exemple, comment faire une résistance de  $150\Omega$  avec exclusivement des résistances de  $100\Omega$ ? Il suffit d'utiliser trois résistances de  $100\Omega$  dont deux en parallèle le tout en série avec une troisième.

Fig. 86. Pour "fabriquer" une  $150\Omega$  lorsqu'on ne dispose que de  $100\Omega$ , il suffit d'appliquer les règles des points précédents à l'envers.



## 5.5. Exercices

Les réponses de ces exercices se trouvent à la page 178.

### • Connaissances minimales requises

Ce qu'il faut apprendre par coeur :

- L'énoncé de la loi d'ohm
- La formule donnant la résistance totale en série
- La formule donnant la résistance totale en parallèle
- La formule résumant l'effet Joule en terme de puissance

Ce qu'il faut avoir compris :

- La notion de résistance d'un dipôle
- L'effet Joule (avantages & inconvénients)
- Comment on calcule la résistance totale d'un groupement de dipôles mixtes

Ce qu'il faut savoir faire :

- Résoudre un exercice de niveau 5 ou 6 sur les résistances
- Calculer la  $R_{\text{tot}}$  de n'importe quel groupement de résistances
- Calculer la puissance dissipée par effet joule dans une résistance

### • La signification de la résistance électrique

Ex 5.1 : Répondre par vrai ou faux (niv. 1)

- La résistance d'une rallonge électrique normale vaut presque  $0\Omega$
- Quatre résistances sont connectées en parallèle. Si on en retire une, la résistance totale diminue.
- Pour augmenter la résistance d'un circuit, il suffit de lui ajouter une résistance.
- Dans une maison, c'est la prise qui fixe le courant dans les appareils électriques.
- La résistance d'un réveil radio est plus grande que celle d'un four électrique.
- La résistance d'un fusible en état de fonctionnement est idéalement nulle
- La résistance d'un fusible cassé est nulle.
- Si deux lampes sont placées en parallèle, la résistance de celle qui donne le plus de lumière est plus petite que celle qui en donne le moins.
- Si deux lampes sont placées en série, celle qui donne le plus de lumière est celle qui a la plus grande résistance.
- Si une ampoule X a une résistance plus petite qu'une ampoule Y, le courant dans l'ampoule X sera toujours plus grand que le courant dans l'ampoule Y.
- Dans une maison, plus un chauffage électrique est puissant, plus sa résistance est grande.

Ex 5.2 : Pourquoi fait-on sauter les disjoncteurs en mettant une prise de ciseaux dans une prise? La paire de ciseau ne "consomme" pourtant rien...

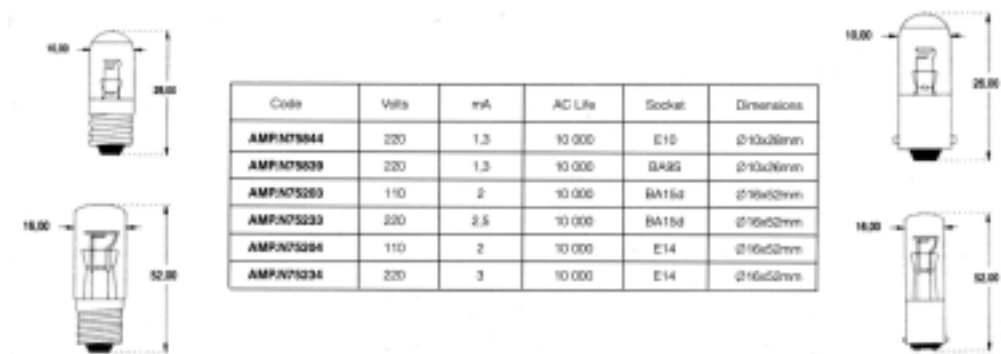
Ex 5.3 : Sans faire aucun calcul, compléter le tableau suivant par '>' '<' '=' ou '?' et justifier votre réponse (niv. 1)

Dipôle A				Dipôle B	Parce que...
Exemple : 220V, 22 $\Omega$	$I_A$	>	$I_B$	220V, 220 $\Omega$	$R_A < R_B$
10V, 10A	$R_A$		$R_B$	10V, 1A	
220V, 10 $\Omega$	$I_A$		$I_B$	22V, 10 $\Omega$	
10A	$R_A$		$R_B$	1A	
2A, 1 $\Omega$	$U_A$		$U_B$	10A, 1 $\Omega$	
100V, 100A	$R_A$		$R_B$	1V, 1A	

Ex 5.4 : Sans calculer toutes les résistances, donner la référence de la (ou des) lampe(s) qui résiste(nt) le moins au passage du courant. Justifier votre raisonnement. (niv. 1)

**NEON SIGNAL LAMPS**

GLASS TUBE



Code	Volts	mA	AC Life	Socket	Dimensions
AMPN75844	220	1,3	10 000	E10	∅10x26mm
AMPN75639	220	1,3	10 000	BA9S	∅10x26mm
AMPN75289	110	2	10 000	BA15d	∅16x52mm
AMPN75233	220	2,5	10 000	BA15d	∅16x52mm
AMPN75284	110	2	10 000	E14	∅16x52mm
AMPN75234	220	3	10 000	E14	∅16x52mm

Ex 5.5 : Comment cet électricien peut-il faire pour retrouver (rapidement) la fin du câble A ?



Ex 5.6 : Sans aucun calcul, dire lequel de ces appareils domestiques ci-dessous résiste le plus au passage du courant électrique. Expliquer.

appareil	courant consommé
Lampe	230mA
Machine à laver	10A
Four	9,2A
Chaîne HI-fi	345mA

### • La loi d'Ohm pour un seul dipôle

Ex 5.7 : Quel courant consomme un four ménager ayant une résistance nominale (à chaud) de  $20\Omega$ ? (niv. 2)

Ex 5.8 : Une ampoule indique 1,2V 0,6A. Quelle est sa résistance nominale (sa résistance en fonctionnement normal) ? (niv. 3)

Ex 5.9 : Compléter le tableau en utilisant la formule de la loi d'Ohm (niv. 3)

U	I	R
12V	6A	
24V		4Ω
2mV	5A	
300MV		10kΩ
3,3V	33μA	
	16A	100Ω
	2mA	2,2kΩ
220V	2A	

Ex 5.10 : Dans une maison belge, sachant qu'une pièce (ou un étage) est généralement protégée par un disjoncteur ou un fusible de 16A, quelle est la résistance minimale que l'on peut brancher aux bornes d'une prise sans faire sauter de disjoncteur? (niv. 3)

Ex 5.11 : Un éclair moyen implique un courant de 20kA et une tension de 200MV. Calculer la résistance opposée par l'air à l'éclair. (niv. 5 / exa. janv. 2000)

Ex 5.12 : Un éclair moyen implique un courant de 20kA et une tension de 0,5 GV. Calculer la résistance opposée par l'air au passage de l'éclair. (niv. 5)

Ex 5.13 : Un câble électrique laisse passer 180MA lorsqu'il est soumis à 0,9GV. Calculer la résistance de ce câble. (niv. 5 / examen janvier 2000)

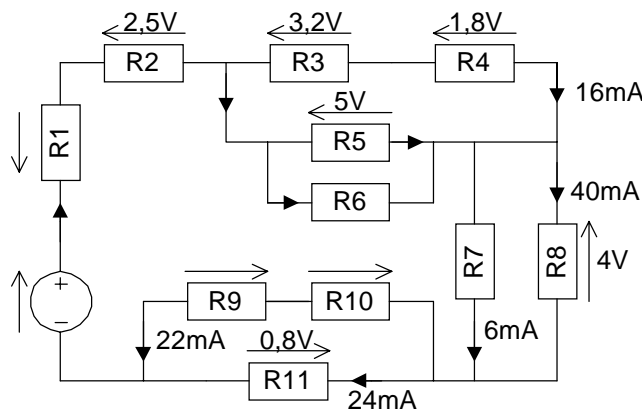
Ex 5.14 : Shadi vient d'acheter (cher) une ampoule (230V) que l'on prétend "économique". Pour vérifier ce que l'on raconte, il mesure le courant qui la traverse lorsqu'elle est allumée et en déduit sa résistance qui vaut 2,3kΩ. En sachant qu'une ampoule classique (230V) consomme plus de 200mA, que pouvez-vous conclure ? Justifier. (niv. 7)



• La loi d'Ohm dans un circuit électrique

Ex 5.15 : Calculer, dans le circuit (niv. 5 / exa. fictif janv. 2000),

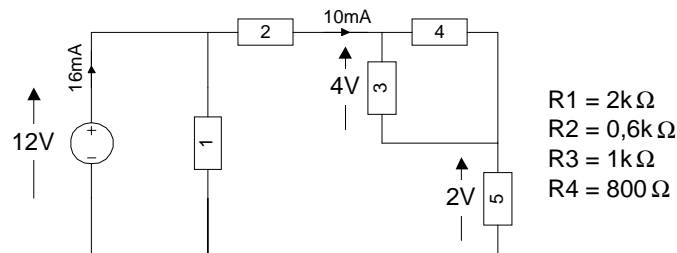
- la valeur de la résistance R<sub>3</sub>
- le courant qui passe dans la résistance R<sub>5</sub>
- la tension qui existe aux bornes de la résistance R<sub>9</sub>



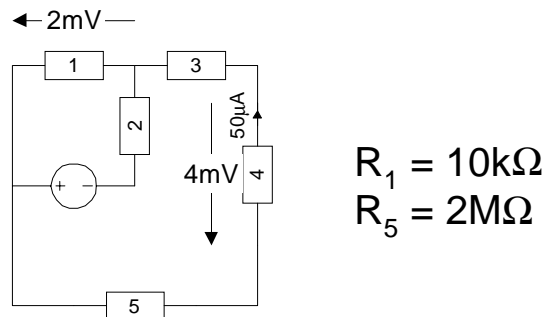
- R1 = 1k Ω
- R2 = 2,2k Ω
- R3 = ?
- R4 = 113 Ω
- R5 = 250 Ω
- R6 = 500 Ω
- R7 = 667 Ω
- R8 = 100 Ω
- R9 = 30 Ω

Ex 5.16 : Calculer, dans le circuit ci-dessous, (examen janvier 2000)

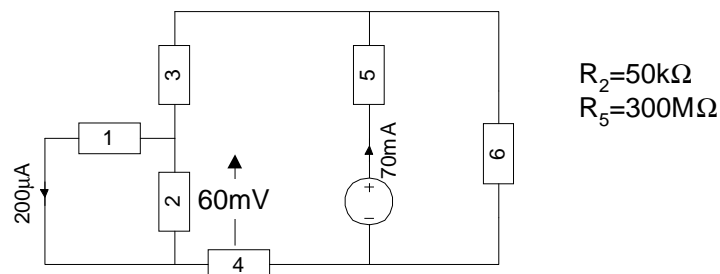
- la valeur de la résistance  $R_5$
- le courant qui passe dans la résistance  $R_4$
- la tension qui existe aux bornes de la résistance  $R_2$



Ex 5.17 : Calculer  $R_4$ ,  $U_5$  et  $I_1$  dans le circuit ci-dessous (exa. fictif janv. 2001)



Ex 5.18 : Calculer  $R_1$ ,  $I_2$  et  $U_5$  dans le circuit ci-dessous (exa. janvier 2001).



### • La loi de Joule

Ex 5.19 : Répondre par vrai ou faux (niv. 1)

- Une lampe 220V 100W a une plus petite résistance qu'une lampe 220V 60W
- La chaleur produite dans une résistance est proportionnelle au courant qui la traverse
- Deux résistances inégales sont connectées en série à une pile. La plus grande résistance développe une quantité de chaleur plus grande que celle produite par la plus petite résistance.
- Deux résistances inégales sont connectées en parallèle à une pile. La plus grande résistance développe une quantité de chaleur plus petite que celle produite par la plus petite résistance.

Ex 5.20 : Thomas vient d'acheter une toute nouvelle machine à laver. Malheureusement, dès la première utilisation, les plombs ont sauté. Ce n'était pourtant qu'un programme de lavage à 40°C. Intrigué, Thomas descend à la cave et constate que l'appartement est protégé par un très vieux fusible de 10A. Ce fusible a brûlé et il faudra donc le remplacer. Mais Shadi comprend aussi que cela ne suffira pas pour

faire tourner la machine à laver. Il décide alors de remplacer le fusible par un morceau de fil électrique, remonte chez lui, et lance le programme de lavage à 90°C. Expliquer et justifier ce qui va se passer. (examen janvier 1998)

Ex 5.21 : Calculer le courant maximal que l'on peut faire passer dans une résistance  $1\text{k}\Omega$  0,25W.

Ex 5.22 : Calculer la tension maximale que l'on peut appliquer à une résistance  $100\Omega$  5W.

Ex 5.23 : Comment évolue la puissance dissipée par une résistance si on y multiplie le courant par deux ?

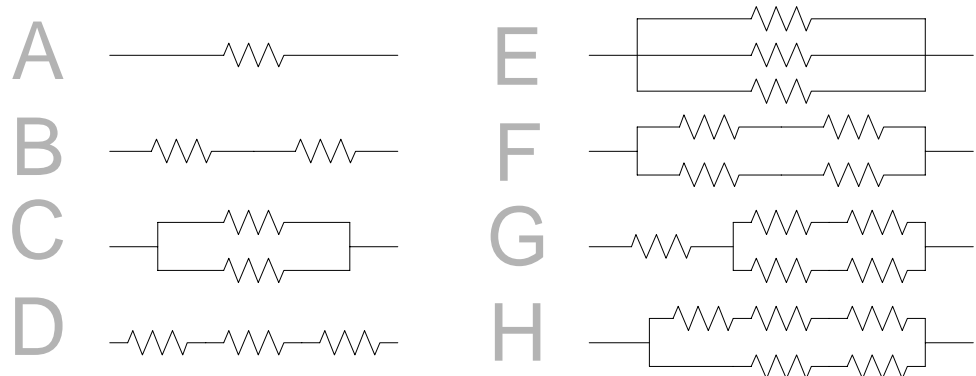
Ex 5.24 : Comment évolue la puissance dissipée par une résistance si on divise la résistance par deux, sans modifier la tension appliquée ?

### • La résistance équivalente d'un groupement de dipôles



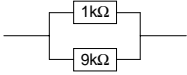
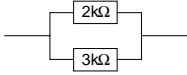
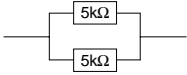

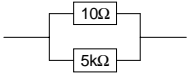
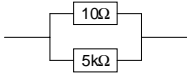
Ex 5.25 : Répondre par vrai ou faux

- Quatre résistances sont connectées en parallèle. Si on en retire une, la résistance totale diminue.
- Quatre résistances sont connectées en série. Si on en retire une, la résistance totale diminue.
- Pour augmenter la résistance entre deux points A et B, il suffit d'ajouter une résistance en parallèle avec le dipôle A-B.
- La résistance totale de deux résistances en série est toujours supérieure à la plus grande des deux résistances.
- La résistance totale de deux résistances en parallèle est toujours inférieure à la plus petite des deux résistances.
- Le courant qui circule dans une maison dépend du nombre d'appareils électriques dans la maison.
- Le courant consommé par une maison augmente avec le nombre d'appareils allumés.

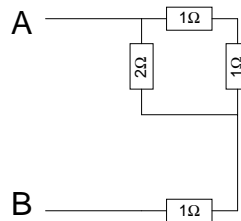
Ex 5.26 : Classer les dipôles ci-dessous par ordre croissant de résistance totale en supposant que toutes les résistances sont identiques (écrire une suite du genre  $Y < Z = X < W < \dots$  / examen janvier 2000).



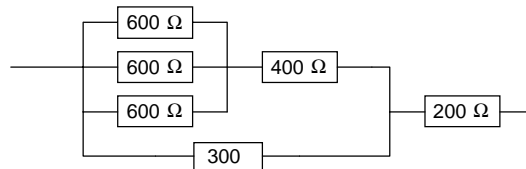
Ex 5.27 : Prédire, *sans calcul*, la résistance totale des ensembles suivants

	$R_{tot}$ est	<input type="checkbox"/> < 800Ω <input type="checkbox"/> entre 800Ω et 1kΩ <input type="checkbox"/> > 1kΩ		$R_{tot} =$	<input type="checkbox"/> 80kΩ <input type="checkbox"/> 1,8kΩ <input type="checkbox"/> 1080Ω <input type="checkbox"/> 1800Ω
	$R_{tot}$ est	<input type="checkbox"/> < 1kΩ <input type="checkbox"/> entre 1kΩ et 9kΩ <input type="checkbox"/> > 9kΩ		$R_{tot} =$	<input type="checkbox"/> 0,2kΩ <input type="checkbox"/> 1,2kΩ <input type="checkbox"/> 2kΩ <input type="checkbox"/> 5kΩ
	$R_{tot}$ est	<input type="checkbox"/> < 5kΩ <input type="checkbox"/> égal à 5kΩ <input type="checkbox"/> > 5kΩ		$R_{tot} =$	<input type="checkbox"/> 1kΩ <input type="checkbox"/> 3kΩ <input type="checkbox"/> 6kΩ <input type="checkbox"/> 12kΩ
	$R_{tot}$ est	<input type="checkbox"/> < 10Ω <input type="checkbox"/> entre 10Ω et 15kΩ <input type="checkbox"/> > 5kΩ		$R_{tot} =$	<input type="checkbox"/> 9,98kΩ <input type="checkbox"/> 10Ω <input type="checkbox"/> 5kΩ <input type="checkbox"/> 5,010kΩ

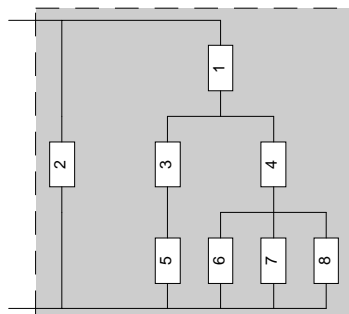
Ex 5.28 : Calculer la résistance totale du dipôle suivant



Ex 5.29 : Calculer la résistance totale du dipôle formé par l'ensemble des résistances ci-dessous. (exa. janv. 2000)

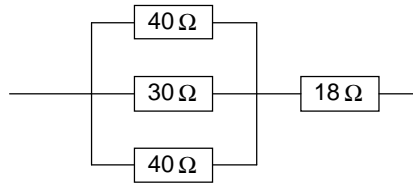


Ex 5.30 : Calculer la résistance totale du dipôle formé par l'ensemble des résistances ci-contre. (examen janvier 2000)

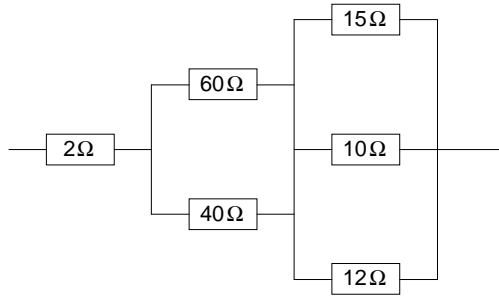


$R1 = 0,1k \Omega$   
 $R2 = 0,2k \Omega$   
 $R3 = 170 \Omega$   
 $R4 = 400 \Omega$   
 $R5 = 0,13k \Omega$   
 $R6 = 0,6k \Omega$   
 $R7 = 0,6k \Omega$   
 $R8 = 0,6k \Omega$

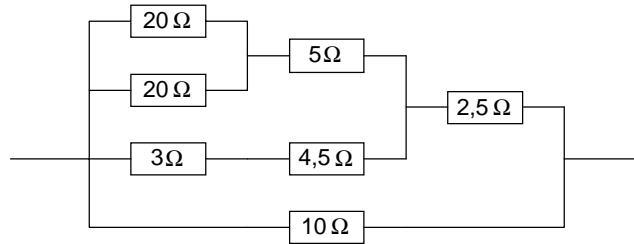
Ex 5.31 : Calculer  $R_{tot}$



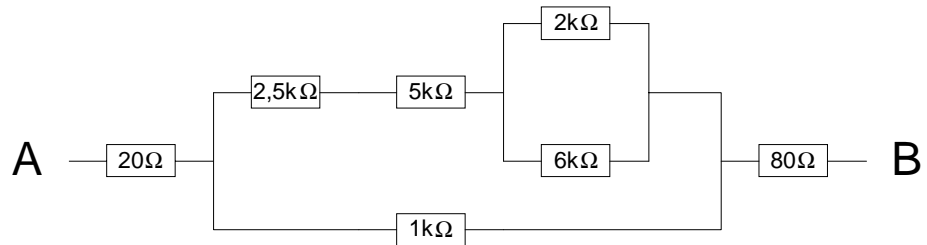
Ex 5.32 : Calculer  $R_{tot}$



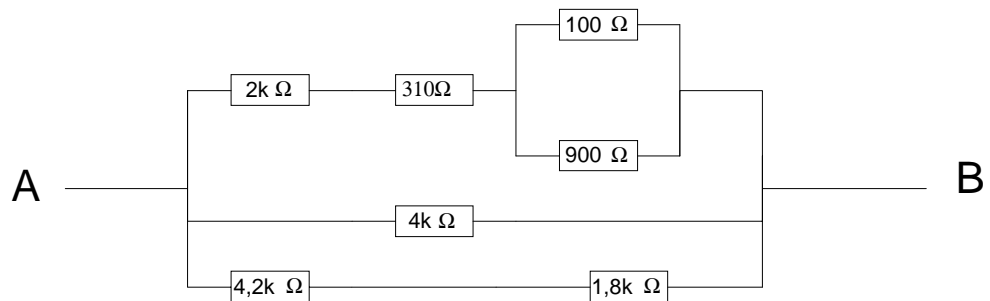
Ex 5.33 : Calculer  $R_{tot}$



Ex 5.34 : Calculer la  $R_{tot}$  du dipôle A-B suivant (examen fictif janvier 2001)



Ex 5.35 : Calculer la  $R_{tot}$  du dipôle A-B suivant (examen janvier 2001)





**• "Fabrication" de résistances**

Ex 5.36 : Quelle résistance faut-il ajouter à  $6\Omega$ ,  $3\Omega$ ,  $25\Omega$ , et  $5,1\Omega$  en série pour que cela fasse une résistance totale de  $80\Omega$  ?

Ex 5.37 : Quelle résistance faut-il ajouter à  $2\Omega$ ,  $6\Omega$ , et  $4\Omega$  en parallèle pour que cela fasse une résistance totale de  $960m\Omega$  ?

Ex 5.38 : Avec un nombre illimité de résistances de  $100\text{ k}\Omega$ , dessiner le circuit du dipôle dont la résistance totale doit valoir (exa. janvier 1999)

- $R_{\text{tot}} = 0,7\text{ M}\Omega$
- $R_{\text{tot}} = 25\text{ k}\Omega$
- $R_{\text{tot}} = 250\text{ k}\Omega$

Ex 5.39 : Comment fabriquer une  $250\Omega$  qui doit être soumise à une tension de  $12,5V$  si l'on ne dispose que de trois types de résistances différentes :  $50\Omega$ ,  $100\Omega$  et  $1k\Omega$  toutes  $\frac{1}{4}W$ . Donner au moins trois solutions différentes.

Ex 5.40 : Calculer la résistance B pour que la résistance totale du dipôle ci-dessous égale  $800k\Omega$ . (examen janvier 2000)

