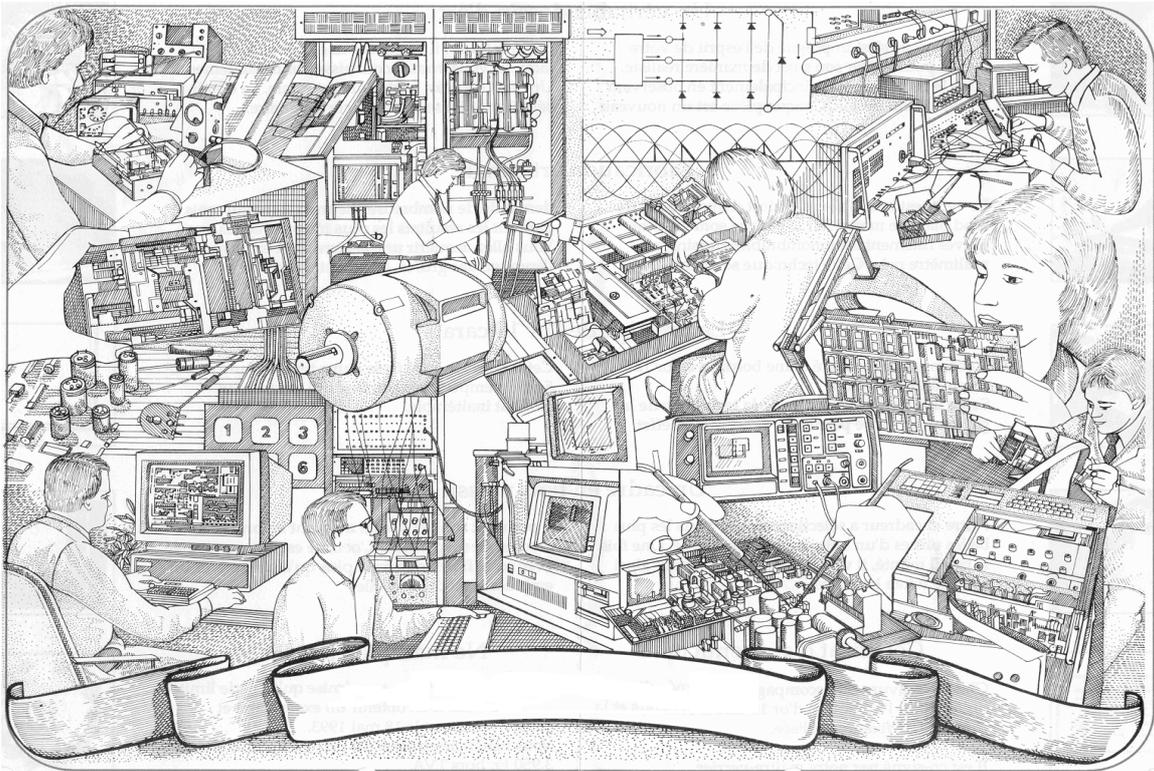


Cours d'électricité

LA THEORIE SUR L'ELECTRICITE



LES NOTIONS DE BASE

Le courant continu

TABLE DES MATIERES

PARTIE N°1 :

Le courant continu (Rappel du second degré)

PARTIE N°2 :

Les lois de Kirchoff

PARTIE N°3 :

Le condensateur

Nomenclature

Symbole	Description	unité	
U	Différence de potentiel ou tension	Volt	V
I	Intensité du courant électrique	Ampère	A
Q	Quantité d'électricité	Coulomb Ampèreheure	C AH
t	Temps écoulé	Seconde Heure	S H
R	Résistance électrique d'un conducteur	Ohm	Ω
ρ	Résistivité de la matière d'un conducteur		$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$
L	Longueur d'un conducteur	Mètre	M
S	Section d'un conducteur	Millimètre carré	Mm^2
R_t	Résistance électrique à une température donnée	Ohm	Ω
R_o	Résistance électrique à la température de référence de 0°C	Ohm	Ω
α	Coefficient de température		$^{\circ}\text{C}^{-1}$
T	Variation de température	Degré	$^{\circ}\text{C}$
R_{ad}	Résistance additionnelle placée en série	Ohm	Ω
J	Densité de courant électrique		A/mm^2
W	Travail développé	joule	J
F	Force développée	Newton	N
l	Chemin ou distance parcourue	Mètre	M
P	Puissance développée	Watt	W
H	Champ magnétique		AT / m
N	Nombre de spire d'une bobine		
B_o	Induction magnétique d'une bobine sans noyau	Tesla	T
B	Induction magnétique d'une bobine avec noyau	Tesla	T
μ_o	Perméabilité de l'aire ou du vide	Henry/mètre	H / m
μ_r	Perméabilité relative du métal	Henry/mètre	H / m
μ	Perméabilité absolue	Henry/mètre	H / m
Φ_o	Flux d'induction magnétique sans noyau	Wéber	W
Φ	Flux d'induction magnétique avec noyau	Wéber	W
F_m	Force magnétomotrice	Ampère-tour	AT
R_m	Reluctance magnétique	Henry^{-1}	H^{-1}
L'	Longueur du circuit magnétique	Mètre	M
v	Vitesse de déplacement d'un conducteur	Mètre/seconde	M / s
\mathcal{L}	Inductance d'une bobine	Henrys	H

Bibliographie

Electricité 1, 2 et 3

Edition DE BOECK & LARCIER
L. BRUNQUERS et M. FOUBERT

Electro-technique tome 1

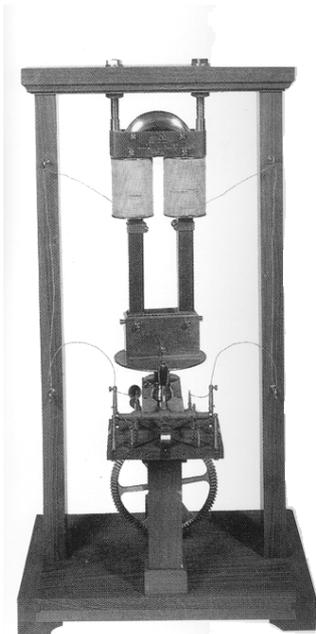
Edition EL educative
G. VAUGEOIS

Cours d'électricité

LA THEORIE SUR L'ELECTRICITE

LES NOTIONS DE BASE

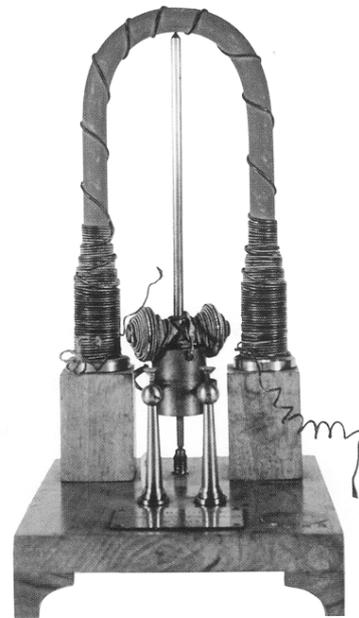
Le courant continu



Machine magnéto-électrique de Pixii (1832)



Electromoteur de Froment (1840)



Machine rotative expérimentale

PARTIE N°1 :

LE COURANT CONTINU

(Rappel du second degré)

TABLE DES MATIERES

1.	Théorie électronique.....	3
1.1.	Notion de particules	3
1.1.1.	La molécule	3
1.1.2.	L'atome	3
2.	L'électricité statique	5
3.	La conduction	5
3.1.	Un conducteur	5
3.2.	Un isolant	5
4.	Les générateurs d'électricité.....	5
4.1.	Description	5
4.2.	La différence de potentiel.....	6
5.	Le courant électrique	6
6.	La quantité d'électricité.....	7
7.	La résistance électrique	8
7.1.	La loi de POUILLET.....	8
8.	La loi d'ohm	9
9.	La loi de Mathiessen	9
10.	Couplage de résistance en série.....	10
10.1.	Résistances additionnelles des voltmètres.....	11
11.	La chute de tension en ligne	11
12.	Couplage de résistance en parallèle.....	12
12.1.	Résistances shunt des ampèremètres.....	13
13.	Le travail	14
14.	La puissance	14
15.	L'énergie	14
16.	Le rendement industriel.....	15
17.	L'énergie électrique.....	15
18.	La puissance électrique	15
19.	Le rendement électrique	16
20.	L'effet joule.....	16
21.	La Force Electro Motrice	16
22.	La Force Contre Electro Motrice	17
23.	Le couplage de générateur en série	17
24.	Le couplage de générateur en parallèle	18
25.	La généralisation de la loi d'ohm.....	18
26.	La loi des pôles.....	18
27.	Le champ magnétique d'un aimant permanent	19
28.	Le champ magnétique d'un conducteur rectiligne	19
28.1.	La règle du tire bouchon de MAXWELL.	20
29.	Convention de notation du sens de circulation du courant.....	20
30.	Le champ magnétique d'un conducteur circulaire (une spire).....	21
31.	Le champ magnétique d'un solénoïde.....	21
32.	L'induction magnétique	22
33.	Le flux d'induction magnétique	23
34.	Le phénomène d'Hystérésis	24
35.	Action d'un champ sur un conducteur rectiligne	25

36.	La règle des trois doigts de la main droite	26
37.	Comportement de conducteurs juxtaposés (force électrodynamique)	26
38.	La force magnétomotrice	27
39.	La reluctance magnétique.....	27
40.	La F.E.M. induite	27
41.	La règle des trois doigts de la main gauche	28
42.	La loi de LENZ (sens des courants induits)	29
43.	La self induction.....	29
44.	L'inductance d'une bobine.....	29
45.	Les courants de FOUCAULT	30
46.	Les tables de conversion d'unité	31
47.	Les applications.....	33
47.1.	Exercice n°1	33
47.2.	Exercice n°2	34
47.3.	Exercice n°3	35
47.4.	Exercice n°4	36
47.5.	Exercice n°5	37
47.6.	Exercice n°6	38
47.7.	Exercice n°7	39
47.8.	Exercice n°8	40
47.9.	Exercice n°9	41
47.10.	Exercice n°10	42

1. Théorie électronique

1.1. Notion de particules

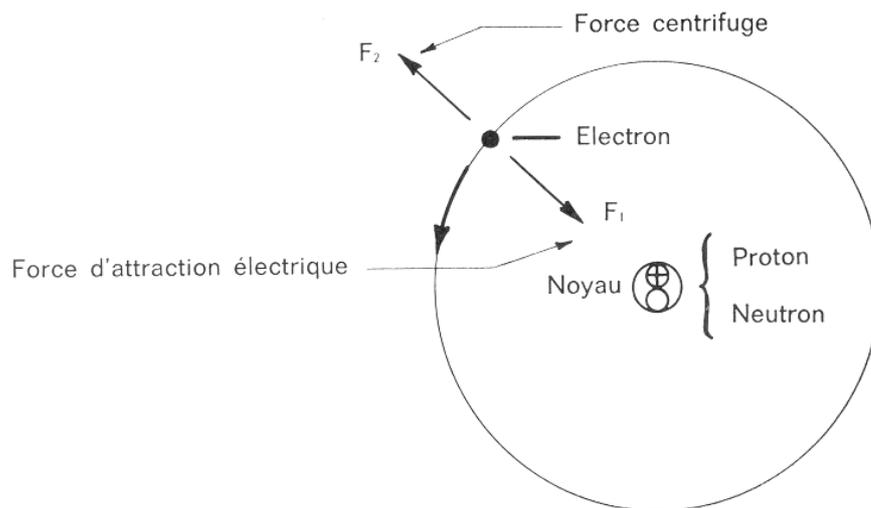
1.1.1. La molécule

La **molécule** est la plus petite partie d'un corps qui puisse exister à l'état isolé tout en conservant la composition chimique de ce corps

1.1.2. L'atome

L'**atome** est la plus petite partie de matière qui puisse entrer en combinaison chimique

L'atome occupe un volume sphérique dont le diamètre varie entre 0,7 et 5 cent-millionièmes de centimètres selon la nature de l'élément. Cette sphère est vide sauf en son centre où l'on trouve une petite particule : le noyau composé de protons (charges positives) et de neutrons (sans charge).



Le **noyau** est petit, son rayon vaut le cent-millionième de celui de l'atome.

Le **noyau** est pesant, il fait à lui seul à peu près tout le poids de l'atome.

Le **noyau** est positif, il porte un nombre variable de charges positives selon la nature de l'atome.

Autour du noyau gravitent, sur des orbites bien déterminées, des particules plus légères, les électrons, chargés d'électricité négative.

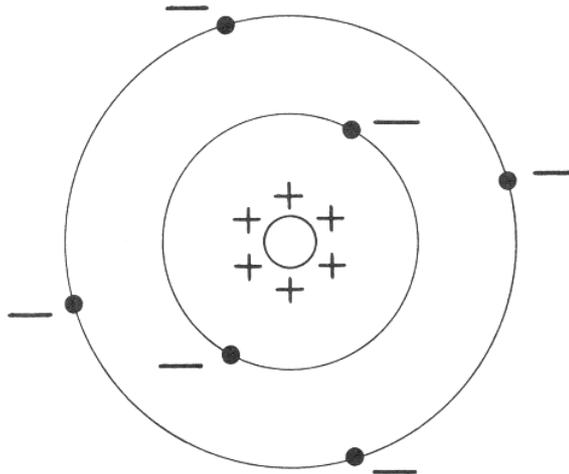
Les **électrons** sont très légers, leur masse est près de 2000 fois inférieure à celle d'un proton ou d'un neutron.

Les **électrons** sont porteurs d'une charge électrique négative.

Les **électrons** sont en mouvement de rotation autour du noyau.

Le noyau et les électrons, chargés d'électricités de noms contraires, s'attirent suivant une force F_1 . D'autre part comme l'électron tourne très vite autour du noyau, il est soumis à une force centrifuge F_2 qui l'en éloigne. L'action antagoniste de F_1 et F_2 maintient l'électron à distance constante du noyau.

C'est parce qu'ils possèdent autant d'électrons négatifs que de charge positives dans le noyau que les atomes sont électriquement neutres.



Les électrons gravitent autour du noyau sur des orbites bien déterminées. Il existe 7 orbites sur lesquelles les électrons tournent. Les électrons qui gravitent sur les orbites approchées du noyau quittent difficilement leur orbite. On les appelle électrons internes. Les électrons qui gravitent sur les orbites éloignées du noyau quittent plus facilement leur orbite. On les appelle électrons libres. Cette faculté des électrons de quitter un atome s'appelle **l'ionisation**.

Si un atome perd un ou plusieurs de ses électrons, le nombre de protons devient supérieur au nombre d'électrons. L'atome se conduit alors comme un corps chargé positivement, il porte le nom d'ion positif.

Dans la situation opposée, si un atome gagne un ou plusieurs électrons, le nombre de protons devient inférieur au nombre d'électrons. L'atome se conduit alors comme un corps chargé négativement, il porte le nom d'ion négatif.

2. L'électricité statique

Ce qu'il faut retenir concernant la réaction de deux corps placés l'un près de l'autre et dont les charges électriques peuvent être différentes.

Deux corps chargés d'électricité de même nom se repoussent.

Deux corps chargés d'électricité positive se repoussent
Deux corps chargés d'électricité négative se repoussent

Deux corps chargés d'électricité de noms contraires s'attirent.

La charge électrique peut être mesurée, on l'appelle la quantité d'électricité et l'unité est le coulomb C.

La charge d'un électron ou d'un proton est estimée à $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb.

3. La conduction

3.1. Un conducteur

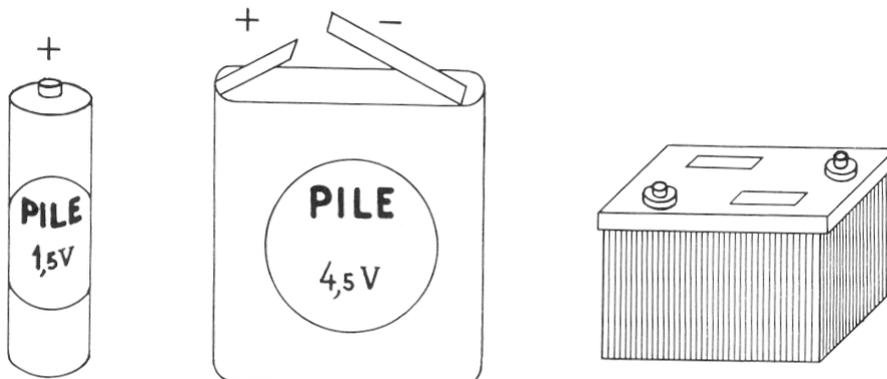
Les corps qui permettent le passage d'électrons libres d'un atome à un autre sont appelés **conducteurs** d'électricité.

3.2. Un isolant

Les corps qui ne permettent pas le passage d'électrons libres d'un atome à un autre sont appelés mauvais conducteurs de l'électricité ou **isolant**.

4. Les générateurs d'électricité

4.1. Description



Batterie d'accumulateurs d'automobile.

On nomme générateur d'électricité, un appareil dans lequel des électrons libres sont extraits de certains atomes et maintenus dans une partie de l'appareil.

Un **générateur** est un appareil qui produit en permanence

- un excès d'électrons à l'une des bornes (-)
- un manque d'électrons à l'autre borne (+)

Noter encore que les électrons n'ont la possibilité de se déplacer à l'intérieur du générateur que dans un seul sens, du positif vers le négatif.

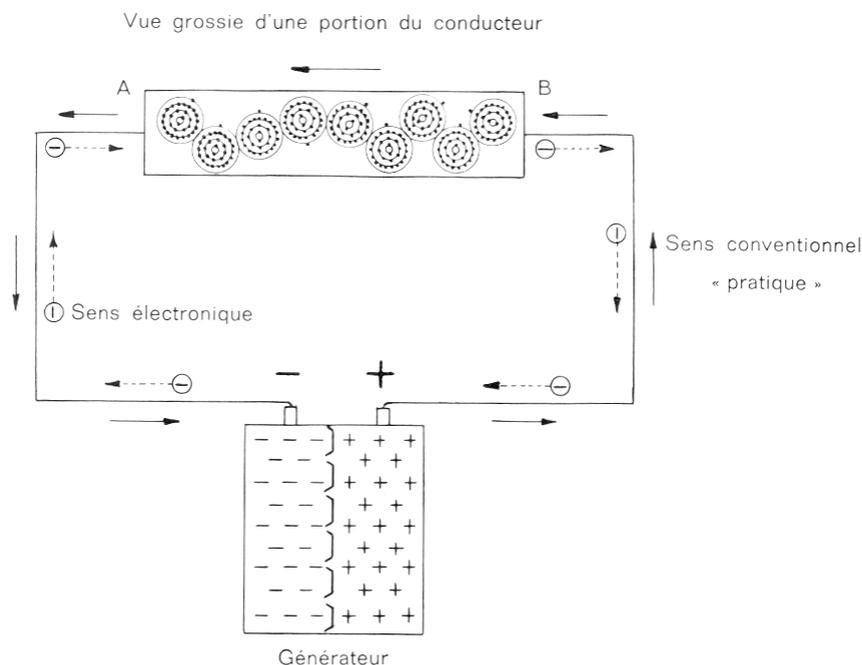
4.2. La différence de potentiel

C'est le terme utilisé pour définir l'excès ou le manque d'électrons à une borne d'un générateur.

La **différence de potentiel** (d.d.p.) ou **tension électrique** c'est la différence des charges positives (+) et négatives (-) qui existe entre les 2 bornes d'un générateur.

Cette valeur est exprimée en **VOLT** (symbole **V**) et peut être mesurée avec un **voltmètre**. Cet appareil se place directement sur les bornes entre lesquelles on désire mesurer la tension.

5. Le courant électrique



A la borne positive du générateur, nous avons une charge positive ce qui sous entend que nous avons un manque d'électrons. Cette borne va donc tenter de gagner des électrons afin de retrouver son équilibre électrique. Il va donc se mettre en place une attraction de proche en proche des électrons qui va se dérouler dans un mouvement ordonné des électrons dans la matière. Les électrons vont donc se déplacer de la borne négative du générateur vers la borne positive de ce dernier et ce à l'extérieur du générateur via un récepteur qui permettra de limiter le déplacement des électrons et ainsi éviter que tous les électrons ne rejoignent de façon instantanée la borne positive du générateur.

Le **courant électronique** est un déplacement ordonné d'électrons qui se fait, à l'extérieur du générateur, de la borne négative (-) à la borne positive (+) et à l'intérieur du (+) au (-).

Le sens conventionnel de déplacement du courant électrique est le sens inverse au cheminement des électrons.

Afin de caractériser la grandeur du courant électrique, nous utiliserons le terme intensité de courant électrique « I ». L'intensité d'un courant est déterminée par le nombre d'électrons se déplaçant par seconde dans le conducteur. On peut encore formuler en disant que l'ampère est l'intensité de courant qui transporte dans le circuit une quantité d'électricité de 1 coulomb par seconde.

Cette valeur est exprimée en **AMPERE** (symbole **A**) et peut être mesurée avec un **ampèremètre**. Cet appareil s'insère dans le circuit afin qu'il soit traversé par le déplacement d'électrons.

Il existe trois types d'ampèremètres.

Ampèremètre calorifique ou thermique : dans ce cas la déformation d'un fil chauffé par le passage des électrons permet de mettre en mouvement une aiguille placée devant un cadran gradué. Cet appareil n'est pas polarisé, l'inversion des bornes n'a aucune influence sur la déviation de l'aiguille. Les graduations de l'échelle ne sont pas équidistantes.

Ampèremètre électromagnétique : dans ce cas, il s'agit d'un noyau magnétique placé dans une bobine elle-même parcourue par les électrons qui dans son déplacement entraîne la mise en mouvement d'une aiguille placée devant un cadran gradué. Cet appareil n'est pas polarisé, l'inversion des bornes n'a aucune influence sur la déviation de l'aiguille. Les graduations de l'échelle ne sont pas équidistantes.

Ampèremètre à cadre mobile : dans ce cas, les électrons circulent dans une petite bobine mobile qui subit l'influence d'un aimant fixe. En fonction de l'intensité du courant, la bobine réalise un déplacement angulaire qui entraîne une aiguille placée devant un cadran gradué. L'inversion du sens de circulation des électrons au sein de la bobine modifie le sens de rotation de la bobine. L'appareil est polarisé. Les graduations de l'échelle sont équidistantes.

6. La quantité d'électricité

La **quantité d'électricité** est le nombre d'électrons transportés par un courant électrique « I » en un temps donné « t ».

La quantité d'électricité est exprimée en **coulomb (ampère * seconde)** si le temps est exprimé en **seconde** ou en **ampère – heure** si le temps est exprimé en **heure**.

$$Q=I . t$$

Avec Q : quantité d'électricité en coulomb
 I : l'intensité de courant électrique en ampère
 t : le temps en seconde

OU

 Q : quantité d'électricité en ampère heure
 I : l'intensité de courant électrique en ampère
 t : le temps en heure

7. La résistance électrique

La **résistance électrique** d'un conducteur est la difficulté qu'offre ce conducteur au passage du courant électrique.

L'unité de mesure de la résistance électrique est l'**ohm** (symbole Ω). L'appareil permettant de réaliser cette mesure s'appelle un **ohmmètre**. Pour la mesure, le récepteur doit être retiré du circuit et déconnecté de toute tension d'alimentation. L'appareil se branche aux bornes du récepteur.

Il existe des résistances de valeur fixe et d'autre pouvant être modifiée, il s'agit alors de rhéostat ou de potentiomètre.

Vous pouvez en trouver de deux sortes :

- Rhéostat à curseur qui permet un réglage progressif
- Rhéostat à plots ne permettant qu'un réglage par bonds.

7.1. La loi de POUILLET

La **résistivité** d'un conducteur c'est la résistance d'un fil de 1m de long et de 1 mm² de section à une température déterminée dépendant de la matière du conducteur.

$$R = \frac{\rho \times L}{S}$$

Avec R : résistance électrique en ohm
 ρ : la résistivité de la matière en ohm millimètre carré par mètre ($\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$)
L : longueur du conducteur en mètre
S : section du conducteur en millimètre carré (mm²)

Quelques valeurs de ρ en $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ à 20°C

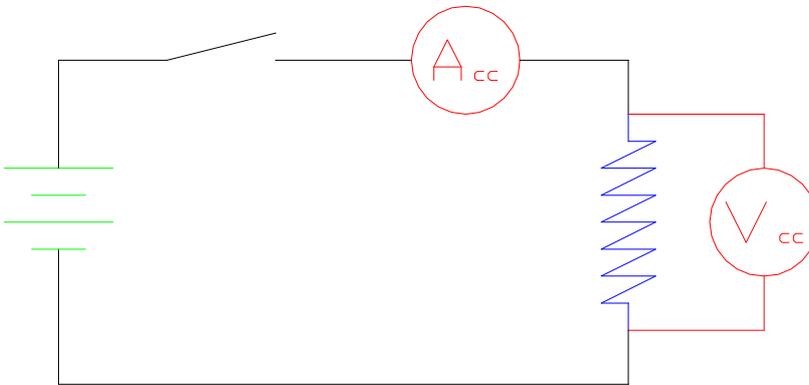
- ❑ Cuivre 0,017
- ❑ Argent 0,016
- ❑ Aluminium 0,028
- ❑ Fer 0,1
- ❑ Nickel-chrome 1
- ❑ Ferro-nickel 0,8
- ❑ Bronze 0,067
- ❑ Laiton 0,07

8. La loi d'ohm

La tension ou d.d.p. existante aux bornes d'un circuit est égale au produit de la résistance du circuit par l'intensité du courant circulant dans le circuit..

$$U = R \cdot I$$

Avec R : résistance électrique en ohm
U : la tension électrique en volt
I : l'intensité de courant électrique en ampère



Définitions

Le **VOLT** est la tension ou d.d.p. existant aux bornes du générateur qui fait circuler un courant de 1A dans une résistance de 1Ω.

L'**ampère** est l'intensité du courant qui circule dans un circuit de résistance de 1 Ω si le générateur produit une tension de 1V.

L'**ohm** est la résistance du circuit électrique qui laisse circuler un courant de 1A sous une tension de 1V au générateur.

9. La loi de Mathiessen

On peut tirer comme conclusion que la résistance d'un conducteur varie avec la température.

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \cdot T)$$

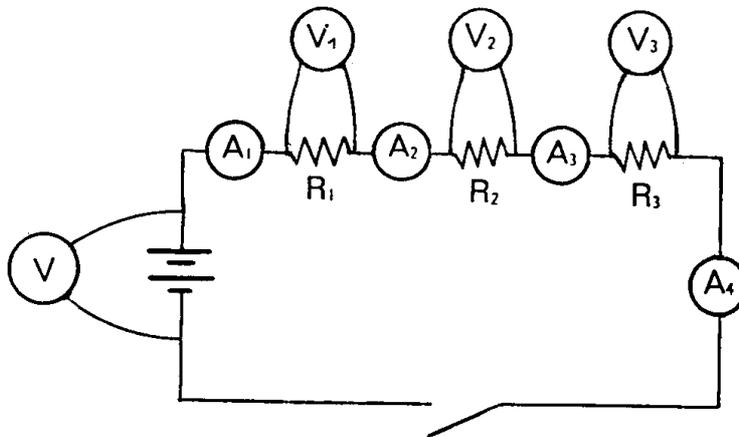
Avec R_t : résistance électrique à la température finale en ohm
 R_0 : résistance électrique à la température de 0°C en ohm
 α : le coefficient de température à 20°C (ex : cuivre 0,0038)
T : **variation** de température entre ..°C et la t° finale en °C

Quelques valeurs de α à 20°C

- Cuivre 0,0038
- Argent 0,00377
- Aluminium 0,0039
- Nickel 0,004
- Laiton 0,0015
- Etain 0,0042
- Zinc 0,0037

10. Couplage de résistance en série

Il s'agit de placer les récepteurs les uns à la suite des autres afin de former une chaîne dont la sortie d'un récepteur est branché à l'entrée d'un second et la sortie de ce dernier à l'entrée d'un troisième et ainsi de suite.



Dans un couplage en série :

Le courant est le même partout

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

Les tensions partielles s'additionnent et équivalent à la tension du générateur

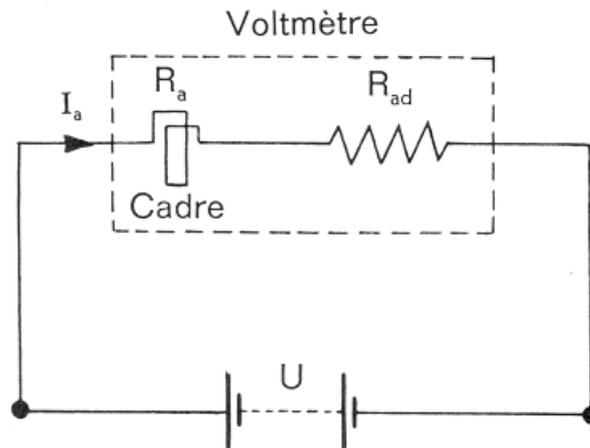
$$U_t = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Les résistances en série s'additionnent et valent la résistance équivalente

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

Si les résistances partielles sont égales alors $R_{eq} = n \cdot R$ avec « n » le nombre de résistance et « R » la valeur d'une résistance.

10.1. Résistances additionnelles des voltmètres



Un voltmètre est avant tout un appareil de mesure constitué d'un ampèremètre associé à une résistance additionnelle.

Nous savons que l'ampèremètre va mesurer la quantité d'électron qui va circuler dans le circuit, et nous savons encore que de part sa constitution un tel appareil de mesure a ces limites. Nous allons donc associer à l'appareil une résistance additionnelle afin de limiter le potentiel aux bornes de l'ampèremètre. Vous pourriez me dire que dès lors nous allons lire sur l'appareil un courant et non pas une tension. En réalité il n'en est rien, il suffit que le cadran possède une échelle des tensions et illustre le produit de $I \cdot (R_a + R_{ad})$.

En pratique, plus je dois mesurer une tension élevée et plus je risque pour une résistance additionnelle donnée de dépasser le courant que peut supporter l'ampèremètre. Il me faut donc limiter ce courant. Pour cela, je modifie la valeur de la résistance additionnelle soit en changeant cette dernière soit en cumulant en série d'autres résistances calibrées. Il est clair que l'ajout de nouvelle résistance doit automatiquement associer un facteur de correction sur l'échelle du voltmètre.

11. La chute de tension en ligne

Lorsque l'on place entre un générateur et une série de récepteurs une ligne électrique, je peux dire que cette dernière sera traversée par le courant circulant entre le générateur et les récepteurs. Il se produit dès lors entre le générateur et les récepteurs une baisse de tension que l'on nomme chute de tension en ligne.

$$U_I = U_G - U_R$$

Avec U_I : la chute de tension en ligne en volt
 U_G : la tension délivrée par le générateur en volt
 U_R : la tension aux bornes du/des récepteur(s) en volt

Je peux encore traduire la chute de tension en ligne différemment en partant sur le principe que la ligne en tant que telle est également un récepteur et qu'elle possède donc aussi une résistance.

$$R_l = \frac{\rho \times L}{S}$$

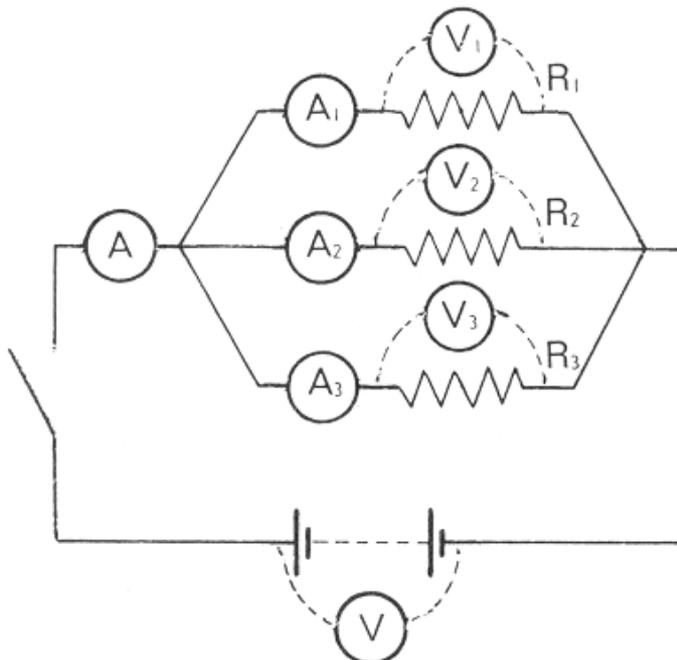
Avec R_l : la résistance de la ligne en ohm
 ρ : la résistivité de la matière en $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$
 L : longueur du fils de la ligne « aller + retour » en mètre
 S : section du conducteur en mm^2

$$U_l = \frac{\rho \times L}{S} \times I = \rho \times L \times \frac{I}{S} = \rho \times L \times J$$

Avec U_l : la chute de tension en ligne en volt
 ρ : la résistivité de la matière en $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$
 L : longueur du fils de la ligne « aller + retour » en mètre
 S : section du conducteur en mm^2
 I : l'intensité de courant traversant la ligne en ampère
 J : la densité de courant électrique ($\frac{I}{S}$) en A / mm^2

12. Couplage de résistance en parallèle

Il s'agit de placer les récepteurs les uns à côté des autres afin de former une échelle dont la sortie d'un récepteur est branchée à la sortie d'un second et la sortie d'un troisième et ainsi de suite et dont l'entrée d'un récepteur est branchée à l'entrée d'un second et à l'entrée d'un troisième et ainsi de suite.



Dans un couplage en parallèle :

Les courants partiels s'additionnent et équivalent au courant total débité par le générateur

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Les tensions sont les mêmes partout

$$U_t = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$

La résistance équivalente vaut

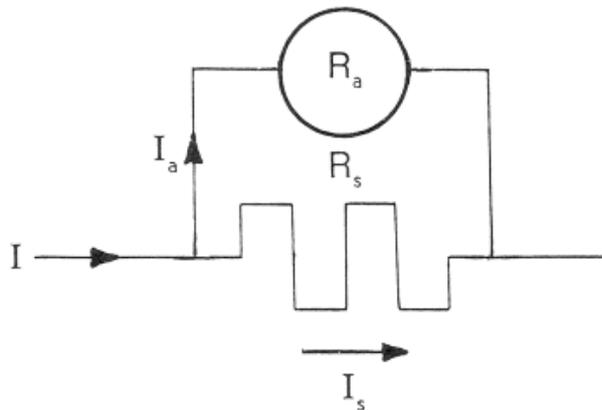
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

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

Si les résistances partielles sont égales alors $R_{eq} = \frac{R}{n}$ avec « n » le nombre de résistance et « R » la valeur d'une résistance.

Si le couplage ne possède que deux résistances alors $R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

12.1. Résistances shunt des ampèremètres



Nous savons que l'ampèremètre va mesurer la quantité d'électron qui va circuler dans le circuit, et nous savons encore que de part sa constitution un tel appareil de mesure à ces limites. Nous allons donc associer à l'appareil une résistance shunt afin de limiter le courant qui va traverser l'ampèremètre. En pratique, plus je dois mesurer un courant élevé et plus je risque de dépasser le courant que peut supporter l'ampèremètre. Il me faut donc limiter ce courant. Pour cela, je place en parallèle avec mon appareil une résistance shunt qui va détourner une partie du courant. Il est clair que l'ajout de nouvelle résistance doit automatiquement associer un facteur de correction sur l'échelle de l'ampèremètre.

13. Le travail

Un joule est le travail produit par une force de 1N dont le point d'application se déplace de 1m dans la direction de la force.

$$W = F \cdot l$$

Avec W : le travail en joule
 F : la force en Newton
 l : le chemin parcouru en mètre

14. La puissance

La puissance est le travail effectué en une seconde.

$$P = \frac{W}{t}$$

Avec W : le travail en joule
 P : la puissance en watt
 t : le temps en seconde

15. L'énergie

Un corps ne sera capable de produire un travail que si il possède de l'énergie.

L'énergie peut se trouver sous plusieurs formes :

- Energie mécanique
 - Energie potentielle (ex : l'eau retenue par un barrage)
 - Energie cinétique (ex : l'eau d'une chute ou d'un barrage en tombant)
- Energie chimique
- Energie thermique
- Energie lumineuse
- Energie atomique
- Energie électrique

Il faut encore retenir que lors d'une transformation d'énergie, la quantité totale d'énergie reste la même. Il y a conservation de l'énergie.

16. Le rendement industriel

Le rendement industriel d'une machine est le rapport qui existe entre l'énergie utile et l'énergie absorbée. Le rapport est toujours inférieur à 1.

$$\eta = \frac{W_{ut}}{W_{ab}}$$

Avec η : le rendement sans unité et < 1
 W_{ut} : l'énergie utile en joule
 W_{ab} : l'énergie absorbée en joule

17. L'énergie électrique

Un wattheure est l'énergie électrique caractérisant la consommation de 1 watt en 1 heure

$$W = P \cdot t$$

Avec W : l'énergie électrique en wattheure
 P : la puissance en watt
 t : le temps en heure

18. La puissance électrique

$$P = U \cdot I$$

Avec U : la tension en volt
 P : la puissance en watt
 I : l'intensité de courant en ampère
 R : la résistance électrique en ohm

$$P = R \cdot I^2$$

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

19. Le rendement électrique

Le rendement électrique d'une machine est le rapport qui existe entre la puissance utile et la puissance absorbée. Le rapport est toujours inférieur à 1.

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{ab}}$$

Avec η : le rendement sans unité et <1
 P_{ut} : la puissance utile en watt
 P_{ab} : la puissance absorbée en watt

20. L'effet joule

Le dégagement de chaleur produit par le passage du courant dans la résistance d'un conducteur porte le nom d' « effet joule ». Il s'agit de l'énergie électrique transformée en énergie calorifique dans un conducteur.

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

Avec W : l'énergie électrique en joule
 R : la résistance électrique en ohm
 I : l'intensité de courant en ampère
 t : le temps en seconde

21. La Force Electro Motrice

Une pile est à vide lorsque son circuit est ouvert : elle ne fournit pas de courant, sa FEM est E .

Une pile est en charge lorsque son circuit est fermé : elle fournit du courant. La tension en charge diminue lorsque le courant débité augmente, il apparaît une chute de tension interne $u=r.I$

$$E = U + u$$

Avec U : la tension en charge en volt
 E : la Force Electro Motrice développée par la pile en volt
 u : la chute de tension interne

Le courant débité par le générateur sera $I = \frac{E}{R+r} = \frac{E}{R_t}$

Avec R : la résistance extérieure du générateur en ohm
r : la résistance intérieure du générateur en ohm
 R_t : la résistance totale du circuit en ohm
I : le courant débité par le générateur
E : la force électro motrice développée par le générateur

22. La Force Contre Electro Motrice

Lors de la charge d'un accumulateur, il reste au borne de ce dernier un potentiel qui est en opposition avec la tension d'alimentation, cette tension est appelée Force Contre Electro Motrice FCEM.

$$I = \frac{U - E'}{R + r'}$$

Avec U : la tension d'alimentation en volt
E' : la Force Contre Electro Motrice au droit de l'accumulateur en volt
R : la résistance extérieure en ohm
r' : la résistance interne en ohm
I : Le courant débité par le générateur

23. Le couplage de générateur en série

Pour des générateurs différents

$$E_{eq} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n}$$

$$r_{eq} = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

Pour des générateurs identiques

$$E_{eq} = n \cdot E$$

$$I = \frac{n \times E}{R + (n \times r)}$$

$$r_{eq} = n \cdot r$$

Ce couplage est indiqué lorsque R est supérieur à r.

24. Le couplage de générateur en parallèle

Pour des générateurs différents ce couplage n'est pas réalisable car les générateurs de plus grande tension délivreraient dans ceux de plus petite tension.

Il faut donc des générateurs identiques

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{\text{eq}} &= \mathbf{E} \\ I &= \frac{E}{R + \frac{r}{n}} \\ r_{\text{eq}} &= \frac{r}{n} \end{aligned}$$

Ce couplage est indiqué lorsque R est inférieur à r.

25. La généralisation de la loi d'ohm

$$I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum R + \sum r + \sum r'}$$

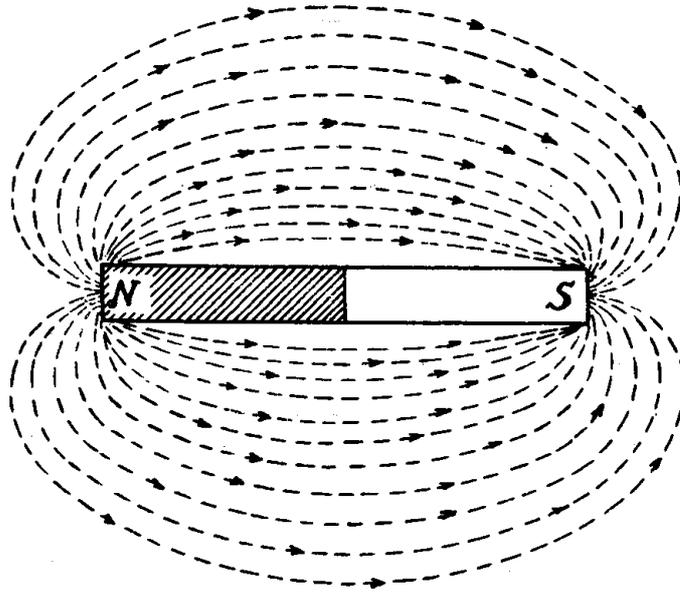
Avec

- E : la tension ou la FEM délivrée par le générateur en volt
- E' : la FCEM de l'accumulateur en volt
- R : la résistance extérieure en ohm
- r : la résistance interne du générateur en ohm
- r' : la résistance interne de l'accumulateur en ohm

26. La loi des pôles

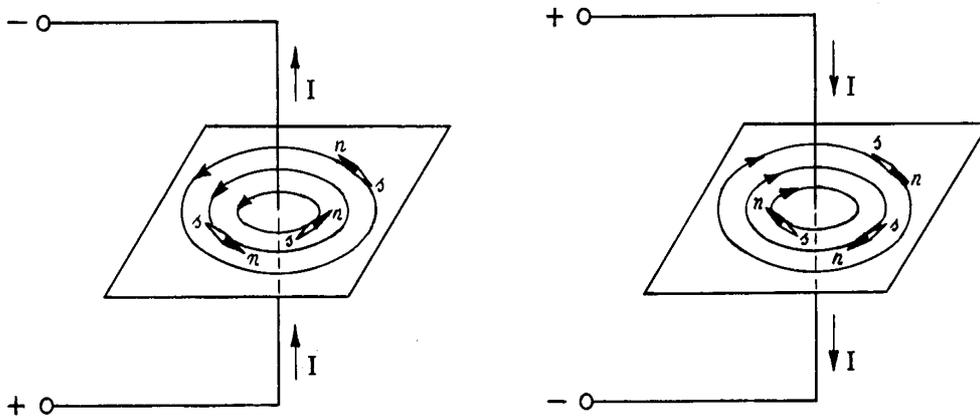
Les pôles de mêmes noms se repoussent.
Les pôles de noms contraires s'attirent.

27. Le champ magnétique d'un aimant permanent



Les lignes d'induction ou le champ magnétique sortent du nord pour se refermer par l'extérieur sur le sud. A l'intérieur de ce dernier, le champ circule du sud vers le nord. Il en est toujours ainsi.

28. Le champ magnétique d'un conducteur rectiligne



Le courant électrique crée, autour du conducteur, un champ magnétique. Le champ magnétique forme des cylindres dont les axes peuvent être caractérisés par le conducteur. Dans un plan perpendiculaire au conducteur, les lignes d'induction sont des circonférences concentriques. Le sens du champ magnétique dépend du sens de circulation du courant.

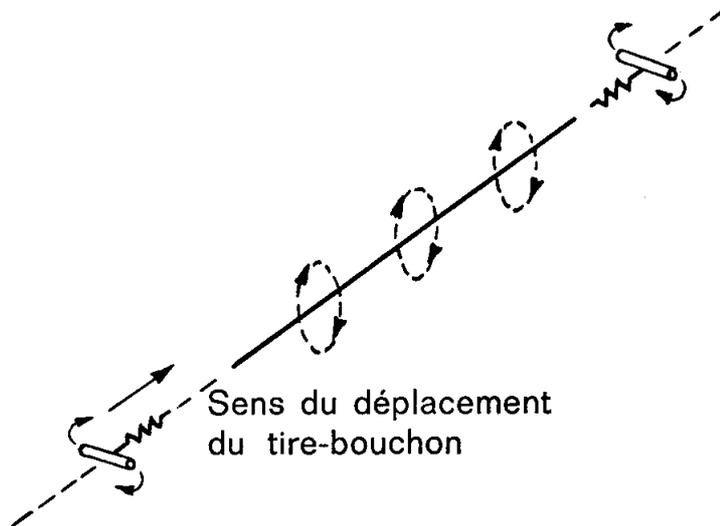
Connaissant le sens de circulation du courant dans le conducteur, on peut déterminer le sens du champ.

28.1. La règle du tire bouchon de MAXWELL.

Placer le tire bouchon dans l'axe du conducteur

Le faire tourner pour qu'il se déplace dans le sens du courant conventionnel.

Le sens de rotation de la poignée indique le sens des lignes d'induction.



29. Convention de notation du sens de circulation du courant

Flèche qui s'éloigne de l'observateur



Empennage de la flèche



Symbole

Courant qui s'éloigne de l'observateur



Le tire-bouchon doit s'éloigner de l'observateur

Flèche qui s'approche de l'observateur



Pointe de la flèche



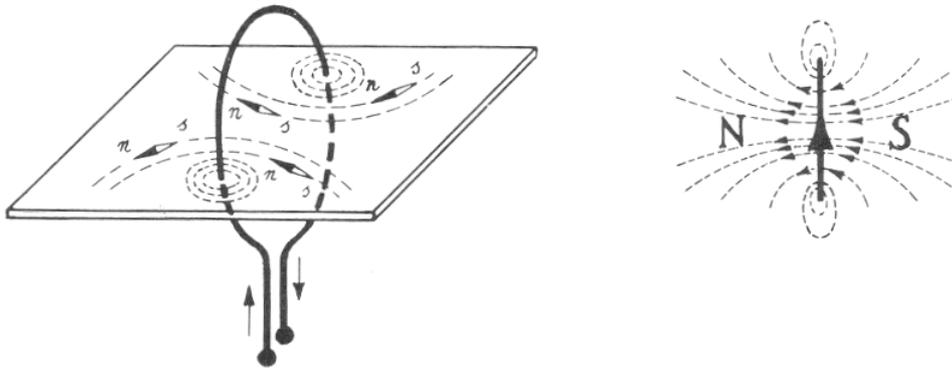
Symbole

Courant qui s'approche de l'observateur



Le tire-bouchon doit s'approcher de l'observateur

30. Le champ magnétique d'un conducteur circulaire (une spire)

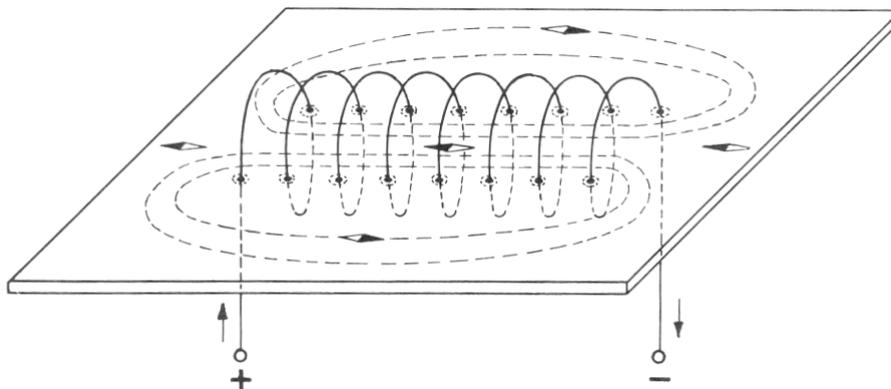


La spire parcourue par un courant se comporte comme un aimant extra-plat, elle possède une face Nord et une face Sud.
Les lignes d'induction pénètrent par une face « la sud » de la spire et ressortent par l'autre « le nord ».

$$H = \frac{N \times I}{l}$$

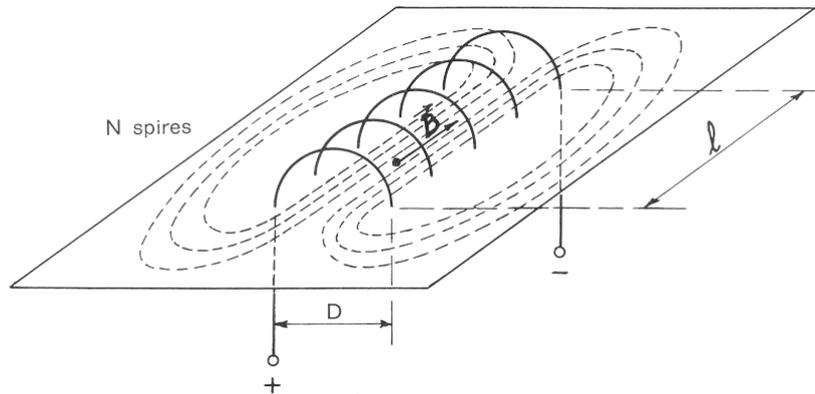
Avec H : le champ magnétique en ampère tour par mètre (AT/m)
N : le nombre de spire de la bobine
I : le courant circulant dans la bobine en ampère
L : la longueur de la bobine en mètre

31. Le champ magnétique d'un solénoïde



Un solénoïde parcourue par un courant s'assimile à un aimant droit : il possède un pôle nord et un pôle sud. Nous avons en quelque sorte la mise en chaîne de spires. En appliquant la loi des pôles, je peux dire que le nord de la première spire va attirer le sud de la seconde, le nord de la seconde le sud de la troisième et ainsi de suite pour retrouver la polarisation aux deux extrémités de la bobine.

32. L'induction magnétique



L'induction magnétique caractérise en tout point l'état magnétique de ce dernier. Nous pouvons donc dire que nous aurons au sein d'une bobine autant de vecteur induction que nous aurons de point formant une surface placée perpendiculairement au champ magnétique.

L'**induction** est représentée par la lettre **B** et s'exprime en **tesla** « **T** ».

Tout vecteur d'induction magnétique possède donc :

- ❑ une origine (le point considéré)
- ❑ une direction (aiguille aimantée placée au point considéré)
- ❑ un sens (du pôle sud au pôle nord de l'aiguille aimantée)
- ❑ une intensité ou une amplitude

SANS NOYAU MAGNETIQUE

$$B_o = \frac{1,25}{10^6} \times \frac{N \times I}{l} = \mu_o \times H$$

AVEC NOYAU MAGNETIQUE

$$B = \frac{1,25}{10^6} \times \frac{N \times I}{l} \times \mu_r = \mu_o \times \mu_r \times H$$

Avec

B_o : intensité de l'induction magnétique en teslas. ($B > B_o$)

N.B. : l'indice « o » car il n'y a pas de noyau dans la bobine

$\frac{1,25}{10^6} = \frac{4 \times \pi}{10^7} = \mu_o$: constante magnétique pour le vide mais admise dans

l'air. Elle est aussi nommée la perméabilité magnétique du vide.

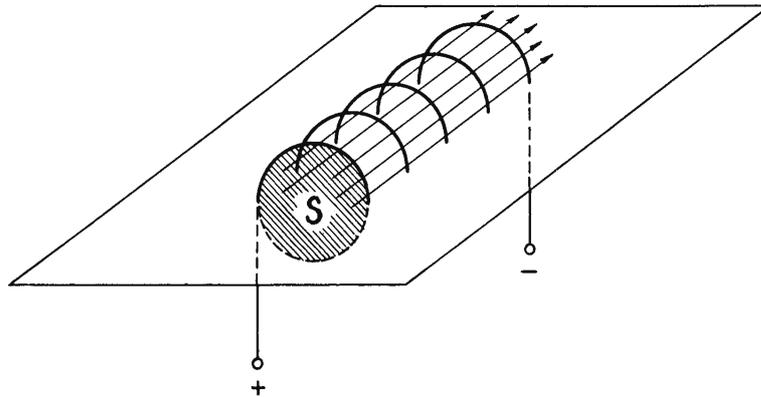
N : nombre total de spire de la bobine

I : le courant circulant dans la bobine en ampère

L : la longueur de la bobine en mètre

μ_r : la perméabilité relative du métal (B/B_o) en wéber par ampères tours (Wb/AT) ou henrys par mètre (H/m)

33. Le flux d'induction magnétique



Le flux d'induction magnétique à travers une surface S perpendiculaire au flux est constitué par l'ensemble des lignes d'induction traversant la surface considérée. Je peux donc dire que le flux magnétique représente la somme de tous les vecteurs d'induction magnétique ou leur résultante.

Le **flux magnétique** est représenté par la lettre Φ et s'exprime en **wéber** « Wb ».

SANS NOYAU MAGNETIQUE

$$\Phi_o = \frac{1,25}{10^6} \times \frac{N \times I}{l} \times S = \mu_o \times H \times S = B_o \times S$$

AVEC NOYAU MAGNETIQUE

$$\Phi = \frac{1,25}{10^6} \times \frac{N \times I}{l} \times \mu_r \times S = \mu_o \times \mu_r \times H \times S = B \times S$$

Avec

Φ_o : le flux d'induction magnétique en wéber. ($\Phi > \Phi_o$)

N.B. : l'indice « o » car il n'y a pas de noyau dans la bobine

$\frac{1,25}{10^6} = \frac{4 \times \pi}{10^7} = \mu_o$: constante magnétique pour le vide mais admise dans

l'air. Elle est aussi nommée la perméabilité magnétique du vide en wéber par ampères tours (Wb/AT) ou henrys par mètre (H/m)

N : nombre total de spire de la bobine

I : le courant circulant dans la bobine en ampère

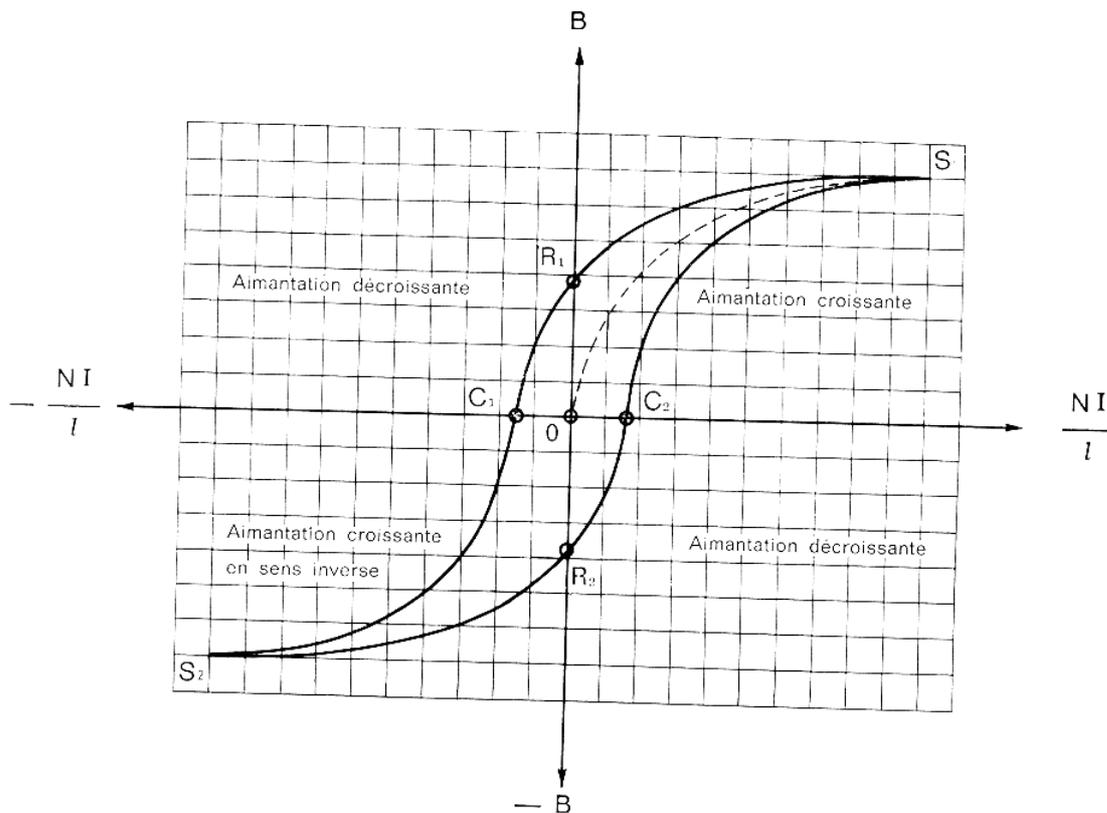
L : la longueur de la bobine en mètre

μ_r : la perméabilité relative du métal (B/B_o) en wéber par ampères tours (Wb/AT) ou henrys par mètre (H/m)

B : l'induction magnétique en tesla

S : section de la bobine en mm²

34. Le phénomène d'Hystérésis



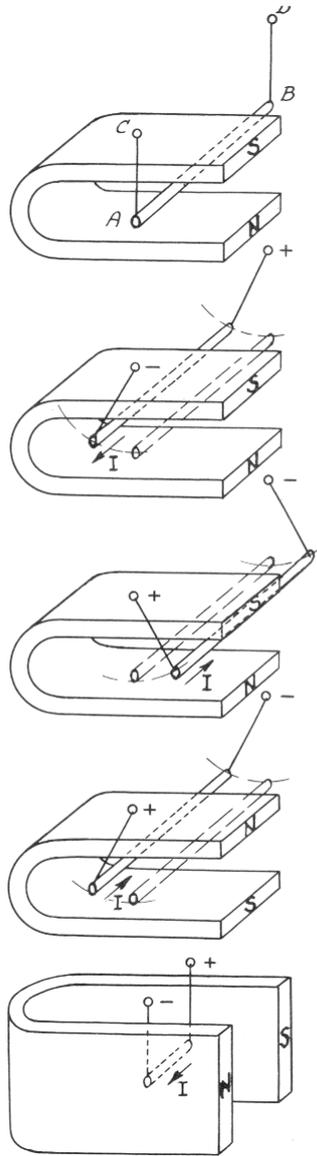
L'hystérésis, c'est le retard apporté à l'aimantation et à la désaimantation d'un métal soumis à des variations de flux magnétique.
 Ce sont des pertes exprimées en watts qui se transforment en chaleur dans le métal. On les retrouve dans les pertes fers ou les pertes magnétiques.
 Les cycles d'hystérésis ne sont pas tous identiques, il varie en fonction des matériaux mais l'allure reste identique.
 Il existe une aimantation rémanente valeur comprise entre 0 et R_1 ou entre 0 et R_2 .
 Le flux rémanent représente pour un champ nul l'induction magnétique rémanente.
 Il existe un champ coercitif entre 0 et C_1 ou entre 0 et C_2 . Ce champ est la valeur que l'on devrait appliquer lors d'une démagnétisation pour amener l'induction à zéro.

Les pertes par hystérésis se produisent si :

- ❑ La pièce est fixe mais le flux variable c'est-à-dire produit à partir d'un courant alternatif (transformateur)
- ❑ La pièce est mobile dans un flux constant (dynamo ou machine courant continu)

En pratique, tout sera mis en œuvre pour sélectionner un matériaux qui limitera au maximum ce phénomène afin d'une part de limiter les pertes et d'obtenir ainsi le rendement le plus élevé et d'autre part pour limiter l'échauffement du circuit magnétique et autre surface en contact comme les isolants des conducteurs.

35. Action d'un champ sur un conducteur rectiligne



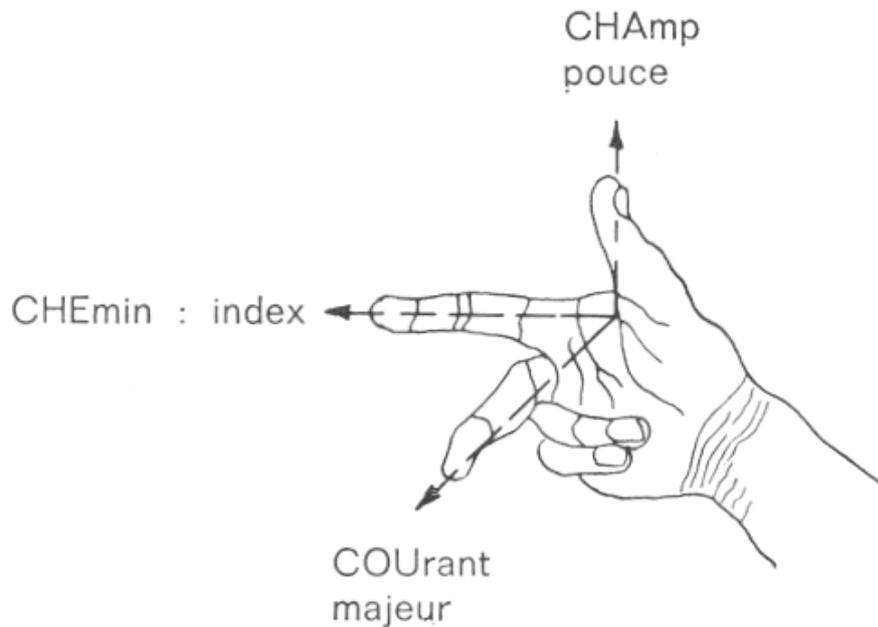
Lorsqu'un conducteur est placé perpendiculairement à un champ magnétique et qu'il est traversé par un courant, il existe une force appelée **force électromagnétique** qui déplace le courant en lui faisant faucher les lignes d'induction.

Il faut toujours que le conducteur soit perpendiculaire au champ magnétique sans quoi il n'y a aucun déplacement possible. (Figure 5)

La modification du sens du courant dans le conducteur modifie le sens de déplacement du conducteur, il en est de même si on modifie le sens du champ magnétique. (Figure 1 à 4)

36. La règle des trois doigts de la main droite

La règle des trois doigts de la main droite permet de déterminer le sens de la force électromagnétique et donc le sens de déplacement du conducteur placé perpendiculairement à un champ magnétique et s'il est parcouru par un courant.



- ❑ Le pouce est placé dans le sens du champ
- ❑ Le majeur est placé dans le sens du courant
- ❑ L'index indique le sens de déplacement du conducteur

Les trois doigts doivent se placer comme les trois arêtes d'un cube, il y a donc un angle de 90° entre chaque doigt.

$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{I}$$

Avec :

- F : la force électromagnétique en newton
- B : l'induction magnétique en tesla
- L : la longueur du conducteur placé dans le champ magnétique en mètre
- I : l'intensité du courant électrique traversant le conducteur en ampère

37. Comportement de conducteurs juxtaposés (force électrodynamique)

Entre deux conducteurs parcourus par des courants s'exerce une force dite **force électrodynamique**.

Si le sens des courants est le même dans les deux conducteurs, ces derniers s'attirent et par contre si le sens des courants est différent dans chaque conducteur, ces derniers se repoussent.

38. La force magnétomotrice

La force magnétomotrice caractérise le produit du courant traversant une bobine par le nombre de spire constituant cette dernière.

$$F_m = N \cdot I$$

Avec F_m : la force magnétomotrice en Ampère tour (AT)
 N : le nombre de spire formant la bobine
 I : l'intensité de courant électrique traversant la bobine en ampère

39. La reluctance magnétique

La reluctance représente l'opposition que présentent les diverses parties d'un circuit magnétique au passage du flux magnétique.

$$R_m = \frac{L'}{\mu \times S} \rightarrow \text{avec} \rightarrow \mu = \mu_0 \times \mu_r$$

Avec R_m : la reluctance magnétique en henrys⁻¹
 L' : la longueur du circuit magnétique en mètre
 μ : la perméabilité absolue en wéber par ampères tours (Wb/AT) ou henrys par mètre (H/m)
 S : la section du circuit magnétique
 μ_0 : la perméabilité du vide en henrys par mètre (H/m) ($4\pi / 10^{-7}$)
 μ_r : la perméabilité relative du métal en henrys par mètre (H/m)

40. La F.E.M. induite

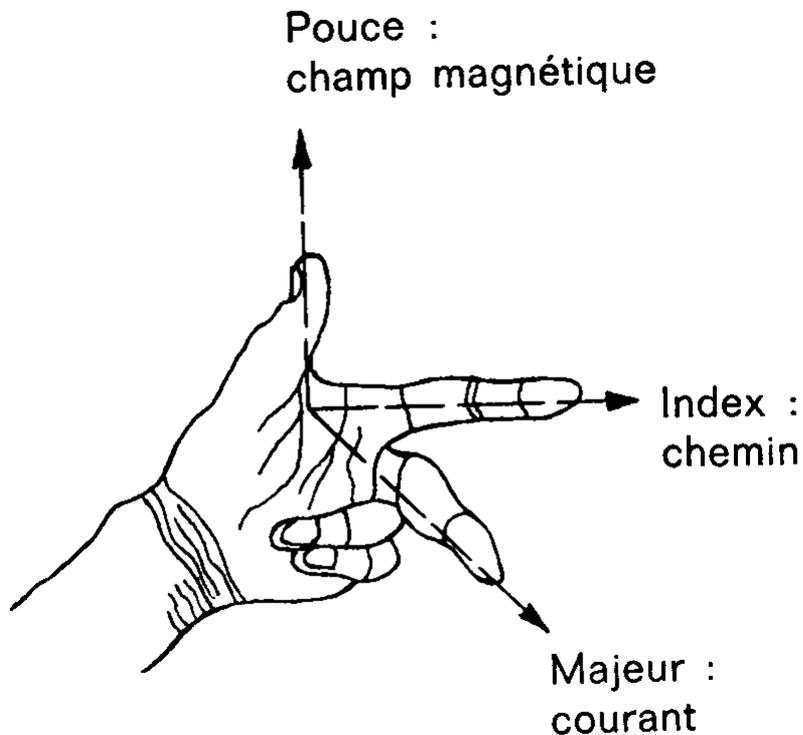
Lorsqu'une bobine fixe est soumise à des variations de flux, ou lorsqu'une bobine se déplace dans un champ magnétique fixe, on constate aux bornes de la dite bobine l'apparition d'une différence de potentiel que l'on nomme « **force électro motrice induite** ».

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \times N$$

Avec E : la Force Electro Motrice (F.E.M.) en volt
 $\Delta \Phi$: la variation de flux en wéber
 Δt : la variation de temps en secondes
 N : le nombre de spires de la bobine

41. La règle des trois doigts de la main gauche

La règle des trois doigts de la main gauche permet de déterminer le sens de la FEM et donc le sens de déplacement du courant électrique au sein des conducteurs.



- ❑ Le pouce est placé dans le sens du champ
- ❑ Le majeur indique le sens de circulation du courant à l'intérieur du conducteur
- ❑ L'index est placé dans le sens de déplacement du conducteur

Les trois doigts doivent se placer comme les trois arrêtes d'un cube, il y a donc un angle de 90° entre chaque doigts.

$$E = B \cdot L \cdot v$$

Avec

E : la force électro motrice en volt

B : l'induction magnétique en tesla

L : la longueur du conducteur en mètre

v : la vitesse de déplacement du conducteur en mètre par seconde (m/s)

42. La loi de LENZ (sens des courants induits)

Le sens du courant induit est tel que le flux qu'il crée s'oppose à la variation (augmentation ou diminution) du flux inducteur qui le provoque.

Notion :

- ❑ **Inducteur** : aimant ou électro-aimant produisant le flux d'induction magnétique.
- ❑ **Induit** : bobine subissant les variations de flux

43. La self induction

La self induction est la propriété que possède une bobine (avec ou sans noyau) de s'opposer aux variations du courant qui la parcourt.
La bobine est à la fois inducteur et induit.

$$E = L \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Avec

E : la force électro motrice en volt

\mathcal{L} : L'inductance propre de la bobine en henrys

ΔI : la variation de l'intensité du courant en ampère

Δt : temps de la variation du courant en seconde

44. L'inductance d'une bobine

L'inductance d'une bobine ou coefficient de self induction est fonction de la constitution de la bobine.

$$L = N \times \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$$

Avec

\mathcal{L} : L'inductance de la bobine en henrys

N : le nombre de spire formant la bobine

$\Delta \Phi$: la variation de flux en wéber

ΔI : la variation de l'intensité de courant en ampère

45. Les courants de FOUCAULT

On nomme courants de FOUCAULT, des courants induits qui prennent naissance dans des masses métalliques (fer, cuivre, acier, aluminium, ...) soumises à des variations de flux.

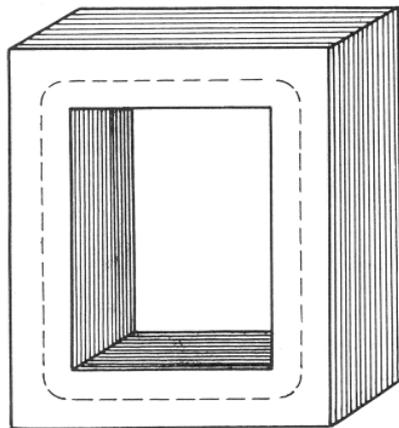
Ils se développent perpendiculairement au flux d'induction magnétique pouvant ainsi créer un freinage des pièces en mouvement et / ou transformation de l'énergie en chaleur par effet joule.

Les courants de FOUCAULT peuvent apparaître dans deux cas :

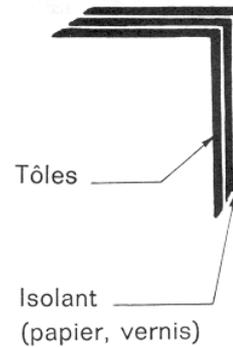
- Flux magnétique variable et circuit magnétique fixe (transformateur)
- Flux magnétique fixe et circuit magnétique en mouvement (génératrice CC, moteur CC)

Pour réduire les courants de FOUCAULT, la masse d'acier des circuits magnétiques des machines est constituée de tôles feuilletées dans le sens du flux, de faible épaisseur et isolées entre elles par du papier fin, du vernis, ...

Circuit magnétique feuillé afin de réduire fortement les courants de Foucault



Vue agrandie de quelques coins de tôles.



46. Les tables de conversion d'unité

Intensité de courant Electrique	Milliampère (mA)	Ampère (A)	Kiloampère (KA)
mA	1	0,001	0,000001 ou 1^{-6}
A	1000	1	0,001
KA	1000000 ou 1^6	1000	1

Tension électrique	Microvolt (μ V)	Millivolt (mV)	Volt (V)	Kilovolt (KV)
μ V	1	0,001	0,000001 ou 1^{-6}	0,000000001 ou 1^{-9}
mV	1000	1	0,001	0,000001 ou 1^{-6}
V	1000000 ou 1^6	1000	1	0,001
KV	1000000000 ou 1^9	1000000 ou 1^6	1000	1

Quantité d'électricité	Coulomb (C)	Ampèreheure (AH)
Coulomb	1	0,000277
AH	3600	1

Résistance électrique	Milliohm (m Ω)	Ohm (Ω)	Kiloohm (K Ω)	Mégohm (M Ω)
m Ω	1	0,001	0,000001 ou 1^{-6}	0,000000001 ou 1^{-9}
Ω	1000	1	0,001	0,000001 ou 1^{-6}
K Ω	1000000 ou 1^6	1000	1	0,001
M Ω	1000000000 ou 1^9	1000000 ou 1^6	1000	1

Force	Kilogramme force (Kgf)	Newton (N)
Kgf	1	9,81
N	0,102	1

Travail	Kilogramme mètre (Kgm)	Newton mètre ou joule (N ou J)
Kgm	1	9,81
N ou J	0,102	1

Puissance	Watt (w)	Kilowatt (Kw)	Chevaux (cv)	Kilogramme mètre/seconde (Kgm / s)
w	1	0,001	0,00136	0,102
Kw	1000	1	1,36	102
cv	736	0,736	1	75
Kgm/s	9,81	0,00981	0,0133	1

Énergie électrique	Joule (J)	Wattheure (wH)
J	1	0,00028
WH	3600	1

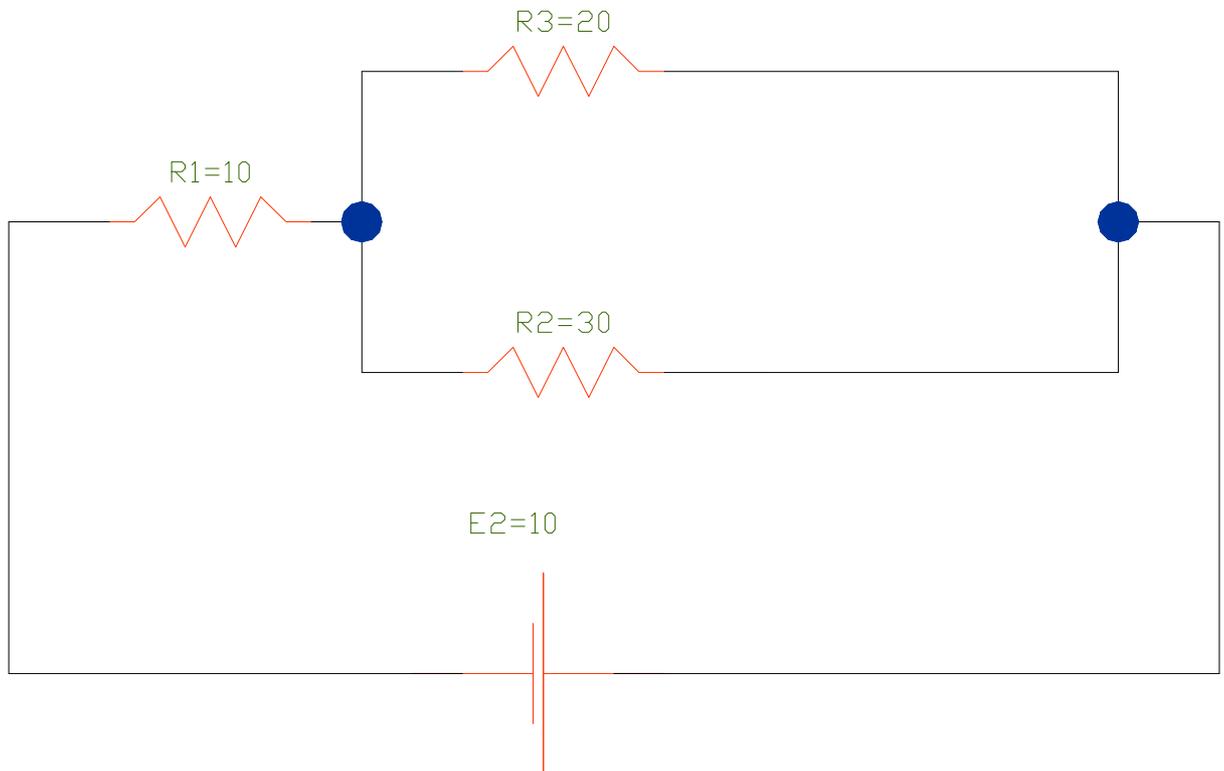
Effet joule	Joule (J)	Calorie (cal)	Kilowattheure (KWH)
J	1	0,24	0,000000278 ou $2,78^{-7}$
Cal	4,18	1	0,000001163 ou $1,163^{-6}$
KWH	3594800	860000	1

Induction magnétique	Tesla (t)	Gauss
Tesla	1	10000
Gauss	0,0001	1

Flux d'induction Magnétique	Wéber (wb)	Maxwells
Wéber	1	10^8
Maxwells	1^{-8}	1

47. Les applications

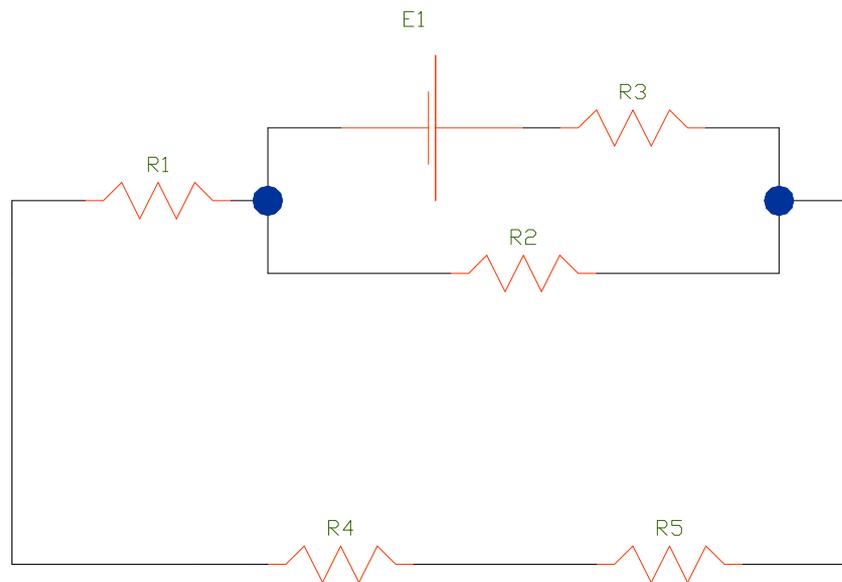
47.1. Exercice n°1



Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.2. Exercice n°2



R1 = cuivre, L=100 m , S= 0.1 mm²

R2 = R_{20°C} = 10 ohms, RT à 10°C alpha = 0.00345

R3 = 3 ohms

R4 = 4 ohms

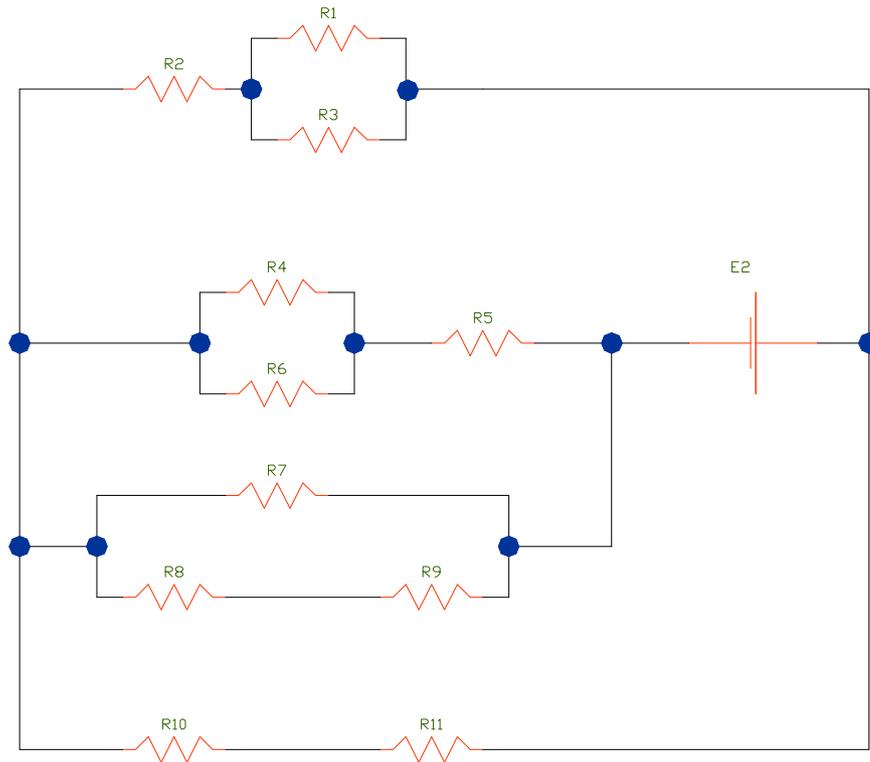
R5 = 5 ohms

E1 = 12 V

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.3. Exercice n°3

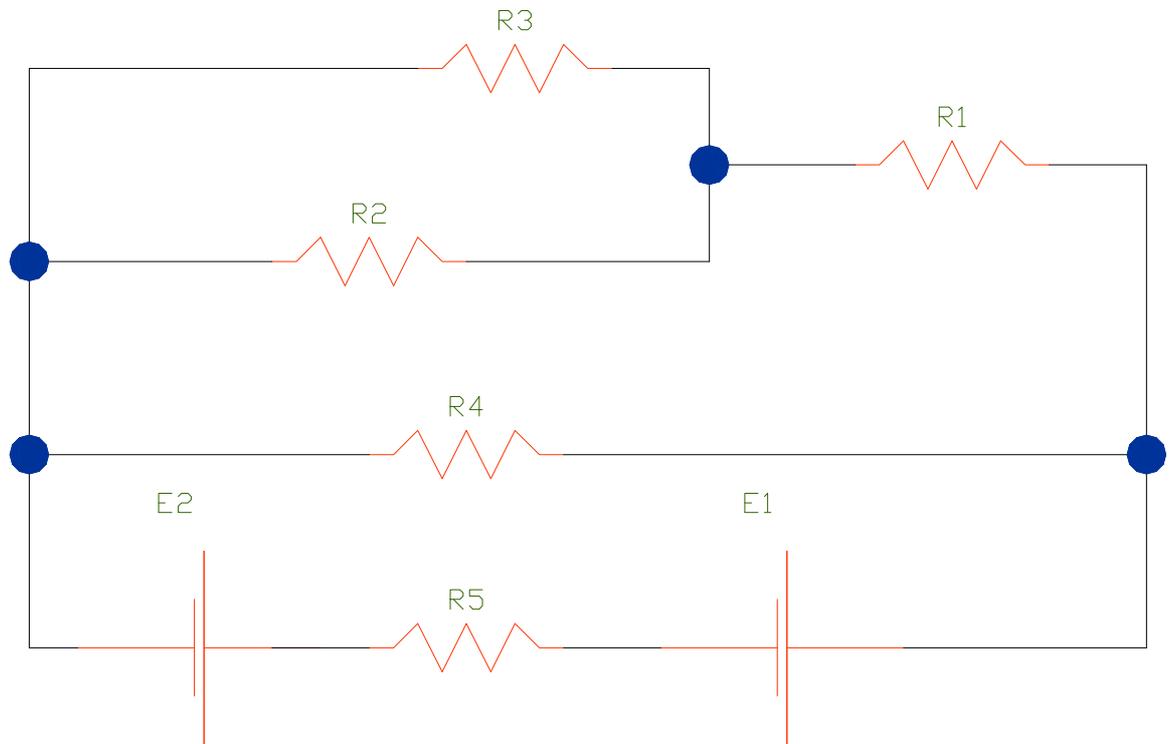


- R1 : cuivre, 100m , 1mm²
- R2 : 25ohms (à 20°C) si T=50°C et alpha de 0.0038
- R3 = 12 ohms
- R4 : argent, 50m, 2.5mm²
- R5 : 50 ohms (à 20°C) si T= -15°C et alpha de 0.00377
- R6 = 6ohms
- R7 : Aluminium, 75m , 1.5mm²
- R8 : 10 ohms (à 25°C) si T= -20°C et alpha de 0.0039
- R9 = 16ohms
- R10 : cuivre, 500m , 0.025m²
- R11 : 5 ohms (à 20°C) si T= 25°C et alpha de 0.0015
- E2 = 50V

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.4. Exercice n°4

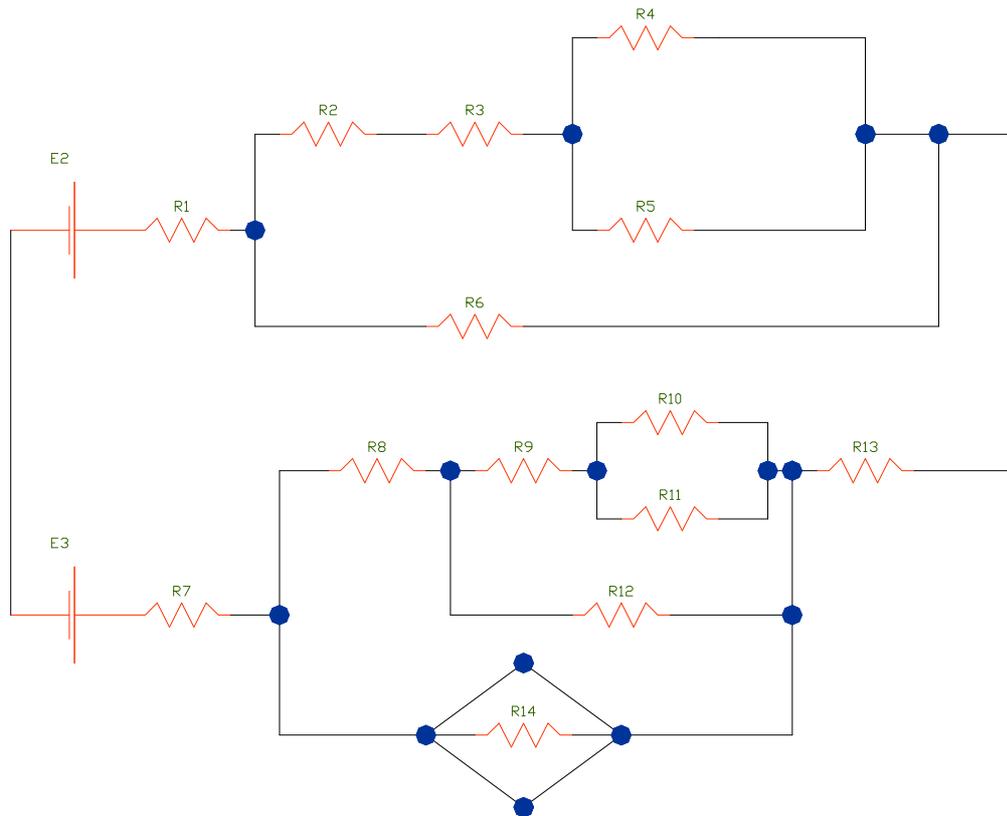


- R1 = 10 ohms
- R2 = 15 ohms
- R3 = 20 ohms
- R4 = 15 ohms
- R5 = 25 ohms
- E2 = 15V
- E1 = 20V

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.5. Exercice n°5

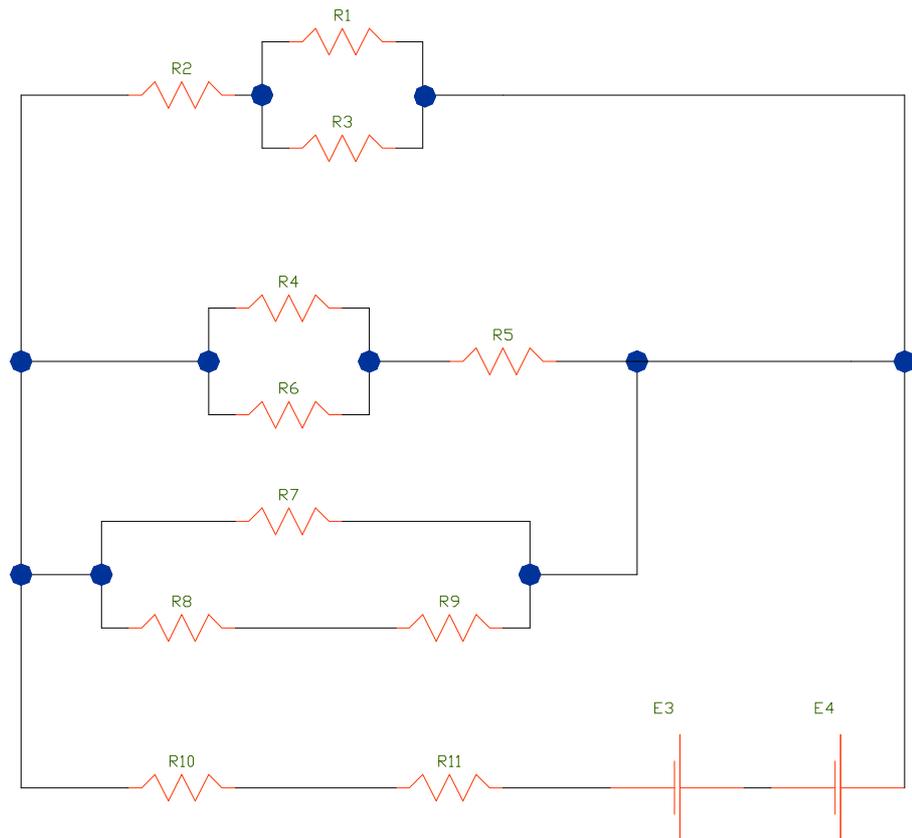


- R1 = 85 ohms
- R2 = 760 ohms
- R3 = 2Kohms
- R4 = 750 ohms
- R5 = 500 ohms
- R6 = 84 ohms
- R7 = 660 ohms
- R8 = 15Kohms
- R9 = 500 ohms
- R10 = 500 ohms
- R11 = 500 ohms
- R12 = 100 ohms
- R13 = 200 ohms
- E2 = 75V
- E3 = 50V

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.6. Exercice n°6

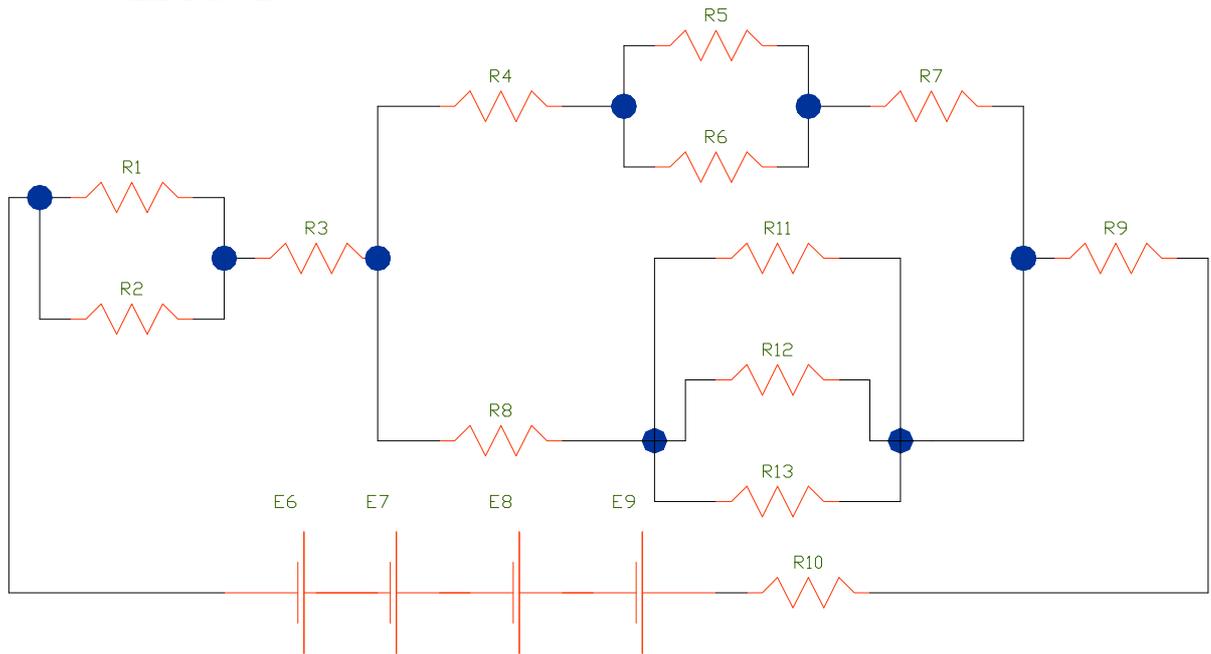


- R1 = 15 ohms
- R2 = 20 ohms
- R3 = 45 ohms
- R4 = 10 ohms
- R5 = 20 ohms
- R6 = 10 ohms
- R7 = 20 ohms
- R8 = 30 ohms
- R9 = 40 ohms
- R10 = 15 ohms
- R11 = 5 ohms
- E1 = 16V
- E2 = 24V
- E3 = 10 V
- E4 = 10V

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.8. Exercice n°8

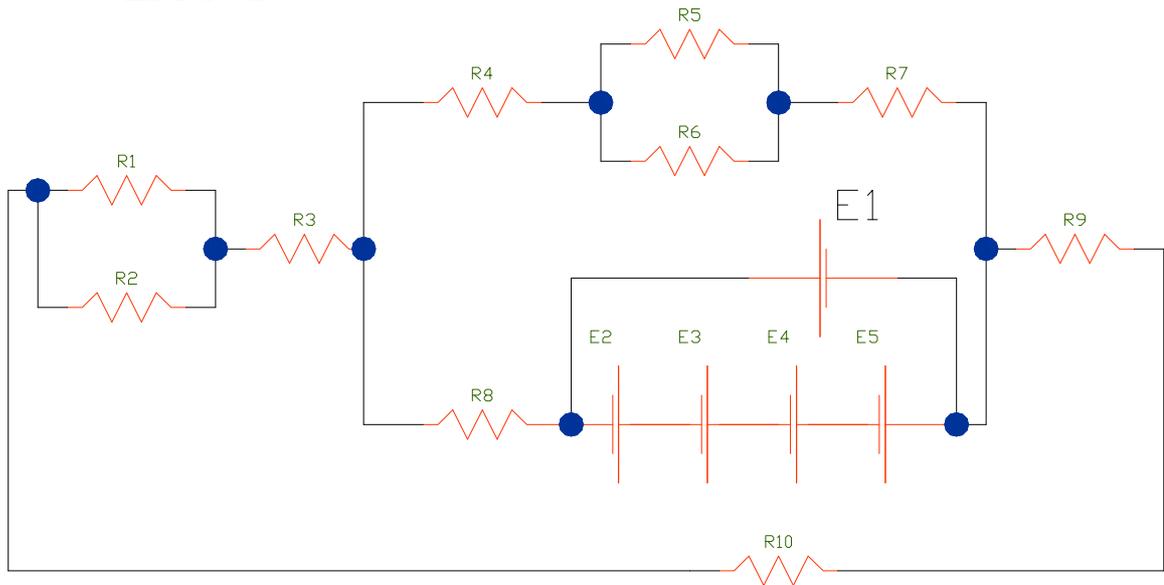


- R1 = 5 ohms
- R2 = cuivre, L=1000m , S= 1.5mm²
- R3 = R_{20°C} = 10 ohms, RT à 50°C alpha = 0.0065
- R4 = 12 ohms
- R5 = 4 ohms
- R6 = 4 ohms
- R7 = 6 ohms
- R8 = 2 ohms
- R9 = 150 ohms
- R10 = 1 ohm
- R11 = 15 ohms
- R12 = 30 ohms
- R13 = 15 ohms
- E6, E7 = 4.5V
- E8 = 9V
- E9 = 24V

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.9. Exercice n°9



$R1 = 5 \text{ ohms}$

$R2 = \text{cuivre, } L=1000\text{m, } S= 1.5\text{mm}^2$

$R3 = R_{20^\circ\text{C}} = 10 \text{ ohms, } R_T \text{ à } 50^\circ\text{C } \alpha = 0.0065$

$R4 = 12 \text{ ohms}$

$R5 = 4 \text{ ohms}$

$R6 = 4 \text{ ohms}$

$R7 = 6 \text{ ohms}$

$R8 = 2 \text{ ohms}$

$R9 = 150 \text{ ohms}$

$R10 = 1 \text{ ohm}$

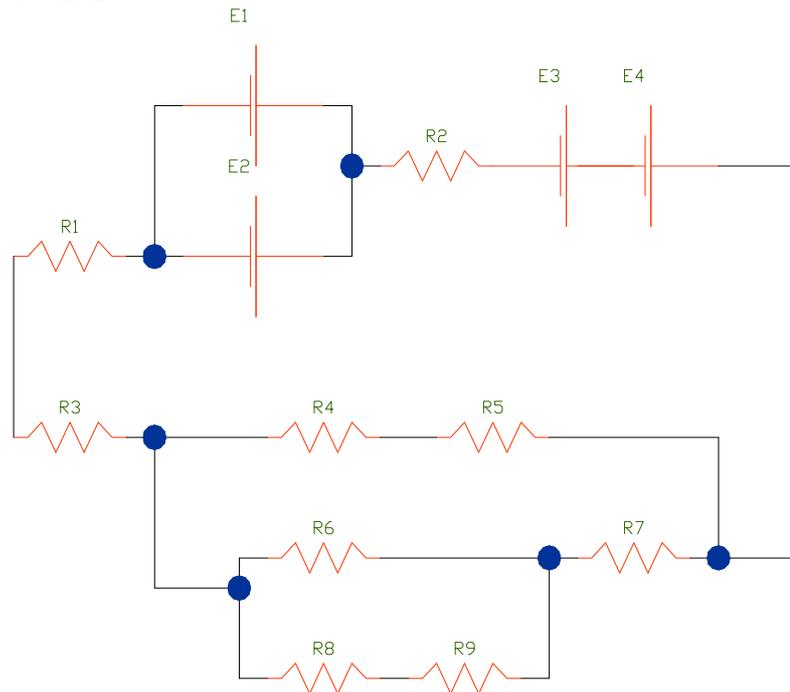
$E1 = 6 \text{ V}$

$E2, E3, E4, E5 = 1.5\text{V}$

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.

47.10. Exercice n°10



R1 = Aluminium, L= 75 m, S= 2.5 mm²

R2 = 5 ohms

R3 = 12.5 ohms

R4 = 17000 milli ohms

R5 = 0.022 Kohms

R6 = R_{0°C} = 12 ohms, RT à 17°C alpha = 0.0028

R7 = Cuivre, L= 74 m , S= 6 mm²

R8 = R_{20°C} = 21 ohms, RT à 50°C alpha = 0.0034

R9 = 32 ohms

E1 = 12 V 12AH r1 = 5 ohms

E2 = 12V 15AH r2 = 5 ohms

E3 = 24V 35AH r3 = 3 ohms

E4 = 17V 20AH r4 = 6 ohms

Tu feras ensuite le calcul de toutes les tensions et de tous les courants pour chaque composant.

Tu feras une synthèse dans un tableau récapitulatif.