



OPÉRER EN SÉCURITÉ SUR UN OUVRAGE ÉLECTRIQUE

NOTIONS D'ÉLECTRICITÉ

Fascicule de documentation n°1

Vous aider à maîtriser les risques, c'est notre métier

ISBN : 2.909066.57.6



SOMMAIRE

I - CONSTITUTION DE LA MATIÈRE	3
- Les molécules	3
- Les atomes	4
- Le courant électrique	5
- Les corps isolants et conducteurs	6
II - GRANDEURS DE BASE	8
- Tension	8
- Intensité	9
- Résistance - Impédance	10
III - RÈGLES DE BASE	11
- Loi d'Ohm	11
- Effets calorifiques du courant (loi de Joule)	11
- Autres effets du courant	12
- Puissance	12
IV - ASSOCIATION DE RÉSISTANCES	13
- Résistances en série	13
- Résistances en parallèle	13
. Cas général	13
. Cas de 2 dérivationes	14
. Application : le shunt	15
V - ASSOCIATION DE CONDENSATEURS	16
- Condensateurs en série	16
. Cas général	16
. Cas de 2 condensateurs en série	17
- Condensateurs en parallèle	17
- Énergie emmagasinée	18
ANNEXES	
- Annexe 1 : Conducteurs	23
- Annexe 2 : Courant alternatif	28
- Annexe 3 : Principaux symboles graphiques	37
- Annexe 4 : Quelques pionniers	39
- Annexe 5 : Exercices sur les symboles graphiques	43



Notions
d'électricité
par Daniel DUGRILLON

I - CONSTITUTION DE LA MATIÈRE

Par matière, nous désignons tout ce qui est localisable et possède une masse. En première approximation, nous pouvons dire que la matière peut se présenter sous trois états différents : solide, liquide ou gazeux. Elle se compose de molécules.

LES MOLÉCULES

La structure de la matière est discontinue : un corps pur est formé d'un ensemble de constituant tous identiques entre eux : **les molécules**.

La molécule est la plus petite quantité de matière constituant le corps considéré qui puisse exister à l'état libre sans perdre ses propriétés physico-chimiques.

Dans les corps simples, les molécules sont formées d'un certain nombre d'**atomes** identiques. Ainsi, la molécule d'oxygène comprend 2 atomes d'oxygène (fig.1).

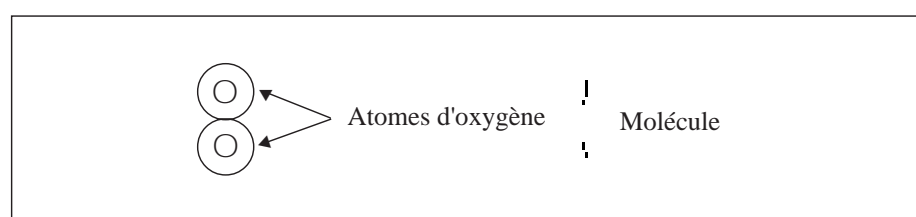


Figure 1 : Molécule d'oxygène

Dans les corps composés, les molécules sont constituées d'atomes différents. Cependant, toutes les molécules d'un même corps comportent toujours les mêmes atomes en proportion identique. Ainsi, toutes les molécules de chlorure de sodium (le sel de cuisine) ClNa comprennent un atome de chlore Cl et un atome de sodium Na . De même, les molécules d'eau H^2O comportent chacune deux atomes d'hydrogène H et un atome d'oxygène O (fig. 2).

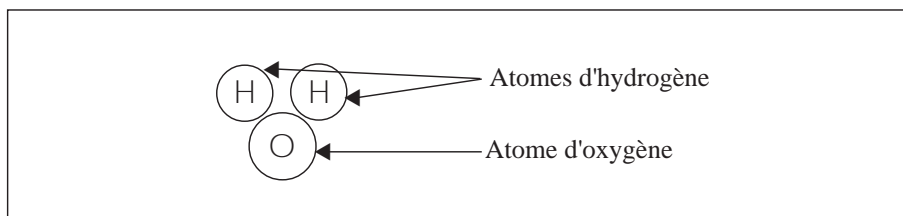


Figure 2 : Molécule d'eau

LES ATOMES

Un atome est composé d'un noyau (zone nucléaire) autour duquel gravitent un ou plusieurs électrons (zone périphérique ou cortège électronique). Ces électrons ont une trajectoire elliptique (fig. 3) et sont répartis sur huit couches ayant au maximum :

- Couche K : 2 électrons,
- Couche L : 8 électrons,
- Couche M : 18 électrons,
- Couche N : 32 électrons.

Les trois couches O, P et Q ne sont jamais saturées et la dernière (couche Q) ne possède jamais plus de 8 électrons (fig. 4).

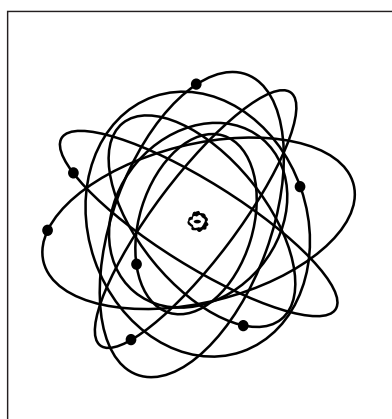


Figure 3 : Atome d'oxygène

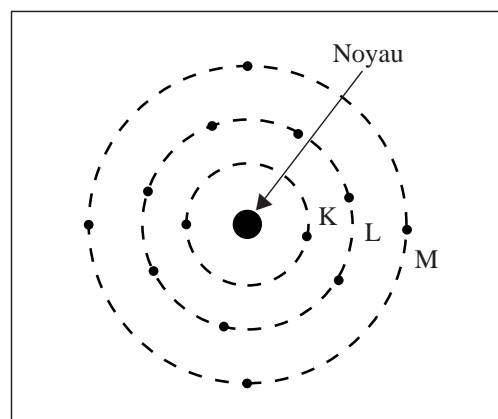


Figure 4 : Atome de BORH

Le noyau peut contenir deux types de particules (ou nucléons) les **neutrons** et les **protons**. L'électron possède une charge électrique négative, le proton a une charge positive égale à celle de l'électron et le neutron est électriquement neutre.

Deux éléments chargés d'électricité de même signe se repoussent alors que deux éléments chargés d'électricité de signe contraire s'attirent. Un atome à l'état normal est donc électriquement neutre car la charge totale

des électrons correspond à celle du noyau. Autrement dit, dans un atome, il y a autant de protons que d'électrons. Le noyau est positif et retient les électrons dans son voisinage.

LE COURANT ÉLECTRIQUE

Au niveau de la matière, les électrons lointains sont peu attirés par la charge positive du noyau. Ceux-ci, que nous appelons "électrons libres", peuvent s'échapper et rompre la neutralité de l'atome. Ce dernier devient un ion positif. De même, si un électron est récupéré par un atome neutre, celui-ci se transforme en ion négatif (fig. 5).

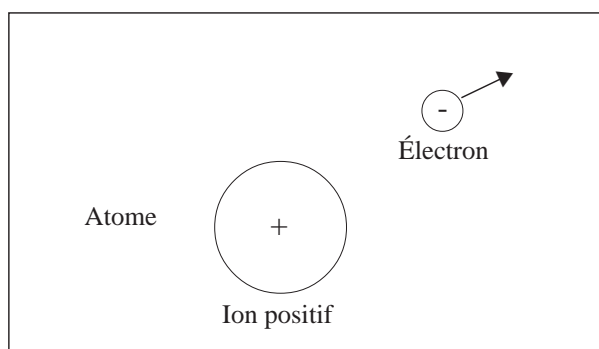


Figure 5 : Ion

En électricité, nous utilisons pour le transport de l'énergie deux métaux : le **cuivre** et l'**aluminium**.

Un atome de cuivre comprend un noyau composé de 29 protons et 34 neutrons et une zone périphérique de 29 électrons répartis sur 4 orbites dont un seul sur l'orbite extérieure (fig. 6).

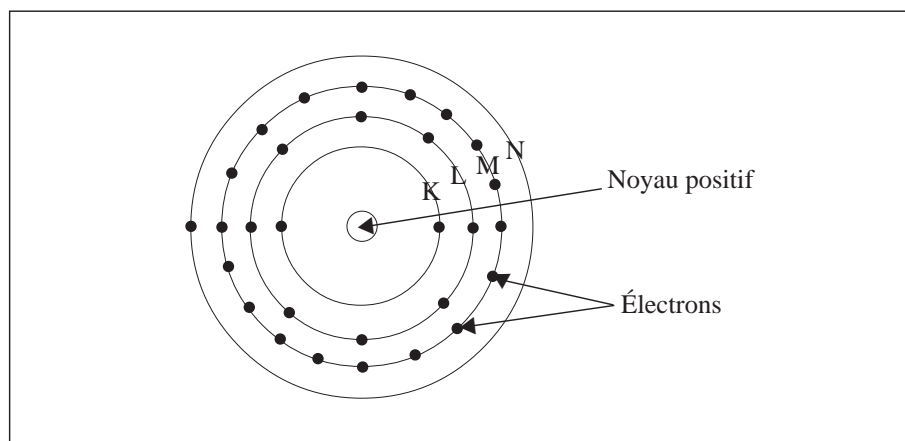


Figure 6 : Atome de cuivre

L'atome d'aluminium comporte un noyau composé de 13 protons et 14 neutrons et un cortège électronique de 13 électrons répartis sur 3 orbites dont trois sont sur l'orbite extérieure (fig. 7).

Les électrons disposés sur l'orbite extérieure sont, notamment au niveau des molécules, des "**électrons libres**".

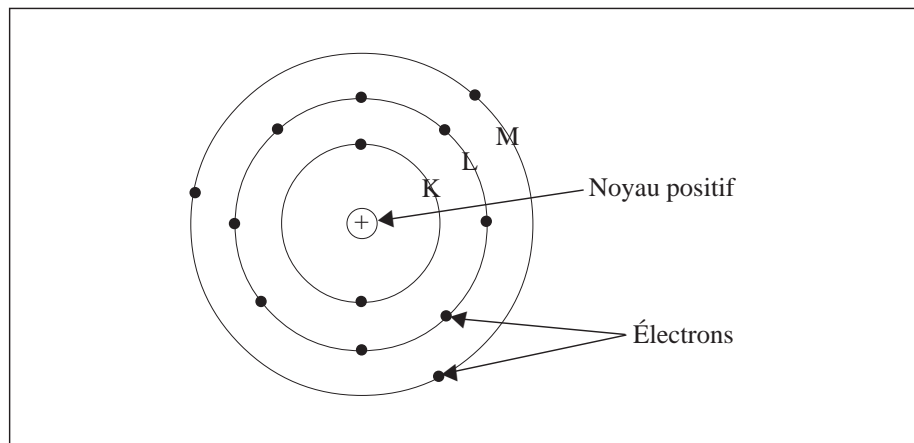


Figure 7 : Atome d'aluminium

Le **courant électrique** est un déplacement d'électrons libres dans une direction bien déterminée. En courant continu, ce flux d'électrons va de la borne négative à la borne positive à travers le circuit électrique extérieur au générateur (fig. 10). C'est le sens réel du courant électrique qui s'avère contraire au sens conventionnel qui fut fixé arbitrairement à une époque où la composition de l'atome était méconnue (fig. 8).

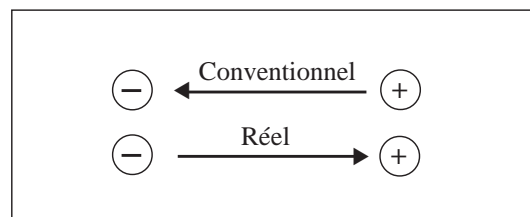


Figure 8 : Sens du courant électrique

LES CORPS ISOLANTS ET CONDUCTEURS

Nous pouvons classer les corps en deux groupes :

- les **corps isolants ou diélectriques** qui s'opposent au passage des électrons tels : la porcelaine, le verre, le corindon, le caoutchouc, les plastiques, le mica, la soie, la bakélite, le vernis isolant (émail), le bois sec, le papier, etc.,
- les **corps conducteurs** qui, possédant des électrons libres, laissent passer le flux d'électrons tels les métaux (le cuivre et ses alliages, l'aluminium et ses alliages, le fer, etc.), le carbone, l'eau, le corps humain, le sol, ...

NOTA : Entre ces deux extrêmes, il existe également des corps semi-conducteurs (tels le germanium, le silicium, ...) qui sont utilisés notamment comme redresseurs de courant alternatif.

L'air est, heureusement pour nous, un isolant. Cependant, lorsque le taux d'hygrométrie augmente ou lorsque la distance diminue pour une tension donnée, les qualités isolantes de l'air diminuent et il y a **risque d'amorçage** (fig. 9). Cela peut se produire lorsque la personne se trouve entre la pièce active nue sous tension et la distance minimale d'approche (DMA), c'est-à-dire dans la zone des travaux sous tension (TST).

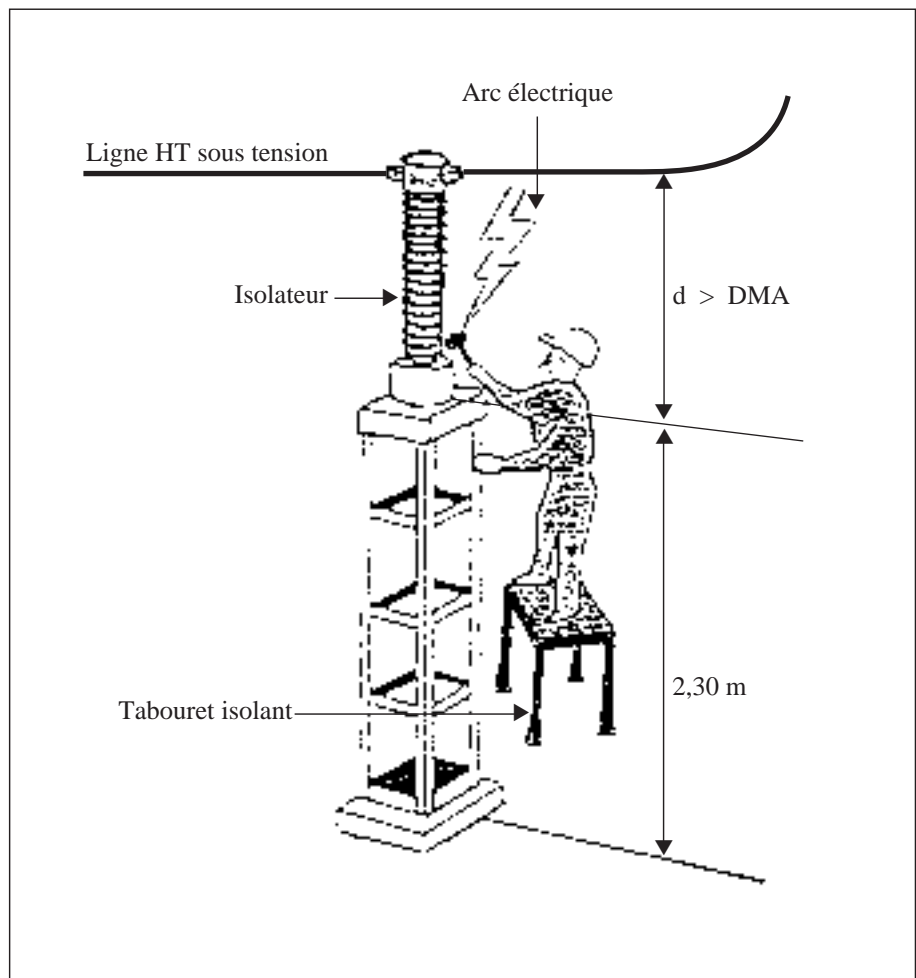


Figure 9 : Phénomène d'amorçage

II - GRANDEURS DE BASE

Toutes les applications du courant électrique correspondent à des transformations de l'énergie électrique en une autre forme d'énergie : chimique, mécanique ou thermique.

Les trois grandeurs de base sont : **la tension, l'intensité et la résistance.**

TENSION

Un générateur d'électricité (par exemple dynamos ou accumulateurs en courant continu et alternateurs en courant alternatif) pousse les électrons libres avec une certaine force (ou pression) que nous appelons "**force électromotrice**" (fem), "**différence de potentiel**" (ddp) mais le plus souvent "**tension**" dont le symbole est V ou U.

L'unité de mesure est le VOLT (symbole : V).

En électricité, nous utilisons aussi le kilovolt (kV) qui vaut 1 000 volts.

Exemples :

- une pile plate de lampe de poche : 4,5 volts,
- un socle mural de prise de courant : 230 volts ou 230 V,
- une alimentation EDF en haute tension (HT) : 20 000 volts ou 20 kV.

Nous mesurons une différence de potentiel ou une tension avec un voltmètre.

Selon le décret n° 88-1056 modifié du 14 novembre 1988 et la publication UTE C 18-510, les ouvrages électriques de toute nature sont classés en fonction de la plus grande des tensions mise en jeu et sont répartis en différents "domaines de tension" selon la terminologie internationale (tableau 1).

Domaines de tension	Abréviations		Tension U en volts	
			Courant alternatif	Courant continu lisse
Très basse tension	TBT		$U \leq 50$	$U \leq 120$
Basse tension A	BT	BTA	$50 \leq U < 500$	$120 \leq U < 750$
Basse tension B		BTB	$500 \leq U < 1\ 000$	$750 \leq U < 1\ 500$
Haute tension A	HT	HTA	$1\ 000 \leq U < 50\ 000$	$1\ 500 \leq U < 75\ 000$
Haute tension B		HTB	$50\ 000 \leq U$	$75\ 000 \leq U$

Tableau 1 : Classement des ouvrages électriques

Le courant continu lisse a un taux d'ondulation très faible : son lissage est presque parfait. Cependant, la réglementation assimile au courant continu lisse, les courants redressés dont la variation de tension de crête à crête ne dépasse pas 15 % de la valeur moyenne.

NOTA : Le domaine TBT correspond au domaine I de la norme NF C 15-100. Le domaine BT correspond au domaine II de la même norme.

INTENSITÉ

Un circuit électrique comporte un générateur d'électricité G dont les bornes sont reliées à un récepteur par l'intermédiaire de conducteurs. Il est généralement muni d'un appareil de coupure permettant d'interrompre la circulation d'un courant électrique (fig. 10). L'air étant un isolant, le déplacement des électrons libres ne peut s'effectuer que si le circuit électrique est fermé (bouclage d'un circuit). Nous disons qu'un courant I circule dans le circuit.

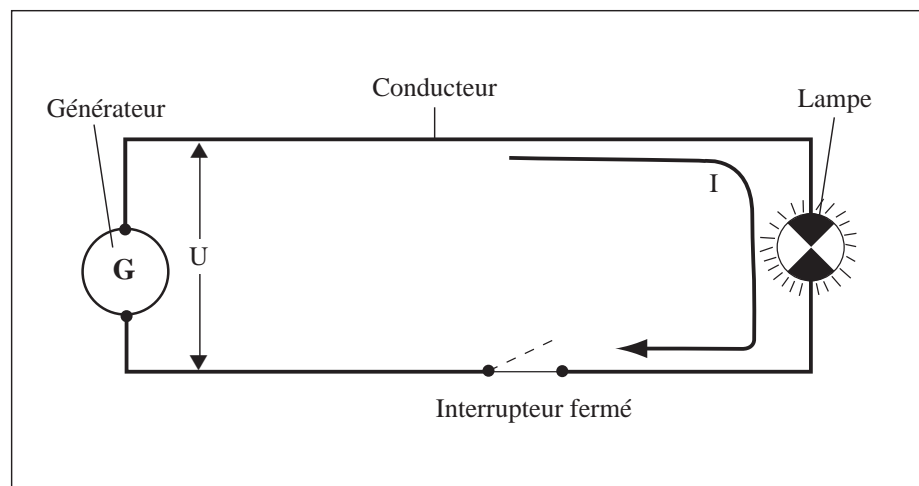


Figure 10 : Circuit électrique

L'intensité I de ce courant dépend de la tension U fournie par le générateur et de la résistance opposée par le circuit au passage de ce courant.

L'unité de mesure de l'intensité est l'**ampère** (symbole A).

NOTA : L'ampère correspond à un débit de 625.10^{16} électrons par seconde.

Nous utilisons le milliampère (mA) qui vaut un millième d'ampère :

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A} = 1.10^{-3} \text{ A.}$$

Exemples :

- Un dispositif différentiel à haute sensibilité doit fonctionner pour un courant de défaut au plus égal à 30 mA.
- Une ampoule de 60 watts alimentée sous 230 volts est parcourue par un courant de 0,26 A soit 260 mA.

Nous distinguons deux types de courant :

- le courant continu qui est unidirectionnel,
- le courant alternatif qui change de sens selon une certaine fréquence (annexe 2)

RÉSISTANCE - IMPÉDANCE

Tous les corps opposent une **résistance R** plus ou moins grande au passage du courant. En fait, les circuits électriques (ou électroniques) contiennent trois sortes d'organes : des résistances, des condensateurs et des bobines de self-induction (appelés improprement des selfs). Les moteurs se rangent dans cette dernière catégorie.

En courant continu, nous ne considérons que la résistance d'un circuit.

En courant alternatif (se reporter à l'annexe 2), nous considérons en plus des effets selfiques (dus aux bobines) et capacitifs (dus aux condensateurs).

Nous appelons **impédance Z**, l'impédance globale en courant alternatif due aux résistances, aux inductances et aux condensateurs du circuit considéré.

L'unité de mesure de la résistance est l'ohm (symbole : Ω).

Nous utilisons d'une part le kiloohm ($k\Omega$) qui vaut 1 000 Ω et d'autre part le mégohm ($M\Omega$) qui vaut 1 000 000 Ω .

Exemple : Un isolement d'une installation de 230 000 Ω ou 230 $k\Omega$ ou 0,230 $M\Omega$.

Nous mesurons les résistances ou les impédances avec un ohmmètre ou un mégohmmètre.

III - RÈGLES DE BASE

LOI D'OHM

L'intensité I du courant qui parcourt un conducteur linéaire (annexe 1) est proportionnelle à la différence de potentiel U existant entre ses extrémités (fig. 11).

La résistance R d'un conducteur linéaire est mesurée par le quotient de

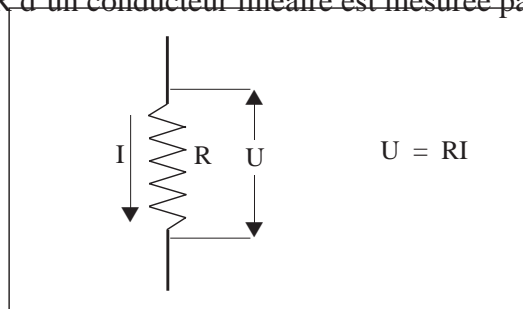


Figure 11 : Loi d'ohm

la différence de potentiel U à ses extrémités par l'intensité I du courant qui le parcourt :

$$R = U / I$$

NOTA : En courant alternatif, nous avons $U = Z.I$ ou $Z = U/I$ avec $z = \text{impédance du circuit} = \sqrt{R^2 + X^2}$ où X est la réactance du circuit.

EFFETS CALORIFIQUES DU COURANT (Loi de Joule)

Un fil parcouru par un courant électrique s'échauffe : par exemple un fil de cuivre traversé par un courant de quelques ampères rougit et peut même fondre (ou être à l'origine d'un incendie).

En effet, les électrons perdent beaucoup d'énergie par les frottements qui ont lieu entre eux et les ions fixes du conducteur. L'énergie calorifique apparue provient de la transformation de l'énergie électrique (fig.12). Soit un conducteur linéaire AB et de résistance R , parcouru par un cou-

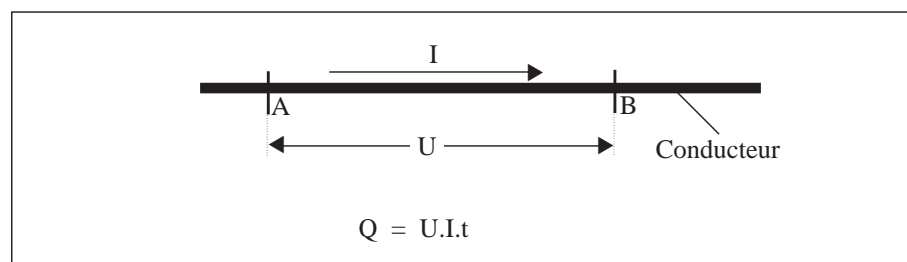


Figure 12 : Loi de Joule

rant d'intensité I . Entre ses extrémités, il existe une différence de potentiel $V_A - V_B = U$. Par seconde, une quantité d'électricité I passe du potentiel V_A au potentiel V_B , libérant une énergie :

$$(V_A - V_B) I = U \cdot I \text{ en } t \text{ secondes.}$$

La quantité de chaleur Q apparue est :

$$Q = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t \text{ avec :}$$

- Q en joules,
- U en volts,
- I en ampères,
- R en ohms et
- t en secondes.

Cette loi a été établie expérimentalement par le physicien anglais JOULE, c'est pourquoi nous l'appelons "Loi de Joule". Elle s'exprime ainsi : "la quantité de chaleur dégagée dans un conducteur par le passage d'un courant continu est proportionnelle à la résistance du conducteur, au temps pendant lequel a passé le courant et au carré de l'intensité du courant".

AUTRES EFFETS DU COURANT

Le passage du courant dans un circuit se manifeste par plusieurs effets :

- chimique avec électrolyse de l'eau additionnée d'acide sulfurique (SO^4H^2) et dégagement d'oxygène et d'hydrogène,
- calorifique ou thermique par échauffement d'un conducteur (application de la loi Joule vue ci-dessus) ce qui permet le chauffage et l'éclairage,
- magnétique mis en évidence par la déviation de l'aiguille d'une boussole,
- mécanique (fonctionnement des moteurs).

PUISSANCE

La puissance en courant continu est l'énergie consommée par seconde. Elle est donnée par la formule :

$$P = Q/t = U \cdot I \cdot t/t = U \cdot I \text{ avec :}$$

- P : puissance en watts,
- U : tension en volts,
- I : intensité du courant en ampères,
- t : temps écoulé en secondes

Or : $U = R \cdot I$ donc $P = R \cdot I^2$.

L'unité de mesure de la puissance est le **watt** (symbole : **W**) qui est égale à 1 joule (J) par seconde : $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.

NOTA : Les compteurs enregistrent les consommations en kilowattheures (kWh) : $1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ W} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J/s}$; $1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh}$.

La puissance se mesure avec un wattmètre.

IV - ASSOCIATION DE RÉSISTANCES

RÉSISTANCES EN SÉRIE

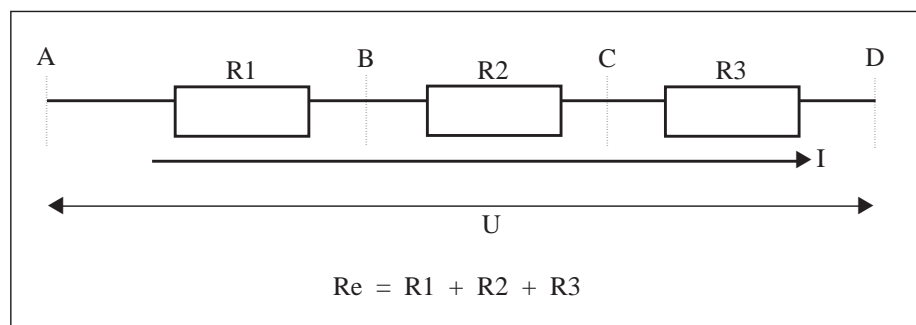


Figure 13 : Résistances en série

Soit un circuit AD composé (fig. 13) de trois résistances R_1 , R_2 et R_3 correspondant aux tronçons AB, BC et CD et traversé par un courant I . Nous avons : $(U_A - U_D) = U = R_e \cdot I$ avec :

- R_e = résistance équivalente et
- U = tension aux bornes du circuit AD

$$\begin{aligned} \text{Or : } U &= (U_A - U_D) = (U_A - U_B) + (U_B - U_C) + (U_C - U_D) \\ &= (R_1 \cdot I) + (R_2 \cdot I) + (R_3 \cdot I) \\ &= (R_1 + R_2 + R_3) I = R_e \cdot I \end{aligned}$$

$$\text{Donc : } R_e = R_1 + R_2 + R_3$$

D'où la règle : "les valeurs des résistances placées en série s'ajoutent".

RÉSISTANCES EN PARALLÈLE

● Cas général

Soit un circuit (fig. 14) parcouru par un courant I et qui se divise en trois branches de résistances R_1 , R_2 et R_3 parcourus respectivement par les courants i_1 , i_2 et i_3 . Il s'agit en fait de l'application des lois sur les courants dérivés.

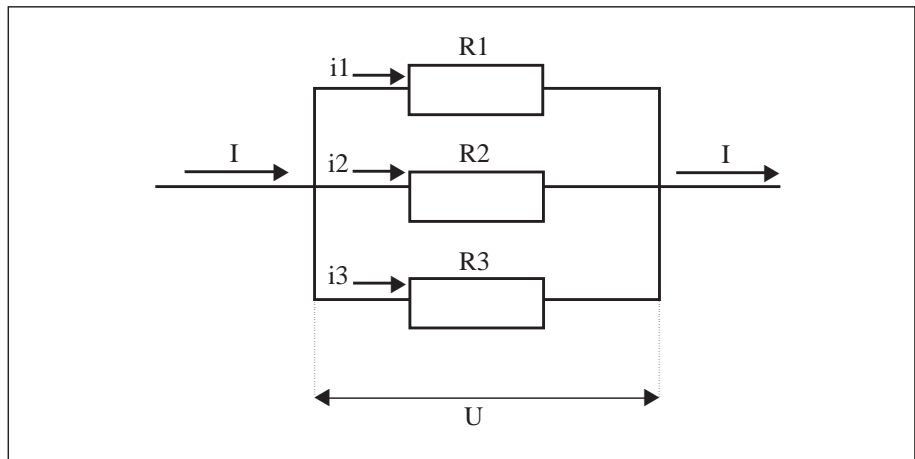


Figure 14 : Courants dérivés

Selon la loi d'ohm nous avons : $U = R_e \cdot I$

Or, nous avons : $U = R_1 \cdot i_1 = R_2 \cdot i_2 = R_3 \cdot i_3$

$$U = R_e \cdot I = R_e (i_1 + i_2 + i_3)$$

D'où nous tirons la première loi dite "Loi des nœuds" : l'intensité du courant principal est égale à la somme des intensités des courants dérivés :

$$U/R_e = i_1 + i_2 + i_3$$

Il s'en suit que les intensités du courant électrique dans des conducteurs placés en dérivation sont inversement proportionnelles aux résistances des conducteurs (deuxième loi) :

$$i_1 = U/R_1, i_2 = U/R_2 \text{ et } i_3 = U/R_3$$

L'inverse de la résistance équivalente est égal à la somme des inverses des résistances en dérivation :

$$1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3.$$

● Cas de 2 dérivation

Soit un circuit parcouru par un courant I et qui se divise en deux branches

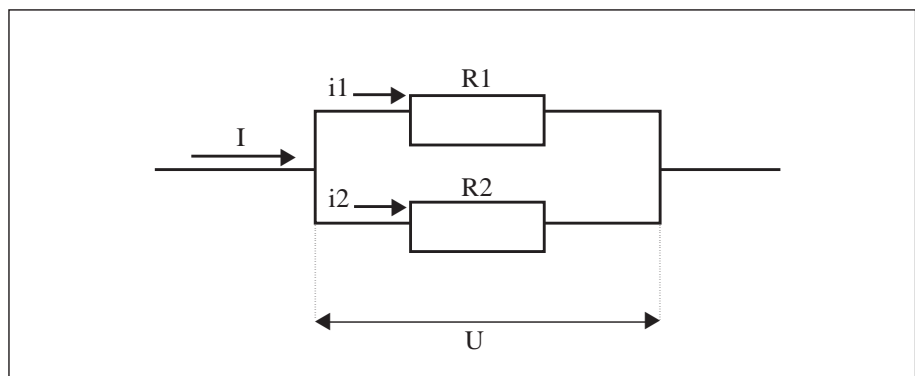


Figure 15 : Double dérivation
de résistances R1 et R2 (fig. 15) parcourues respectivement par des courants i1 et i2.

Dans ce cas, nous obtenons :

$$R_e = (R_1 + R_2)/(R_1 \cdot R_2)$$

● Application : le shunt

Lorsque nous voulons mesurer de fortes intensités, nous utilisons un ampèremètre dans lequel nous ne faisons passer qu'une fraction de l'inten-

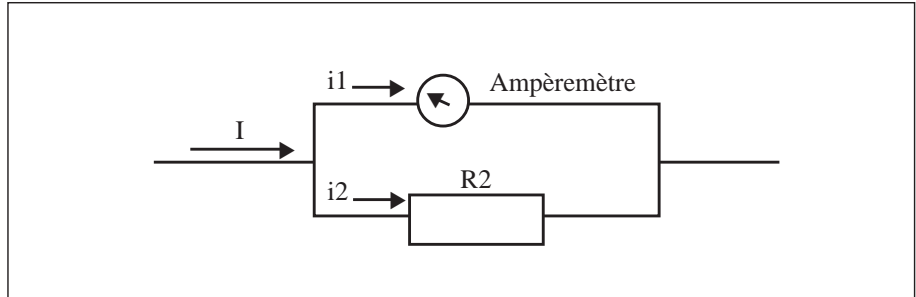


Figure 16 : Le shunt

sité à mesurer (et que l'appareil peut supporter) en mettant en dérivation entre ses bornes une résistance appelée **shunt** (fig. 16).

Par exemple, supposons que nous disposions d'un ampèremètre dont la constitution ne permet de laisser passer qu'un ampère, et que nous voulions mesurer des courants dont l'intensité est supérieure. En insérant des shunts de résistances de 9, 99, 999... fois plus petites que celle de l'ampè-

V - ASSOCIATION DE CONDENSATEURS

remètre, nous pourrions mesurer des courants 10, 100, 1 000... fois plus forts qu'avec l'appareil et sans détruire ce dernier.

Un condensateur est un composant passif qui accumule des charges électriques. Il est formé de deux corps conducteurs appelés "armatures" séparés sur toute l'étendue de leur surface par une matière isolante de faible épaisseur dite "diélectrique" qui peut être solide, liquide ou gazeuse (paraffine, mica, air, sel de Seignette, SF6, oxyde de titane, titanate de baryum, tantale...).

La charge Q d'un condensateur est donnée par la formule :

$$Q = C.U$$

Où :

- Q : charge en coulombs,
- C : capacité du condensateur en farads
- et U : est la tension en volts appliquée aux bornes du condensateur.

Un condensateur est toujours associé à une résistance qui détermine le courant de charge du condensateur. Par ailleurs, il n'y a pas d'isolant parfait et il existe de fait une résistance en parallèle au condensateur.

Comme les résistances, nous pouvons grouper les condensateurs de deux façons différentes : en série (ou en cascade) et en parallèle (ou en surface).

CONDENSATEURS EN SÉRIE

● Cas général

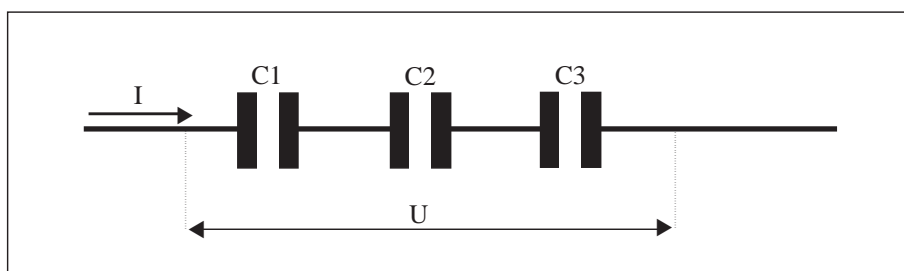


Figure 17 : Condensateurs en série

Soit trois condensateurs placés en série dans un circuit (fig. 17) et traversés par un courant I.

Nous avons : $Q_1 = C_1.U_1 = C_2.U_2 = C_3.U_3$

Donc : $U_1 = Q/C_1$, $U_2 = Q/C_2$ et $U_3 = Q/C_3$

Or : $U = U_1 + U_2 + U_3$

$$U = Q/C_1 + Q/C_2 + Q/C_3$$

Un condensateur unique C qui prendrait la charge Q sous une différence de potentiel U aurait une capacité : $C = Q/U$ où $U = Q/C$

Donc : $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$

Règle : "La capacité du condensateur équivalent au groupement en série est telle que son inverse soit égale à la somme des inverses des condensateurs qui constituent ce groupement".

● Cas de 2 condensateurs en série

Dans ce cas (fig. 18), nous obtenons :

$$C = (C_1.C_2) / (C_1 + C_2)$$

NOTA : Les groupements en série permettent d'avoir des différences de

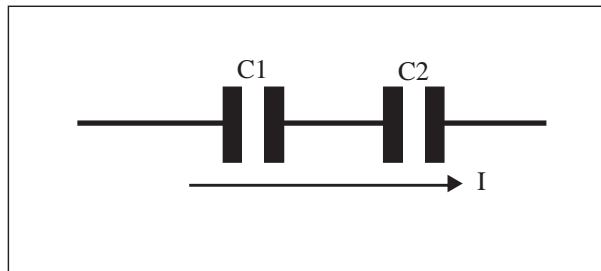


Figure 18 : 2 condensateurs en série

CONDENSATEURS EN PARALLÈLE

potentiel élevées, puisque chaque condensateur ne supporte qu'une fraction de la différence de potentiel totale.

Dans un groupement en parallèle, chaque conducteur est soumis à la même différence de potentiel U. Avec trois condensateurs installés en parallèle (fig.19), les charges sont :

$$Q_1 = C_1.U$$

$$Q_2 = C_2.U$$

$$Q_3 = C_3.U$$

L'ensemble des condensateurs porte donc une charge totale Q :

$$Q = C_1.U + C_2.U + C_3.U$$

$$= (C_1 + C_2 + C_3)U$$

Or, $Q = C.U$ donc $C = C_1 + C_2 + C_3$

Le groupement est donc identique à un condensateur unique C, appelé

"condensateur équivalent", dont la capacité est égale à la somme des capacités des éléments.

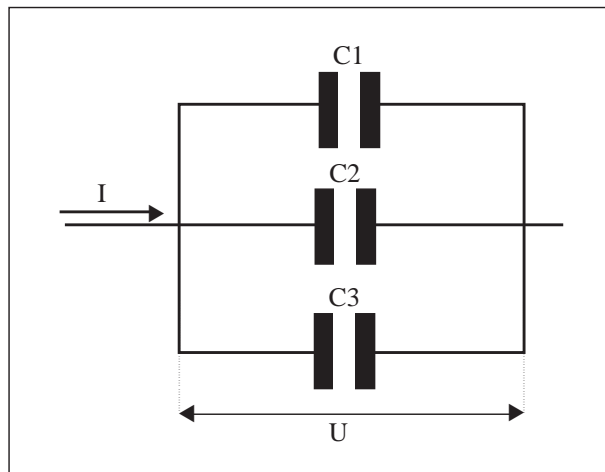


Figure 19 : Condensateurs en parallèle

ÉNERGIE EMMAGASINÉE

Les groupements en parallèle permettent d'obtenir des capacités importantes.

L'énergie emmagasinée par un condensateur est donnée par la formule :

$$W = 1/2 C.U^2 \text{ avec :}$$

- C : capacité en farads,
- U : tension appliquée en volts,
- et W : énergie en joules (symbole : J).

PRINCIPALES GRANDEURS ET UNITÉS UTILISÉES EN ÉLECTRICITÉ

Grandeur	Unités de base	Symbole	Unités couramment utilisées	Symbole
TENSION	Volt	V	- Kilovolt = 1 000 volts - Volt - Millivolt = 0,001 volt	kV V mV
INTENSITÉ	Ampère	A	- Ampère - Milliampère = 0,001 ampère	A mA
RÉSISTANCE (ou IMPÉDANCE)	Ohm	Ω	- Milliohm = 0,001 ohm - Ohm - Kiloohm = 1 000 ohms - Mégohm = 1 000 000 ohms	m Ω Ω k Ω M Ω
PUISSANCE ACTIVE	Watt	W	- Watt - Kilowatt = 1 000 watts = 1 000 W - Mégawatt = 1 000 000 W - Térawatt = 1 000 000 000 W	W kW MW TW
PUISSANCE APPARENTE	Voltampère	VA	- Voltampère - Kilovoltampère = 1 000 VA	VA kVA
PUISSANCE RÉACTIVE	Voltampère réactif	VAr	- Voltampère réactif - Kilovoltampère réactif = 1 000 VAr	VAr kVAr

ANNEXES

Annexe 1 : CONDUCTEURS

CONSTITUTION D'UN CONDUCTEUR

Un **conducteur nu** est constitué soit d'un brin conducteur unique en cuivre ou en aluminium, soit de plusieurs brins câblés.

Un **conducteur isolé** est un ensemble formé par une âme conductrice (analogue à un conducteur nu) et de son enveloppe isolante (fig. 20).

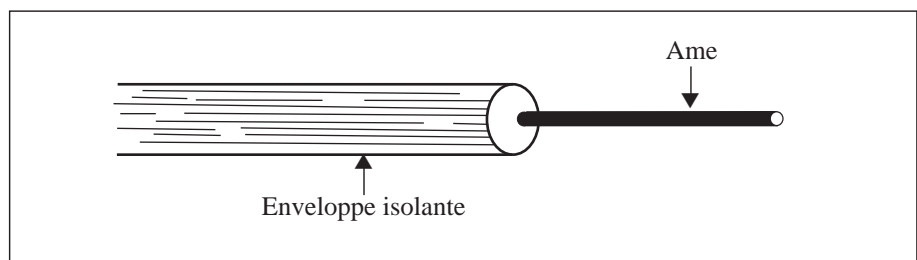


Figure 20 : Conducteur isolé

Un **câble unipolaire** est un conducteur isolé comportant en plus une ou plusieurs couches de protection (fig. 21).

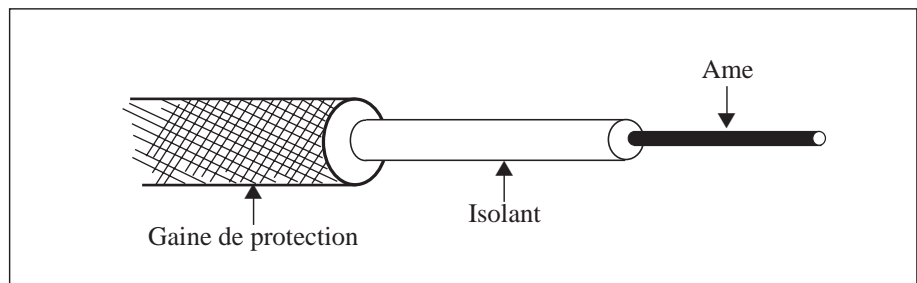


Figure 21 : Câble unipolaire

Ces différentes couches qui entourent l'âme conductrice sont dénommées dans l'ordre où nous les rencontrons à partir de l'extérieur : revêtement, gaine et enveloppe (fig. 22).

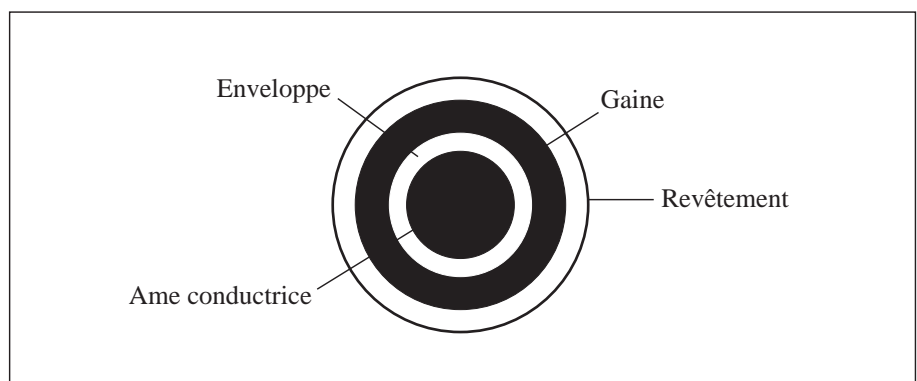


Figure 22 : Câble unipolaire

L'âme est dite "massive" lorsqu'elle est constituée d'un brin unique. Elle est dite "câblée" quand elle est composée de plusieurs brins. Ce dernier type permet d'obtenir des câbles souples. La section des âmes en mm² varie de 0,5 à 300. Nous n'utilisons guère d'âme au-delà de 300 mm². En effet, au-delà de cette valeur, il se produit un phénomène d'effet pelliculaire qui fait que le courant n'utilise plus la partie centrale de l'âme.

Un câble multipolaire est un ensemble de conducteurs isolés et mécaniquement solidaires.

NOTA : Le terme fil doit être réservé au conducteur nu recouvert d'un vernis isolant et utilisé pour le bobinage.

RÉSISTANCE D'UN CONDUCTEUR

La résistance R en ohm d'un conducteur dépend de :

- la résistivité ρ du matériau constituant ce conducteur, en ohm-mètre ($\Omega.m$),
- sa longueur L en mètres,
- sa section S en mm²

et s'exprime par la relation : $R = \rho.L/S$

La norme NF C 15-100 définit trois valeurs de la résistivité en fonction de la température du conducteur :

- ρ_0 : résistivité correspondant à la température ambiante (20°C) c'est-à-dire lorsque le conducteur n'est parcouru par aucun courant,
- ρ_1 : résistivité correspondant à la température d'un conducteur parcouru par un courant admissible : $\rho_1 = 1,25 \rho_0$,
- ρ_2 : résistivité correspondant sensiblement à la température atteinte par un conducteur, pendant le temps d'élimination d'un courant de court-circuit : $\rho_2 = 1,50 \rho_0$.

Nous avons les valeurs suivantes (en $\Omega.m$) :

- pour le cuivre :
 - $\rho_0 = 0,018$,
 - $\rho_1 = 0,0225$,
 - $\rho_2 = 0,027$;
- pour l'aluminium :
 - $\rho_0 = 0,029$,
 - $\rho_1 = 0,036$,
 - $\rho_2 = 0,0435$.

DIFFÉRENTS CONDUCTEURS D'UN OUVRAGE ÉLECTRIQUE

Dans un ouvrage électrique, nous distinguons les conducteurs suivants (fig. 23) :

- Conducteur actif : conducteur normalement affecté à la transmission de l'énergie électrique (cf : Circuit actif - page 26), tel que :

- les conducteurs de phase et le conducteur neutre en courant alternatif,
 - et les conducteurs positif, négatif et le compensateur en courant continu.
- **Conducteur d'équipotentialité** : conducteur de protection assurant une liaison équipotentielle (cf page suivante).
 - **Conducteur de mise à la terre du neutre** : conducteur reliant le point neutre ou un point du conducteur neutre à une prise de terre.
 - **Conducteur de phase** : conducteur relié à une des bornes de phase du générateur.
 - **Conducteur de protection PE** : conducteur prescrit dans certaines mesures de protection contre les chocs électriques et destiné à relier électriquement certaines des parties suivantes :
 - masses,
 - éléments conducteurs,
 - borne principale de terre,
 - prise de terre,
 - point de mise à la terre de la source d'alimentation ou point neutre artificiel.
 Le conducteur de protection n'est pas un conducteur actif.
 - **Conducteur de terre** : conducteur de protection reliant la borne principale de terre à la prise de terre.
 - **Conducteur PEN** : conducteur mis à la terre, assurant à la fois les fonctions de conducteur de protection et de conducteur neutre. La fonction de protection étant prioritaire, ce conducteur n'est pas considéré comme un conducteur actif.
 - **Conducteur principal de protection** : conducteur de protection auquel sont reliés les conducteurs de protection des masses, le conducteur de terre et éventuellement les conducteurs de liaisons équipotentielles.

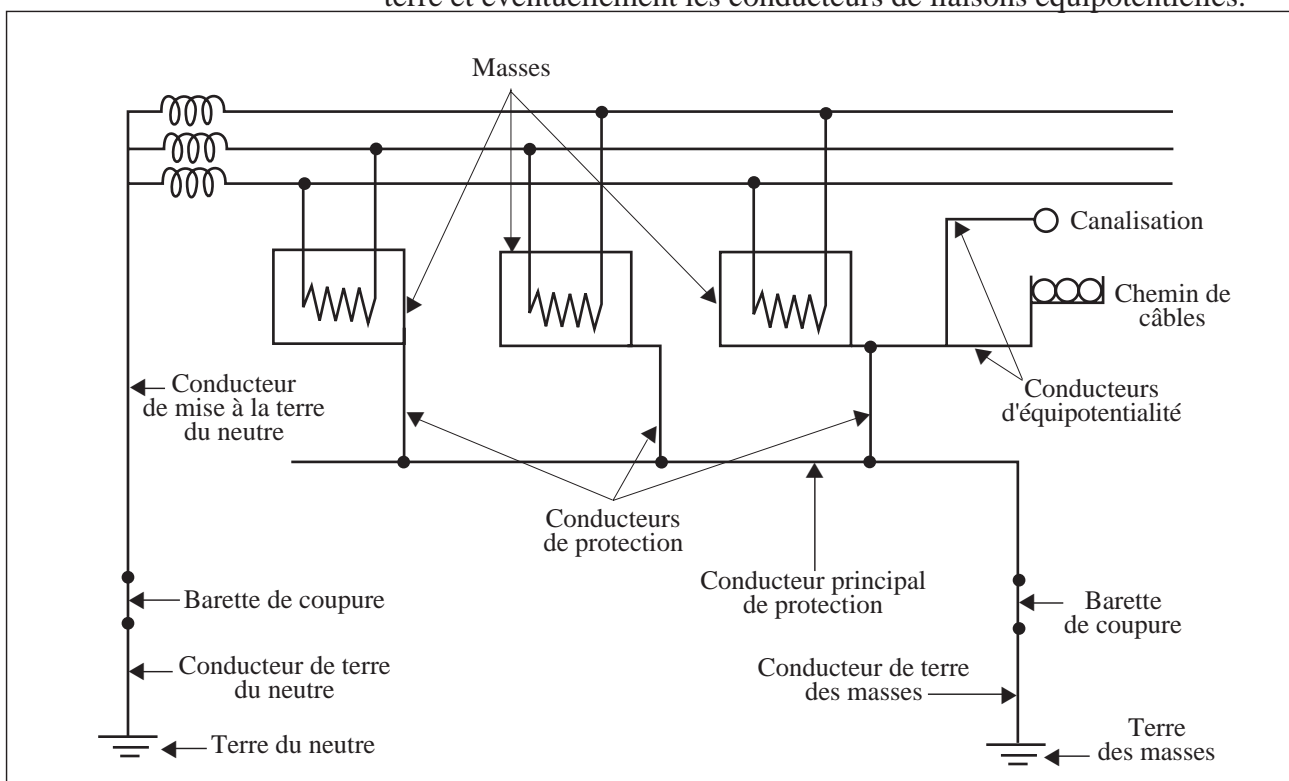


Figure 23 : Différents types de conducteurs de protection

LIAISON ÉQUIPOTENTIELLE

Une liaison équipotentielle est une liaison électrique spéciale mettant au même potentiel ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs.

Dans chaque bâtiment ou à chaque poste de travail extérieur, un conducteur principal d'équipotentialité doit réunir au conducteur principal de protection les éléments conducteurs étrangers à l'installation électrique pénétrant ou sortant dans ce bâtiment ou emplacement de travail.

Cette liaison équipotentielle principale a pour objet d'assurer l'équipotentialité de toutes les masses du bâtiment (ou de l'emplacement de travail) considéré avec tous les éléments conducteurs susceptibles d'introduire un potentiel différent dans ce local ou cet emplacement, ou bien de propager un potentiel à l'extérieur.

Doivent notamment être reliés au conducteur principal d'équipotentialité :

- les canalisations collectives d'eau,
- les canalisations collectives de gaz,
- les colonnes montantes de chauffage central,
- les rails et roulements divers, les éléments métalliques accessibles de la construction.

NOTA : Dans le cas d'un poste de livraison établi à l'intérieur d'un bâtiment et alimenté par un réseau de distribution publique, la norme NF C 13-100 précise que les auvents métalliques de ventilation et la porte d'accès ne doivent en aucun cas être reliés intentionnellement à la terre.

CIRCUIT ACTIF

Par **circuit actif**, nous entendons les pièces conductrices d'un circuit électrique affectées en fonctionnement normal à la transmission de l'énergie électrique.

Il est interdit d'utiliser, comme partie d'un circuit actif :

- la terre,
- une masse,
- un conducteur de protection,
- un conducteur d'équipotentialité,
- une canalisation métallique,
- une enveloppe métallique faisant partie d'un bâtiment.

Cette interdiction ne s'oppose pas :

- à la mise à la terre d'un point de la source d'alimentation, généralement le point neutre,
- à l'emploi de dispositifs de sécurité dont la technique exige, par nature l'emploi de la terre comme circuit de retour par exemples : contrôleurs permanents d'isolement (CPI), installations de pêche à l'électricité, ...

H	TYPE	H = Harmonisé A = Divergence nationale d'un modèle harmonisé FRN = Modèle national (français)
O5	TENSION NOMINALE EN VOLTS	O3 = 300/300 O5 = 300/500 O7 = 450/750 1 = 600/1000
V	ENVELOPPE ISOLANTE	R = Caoutchouc S = Caoutchouc siliconé V = Polychlorure de vinyle (PVC) X = Polyéthylène réticulé (PR) V2 = PVC pour température de service de 90°
	REVETEMENT METALLIQUE	L2 = Plomb Z4 = Feuillard acier
V	GAINÉ EXTERIEURE	J = Tresse de fibre de verre N = Polychloroprène R = Caoutchouc T = Tresse textile V = Polychlorure de vinyle
	FORME	RIEN = Câble rond Câble méplat : . H = Conducteurs pouvant être séparés . H2 = Conducteurs ne pouvant être séparés
F	AME	Souplesse : . F = Souple . H = Très souple . K = Souple pour installation fixe . R = Rigide câblée, section circulaire . S = Rigide câblée, section sectorale . U = Rigide massive, section circulaire . W = Rigide massive, section sectorale . Y = Fil rosette Nature : RIEN = Cuivre A = Aluminium
3	NOMBRE DE CONDUCTEURS	
G	CONDUCTEURS DE PROTECTION	X = Sans G = Avec
2,5	SECTION DES CONDUCTEURS	

Tableau 3 : Dénomination internationale des câbles et conducteurs

Annexe 2 : COURANT ÉLECTRIQUE

GÉNÉRALITÉS

Dans le cas du courant alternatif, la tension fournie varie constamment aux bornes de l'alternateur entre une valeur maximale positive et une valeur maximale négative. Les électrons se déplacent de la borne A du générateur G vers la borne B lorsque la tension est positive et vice versa lorsque la tension est négative. La courbe décrite par la tension présente une forme sinusoïdale (fig. 24).

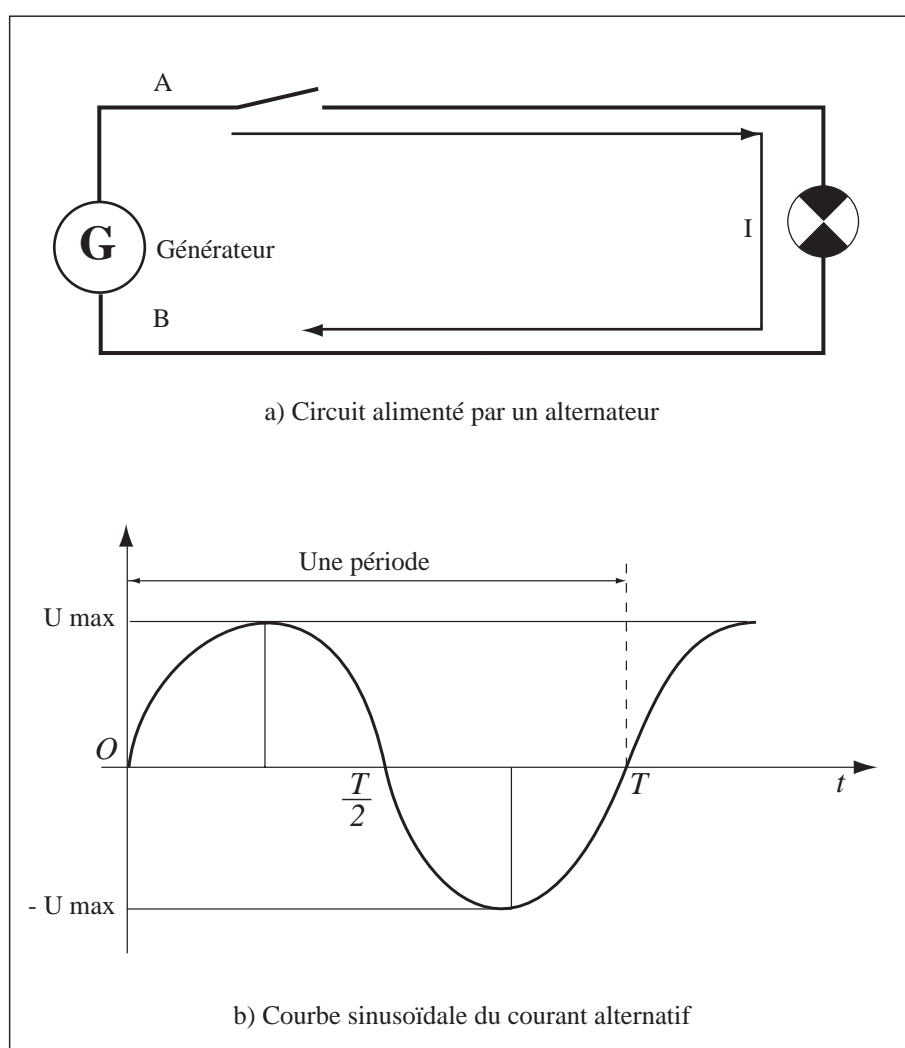


Figure 24 : Courant alternatif

Le courant électrique alternatif se trouve défini par sa fréquence F qui est le nombre de périodes T par seconde : $F = 1 / T$.

La fréquence s'exprime en **hertz** (symbole Hz).

En France, la fréquence du courant alternatif distribué en basse tension est de 50 hertz.

Il est produit par des groupes électrogènes mais surtout dans des unités de production (centrales thermiques, hydrauliques ou nucléaires) par des alternateurs triphasés (fig. 25).

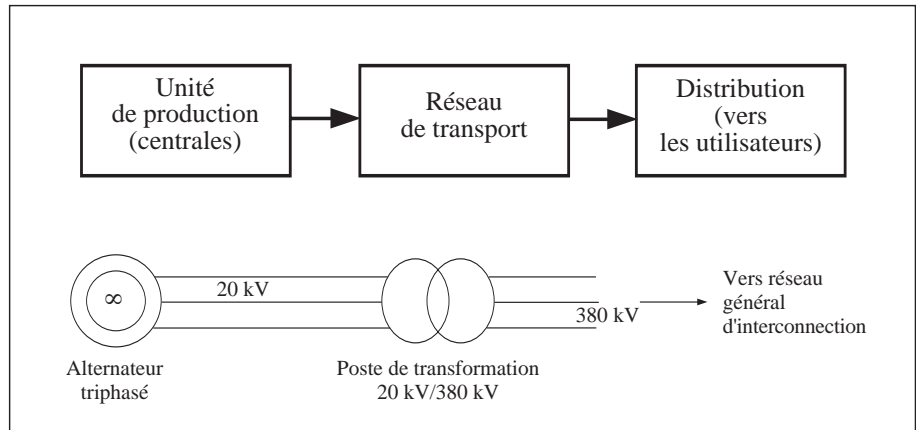


Figure 25 : Production de l'énergie électrique

La tension en sortie des alternateurs est de 20 000 volts. Afin de limiter au maximum les pertes d'énergie lors du transport par câbles cette tension est élevée avant d'être dirigée vers le réseau général d'interconnexion (fig. 26), puis acheminée par un réseau de transport.

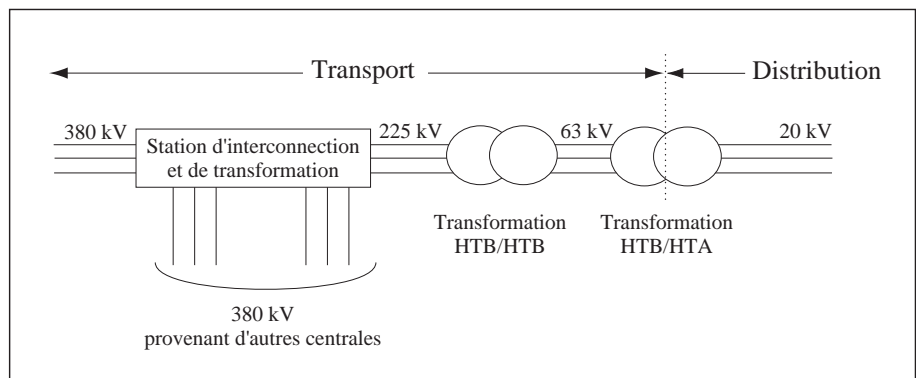


Figure 26 : Réseau de transport de l'énergie électrique

DÉPHASAGES DU COURANT ALTERNATIF

● RÉSISTANCE PURE

Le courant alternatif qui parcourt une résistance pure est en phase avec la tension. Les électrons changent de sens exactement au même instant que la polarité de la tension s'inverse (fig. 27).

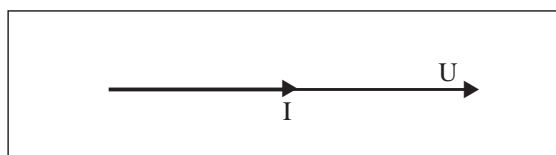


Figure 27 : Résistance pure

Le courant alternatif étant en phase avec la tension, l'angle de déphasage φ est égale à zéro degré : $\varphi = 0$.

● SELF OU INDUCTANCE PURE

Le courant alternatif qui parcourrait une self pure (fig. 28) serait déphasé "en arrière" d'un quart de période par rapport à la tension. Les électrons ne changeraient de sens qu'après que la polarité de la tension se soit inversée.

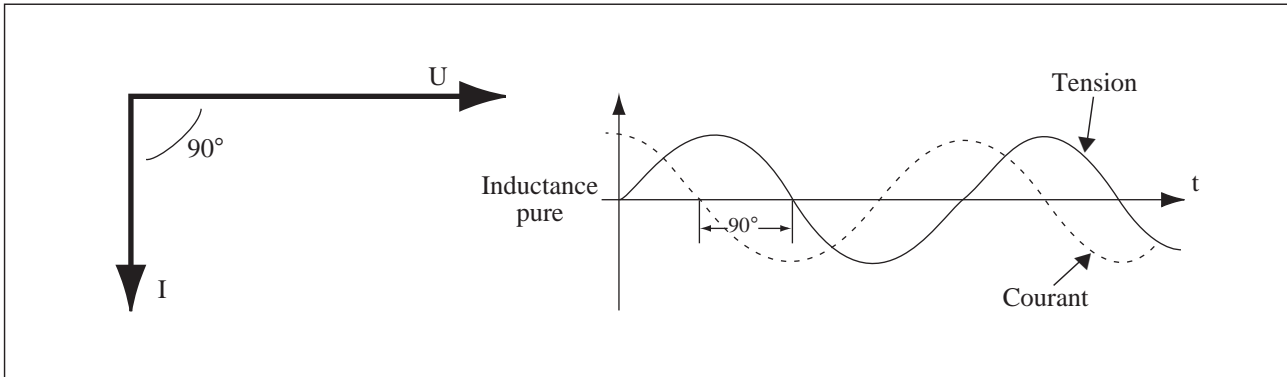


Figure 28 : Self pure

Nous représentons le courant I vers le bas pour montrer le retard par rapport à la tension U. Dans ce cas, l'angle de déphasage φ est égale à 90° : $\varphi = -90^\circ$.

● CONDENSATEUR PARFAIT

Le courant alternatif mis en jeu dans un condensateur parfait serait déphasé "en avant" d'un quart de période par rapport à la tension. Les électrons changent de sens avant que la polarité de tension se soit inversée (fig. 29).

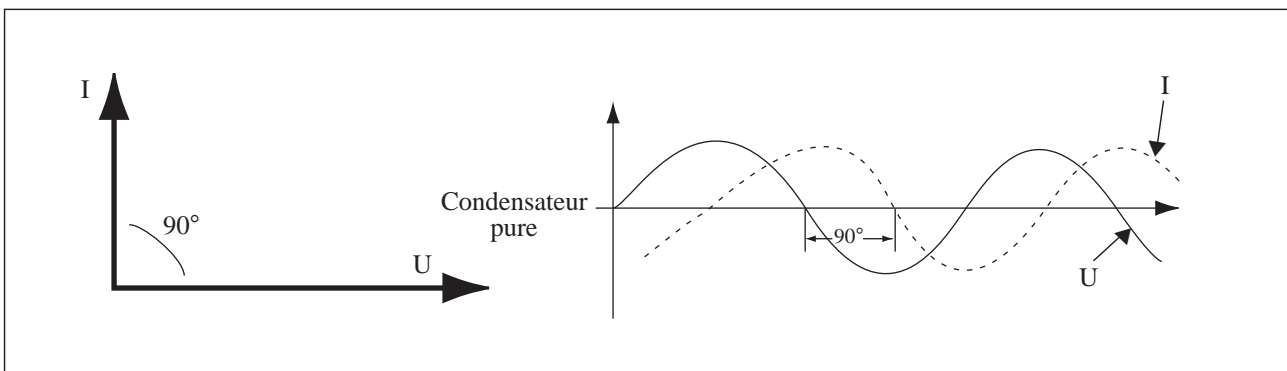


Figure 29 : Condensateur parfait

Nous représentons le courant I vers le haut pour indiquer l'avance de celui-ci par rapport à la tension U. Dans ce cas, l'angle de déphasage φ est égale à 90° mais ici, nous avons : $\varphi = +90^\circ$.

NOTA :

a) L'énergie électrique étant distribuée sous forme de courants triphasés à une fréquence de 50 hertz, c'est-à-dire 50 périodes par seconde. Une période dure donc 1/50 de seconde donc un quart de période dure 1/200 de seconde.

b) En pratique, un circuit présente toujours une résistance et un effet soit selfique soit capacitif. Les déphasages seront compris entre 0 et un quart de période.

● CIRCUIT SURTOUT SELFIQUE

C'est le cas d'un circuit résistif, présentant beaucoup d'effet de self et peu d'effet capacitif.

L'angle de déphasage φ est plus petit que 90° , car le circuit a de la résistance. Il est représenté vers le bas (fig. 30) pour montrer le retard car l'effet selfique est prépondérant par rapport à l'effet capacitif.

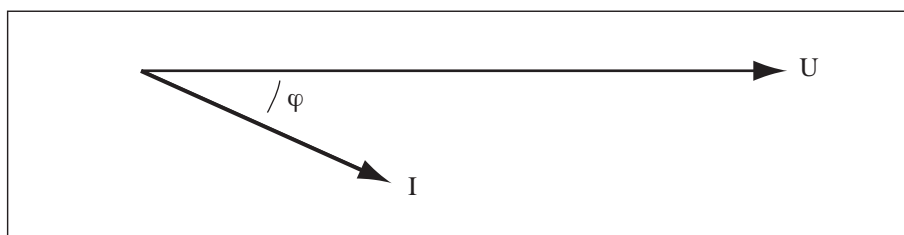


Figure 30 : Circuit selfique

● CIRCUIT SURTOUT CAPACITIF

C'est le cas d'un circuit résistif, présentant beaucoup d'effet capacitif et peu d'effet selfique.

L'angle de déphasage φ est plus petit que 90° , car le circuit présente de la résistance. Il est représenté (fig. 31) vers le haut pour indiquer l'avance car l'effet capacitif est plus important que l'effet selfique.

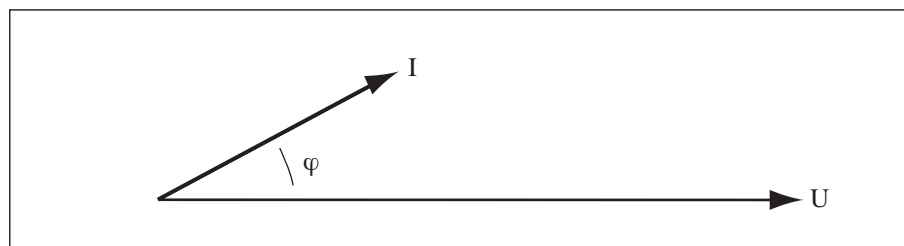


Figure 31 : Circuit capacitif

DIFFÉRENTES INTENSITÉS

● INTENSITÉS APPARENTE , ACTIVE ET REACTIVE

L'intensité I qui passe réellement dans un circuit, quel que soit son déphasage est l'**intensité apparente**. C'est celle que nous mesurons directement avec un ampèremètre.

Elle se décompose en une intensité active I_a et une intensité réactive I_r (fig. 32).

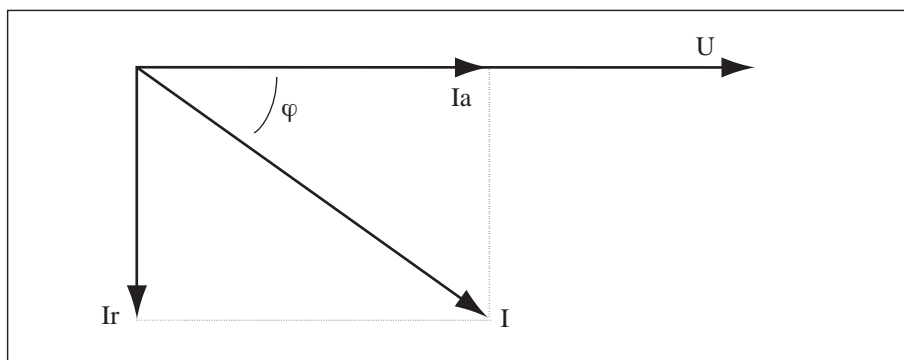


Figure 32 : Intensité apparente I

Dans une résistance, nous avons vu que l'angle de déphasage $\varphi = 0$. Il s'en suit que l'intensité apparente est donc pleinement active et l'intensité réactive est quasiment nulle :

$$I = I_a \text{ avec } (\varphi = 0)$$

Dans un condensateur, nous avons : $\varphi = +90^\circ$. L'intensité apparente est donc purement réactive et l'intensité active quasi nulle :

$$I = I_r \text{ avec } (\varphi = 90^\circ)$$

Dans un bobinage (inductance, self) qui est toujours plus ou moins résistif, l'angle de déphasage est compris entre 0° et -90° . L'intensité apparente se décompose en une intensité active I_a et en intensité réactive I_r .

C'est le cas général d'une installation industrielle notamment avec les nombreux bobinages des moteurs et des ballasts de l'éclairage par fluorescence. C'est pourquoi, afin d'améliorer le cosinus φ de l'installation (et par là-même d'éviter d'être pénalisé par le fournisseur d'énergie électrique) il convient d'installer des batteries de condensateurs.

● CAS D'UN MOTEUR

Dans le cas d'un moteur, l'angle de déphasage φ varie selon que celui-ci fonctionne à vide ou en charge :

● **A vide**, l'angle φ est important, l'intensité active I_a est petite par rapport à l'intensité réactive I_r . L'intensité apparente I est beaucoup plus grande que l'intensité active I_a .

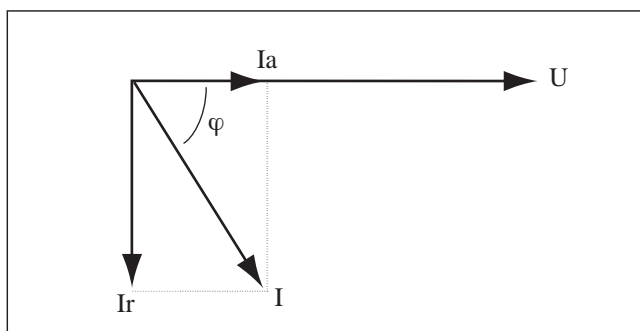


Figure 33 : Moteur à vide

● **En charge**, l'angle φ diminue. L'intensité réactive I_r reste sensiblement constante et l'intensité active I_a augmente beaucoup. L'intensité apparente I n'est guère plus grande que l'intensité active I_a .

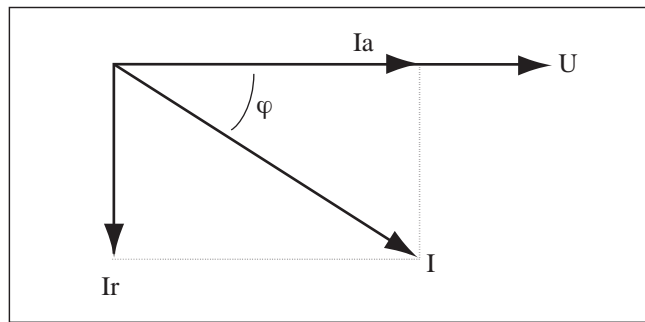


Figure 34 : Moteur en charge

PUISSANCES

Nous avons vu qu'il existe 3 types d'intensité en courant alternatif : intensité apparente I , intensité active I_a et intensité réactive I_r . Nous avons donc 3 types de puissances :

- **la puissance apparente P** qui se mesure en **volt ampère** (symbole : VA) et qui correspond à l'intensité apparente. Nous avons : $P = U.I.\cos \varphi$. En pratique, nous utilisons le kilovoltampère : $1 \text{ kVA} = 1\,000 \text{ VA}$,
- **la puissance active P_a** qui se mesure (comme en courant continu) en **watt** (symbole : W) et qui correspond à l'intensité active. En pratique, nous utilisons le kilowatt : $1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 1\,000 \text{ watts}$,
- **la puissance réactive P_r** qui se mesure en **volt ampère réactif** (symbole : VAr) et qui correspond à l'intensité réactive. En pratique, nous utilisons le kilo voltampère réactif : $1 \text{ kVAr} = 1\,000 \text{ Var}$.

TENSIONS

En alternatif, nous trouvons la tension maximale U_{\max} , la tension efficace U_{eff} , La tension composée U_c et la tension simple U_s :

● TENSION MAXIMALE

La tension maximale U_{\max} est la variation maximale atteinte par la tension soit lorsqu'elle est positive, soit lorsqu'elle est négative (fig. 35).

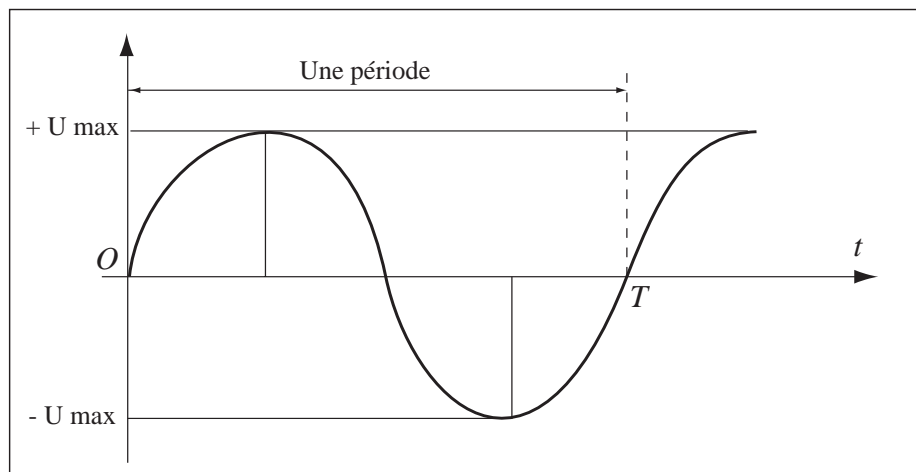


Figure 35 : Tension alternative

● TENSION EFFICACE

La tension efficace nous est donnée par la formule :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{\text{max}}}{1,414}$$

Quand nous parlons d'une tension de 230 volts, nous sous-entendons une tension efficace donc une tension maximale :

$$U_{\text{max}} = 1,414 \times 230 \# 325 \text{ volts.}$$

Pour 400 volts, nous avons :

$$U_{\text{max}} = 1,414 \times 400 \# 565 \text{ volts.}$$

● TENSIONS COMPOSÉES ET TENSIONS SIMPLES

En France, l'énergie électrique est généralement distribuée sous forme de courants triphasés à une fréquence de 50 hertz. Dans un système triphasé, nous avons trois tensions alternatives égales, de même fréquence et déphasées l'une par rapport à l'autre d'un tiers de période.

Les trois tensions entre phases sont appelées : "**tensions composées**" U_c .

Les trois tensions entre une phase et le neutre sont appelées : "**tensions simples**" U_s .

Les tensions simples sont $\sqrt{3}$ fois plus petites que les tensions composées. Nous avons :

$$U_s = U_c / \sqrt{3} = U_c / 1,732$$

Distribution	Tensions en volts		
	Simple	Composée	Maximale
220/127	127	220	325
400/230	230	400	565
630/400	400	630	375
1 000/580	1 000	580	1 414

Tableau 4 : Différentes tensions

Par exemple (se reporter au tableau 4), nous avons, pour une distribution en triphasé 400/230 volts (fig 36) :

- 3 tensions simples à 230 volts,
- 3 tensions composées à 400 volts.

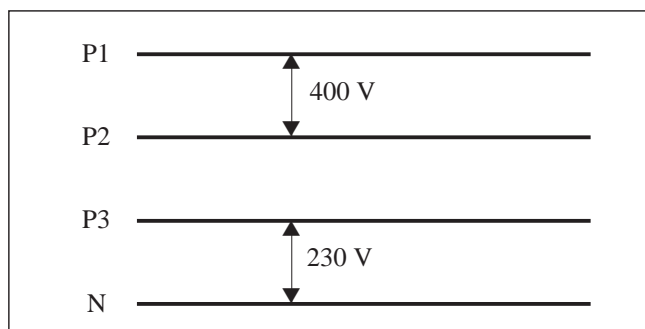


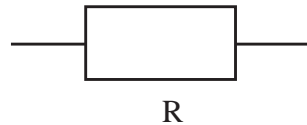
Figure 36 : Tensions simples et composées

IMPÉDANCES

En courant alternatif, l'impédance est la résistance électrique apparente du circuit. Elle a pour composantes la résistance R et la réactance X (effets selfiques et capacitif) du circuit. C'est le quotient de la tension efficace U aux bornes du circuit considéré par le courant efficace I qui le parcourt :

$$Z = U/I = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

● Cas d'une résistance



Nous avons : $Z = R$

● Cas d'une bobine (ou self)

a) Bobine pure (hypothèse d'école) :

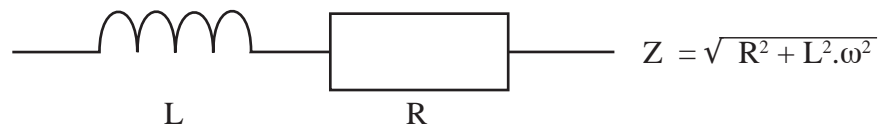


Avec :

- L = inductance en henry (symbole : H),
- ω = fréquence angulaire = $2.\pi.f$
- f = fréquence du courant en hertz (symbole Hz).

Rappel : En France, la fréquence du courant alternatif distribué est de 50 hertz.

b) Bobine réelle : La self pure n'existe pas car il faut toujours lui associer la résistance du fil servant à sa confection.



● Cas d'un condensateur

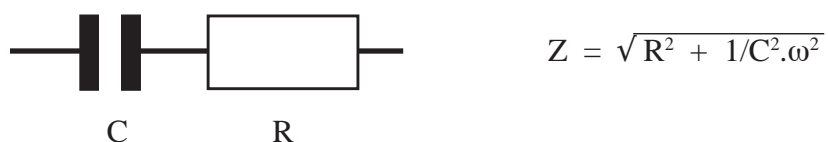
a) Condensateur parfait ($R = \infty$) :



Avec :

- C : condensateur parfait en farads (symbole : F),
- ω : fréquence angulaire.

b) Condensateur réel : Un condensateur est toujours associé à une résistance qui détermine son courant de charge.



NOTA : Le terme "capacité" est souvent utilisé dans le sens de condensateur.

ISOLEMENT ÉLECTRIQUE

L'isolement électrique est l'ensemble des qualités procurées par son isolation à un système conducteur de l'électricité. En fait, c'est la grandeur caractérisant l'isolation d'un matériel, d'un équipement ou d'une installation.

L'isolement d'une installation électrique dépend en fait :

- de l'isolation (fonctionnelle, renforcée ou supplémentaire),
- des fuites capacitatives (et quelque peu résistives) entre les conducteurs actifs et la terre (fig. 37).

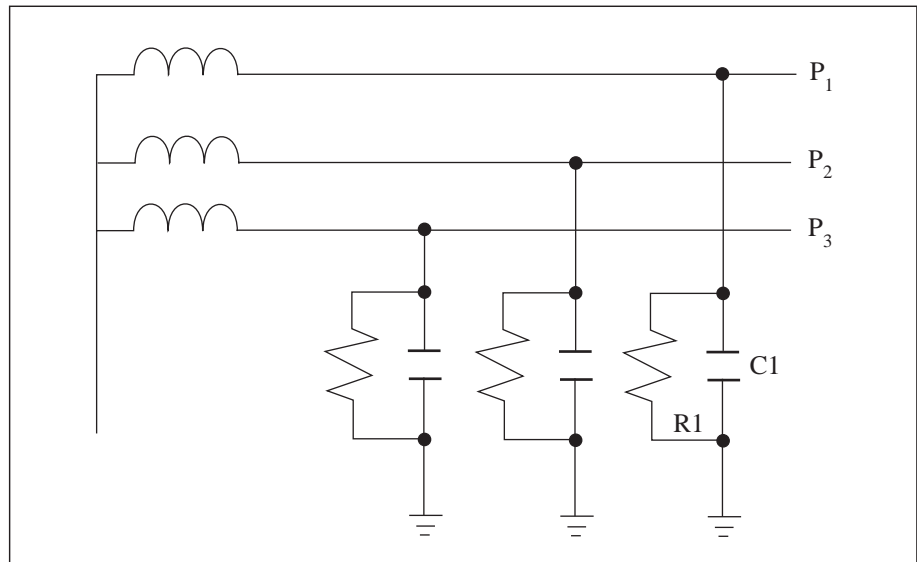


Figure 37 : Fuites capacitatives et résistives d'isolement

La capacité par rapport à la terre est d'environ 0,3 microfarad (μF) par kilomètre. La résistance d'isolement est de $10 \text{ M}\Omega$ par kilomètre.

C'est ainsi que pour un réseau triphasé de 1 km, nous avons un circuit équivalent à une capacité de 0,9 microfarad placé en parallèle sur une résistance de $3,3 \text{ M}\Omega$ dont l'influence est négligeable devant l'impédance de la capacité équivalente.

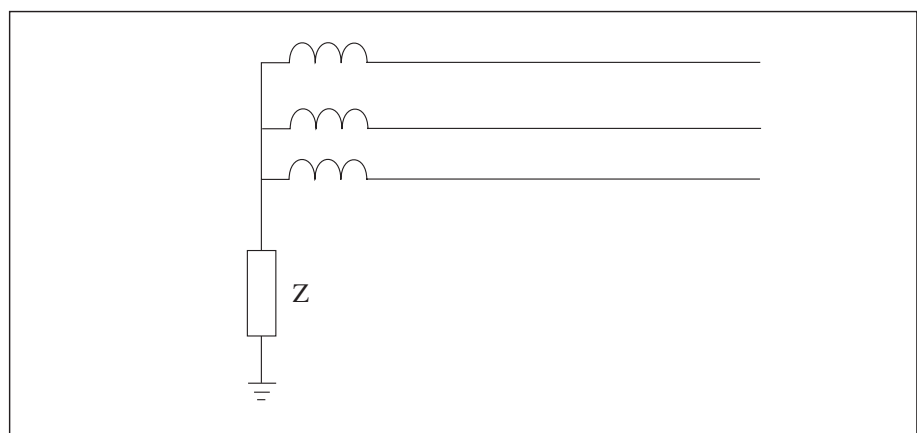
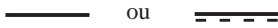




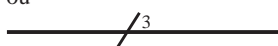




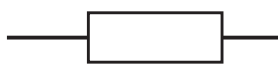


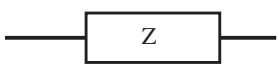

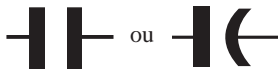



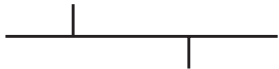
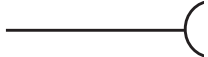



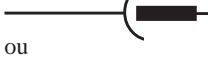

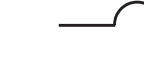


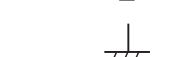



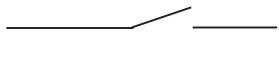
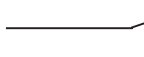
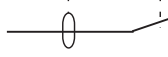




Figure 38 : Impédance de fuite

Nous avons donc une impédance équivalente Z (fig. 38) sensiblement égale à celle des capacités de fuites. Ainsi, avec une longueur de 4 kilomètres de câbles triphasés peut créer une impédance de 3 000 ohms.

Annexe 3 : PRINCIPAUX SYMBOLES GRAPHIQUES

LÉGENDE	SYMBOLE
<p>1 - Nature du courant</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Courant continu ● Courant alternatif 	 
<p>2 - Sens de propagation</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Propagation de l'énergie dans un seul sens 	
<p>3 - Conducteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Conducteur unifilaire, ligne, câble, fibre optique ● Représentation unifilaire de 3 conducteurs ● Conducteur neutre ● Conducteur de protection PE ● Conducteur de protection et neutre confondus PEN ● Canalisation triphasée avec neutre et conducteur de protection 	  <p style="text-align: center;">ou</p>     
<p>4 - Composants passifs</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Résistance (symbole général) ● Résistance pure (non réactive) ● Impédance ● Inductance, bobine, self ● Condensateur 	 <p style="text-align: center;">ou</p>      <p style="text-align: center;">ou</p> 
<p>5 - Dispositifs de connexion</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Dérivation 	 <p style="text-align: center;">ou</p> 

LÉGENDE	SYMBOLE
● Double dérivation	
● Prise femelle de connecteur, de prolongateur ou de socle mural	
● Prise mâle de connecteur, de prolongateur ou de socle mural	
● Prise de courant (connecteur, prolongateur ou socle mural)	
● Effet thermique	
● Effet électromagnétique	
● Effet magnétothermique	
6 - Divers	
● Terre (symbole général)	
● Masse, châssis	
● Générateur (symbole général)	
● Élément de pile ou d'accumulateur	
● Batterie d'accumulateur ou de piles	
● Interrupteur	
● Disjoncteur	
● Disjoncteur différentiel	
● Lampe (symbole général)	
● Fusible	
● Eclateur	
● Parafoudre	

Annexe 4 :

QUELQUES PIONNIERS

AMPERE André Marie

(Lyon 1775 - Marseille 1836)

Physicien et mathématicien français

- En 1820, après la célèbre expérience d'OERSTED, il édifia la théorie de l'électromagnétisme.
- Il démontra les actions réciproques des courants électriques et des aimants.
- Il conçut le galvanomètre, inventa le premier télégraphe électrique et, avec ARAGO, l'électroaimant.
- MAXWELL le surnomma : "le NEWTON de l'électricité".
- Il fut professeur de physique à l'école polytechnique et au collège de France.
- L'unité du courant électrique est l'ampère (A).

ARAGO François

(Estagel 1786 - Paris 1853)

Astronome, physicien et homme politique français

- Bien qu'il soit à l'origine de l'abolition de l'esclavage dans les colonies françaises et qu'il soit Directeur de l'Observatoire de Paris, François ARAGO est surtout connu pour ses travaux de physique.
- Il découvrit la polarisation rotatoire et chromatique de la lumière.
- Il mesura la densité de plusieurs gaz.
- Il découvrit l'aimantation du fer par le courant électrique et il inventa, avec AMPERE, l'électroaimant.

COULOMB (Charles de)

(Angoulême 1736 - Paris 1806)

Physicien français

- Après des études sur le frottement et sur la torsion, il établit les bases expérimentales et théoriques du magnétisme et de l'électrostatique.
- Il découvrit la loi qui porte son nom : loi aux termes de laquelle deux charges électriques ponctuelles exercent l'une sur l'autre des forces inversement proportionnelles au carré de la distance.
- Il découvrit l'électrisation superficielle des conducteurs et l'effet d'écran électrique produit par les conducteurs creux.
- Il fut membre de l'Académie des Sciences en 1781.
- L'unité de quantité d'électricité est le coulomb (C).

FARADAY Michael

(Newington 1791 - Hampton Court 1867)

Physicien et chimiste anglais

- Il aurait d'abord été relieur.
- Il donna le principe du moteur électrique, énonça les lois de l'électrolyse et édifia la théorie de l'influence électrostatique.
- Il découvrit en 1831 l'induction électromagnétique qui le conduira à l'invention de la dynamo.

GALVANI Luigi

(Bologne 1737 - id. 1798)

Physicien et médecin italien

- En 1786, il découvrit, dans une célèbre expérience, que les muscles d'une grenouille écorchée se contractent au contact de deux métaux différents. Il attribua ce phénomène à une forme d'électricité animale, interprétation que combattit son compatriote VOLTA qui, en approfondissant l'expérience, y trouva une application intéressante : la pile électrique.

GRAMME Zénobe

(Jehay-Bodegnée 1826 - Bois-Colombes 1901)

Inventeur belge

- Il mit au point en 1869 le collecteur qui permet la réalisation des machines électriques à courant continu.
- Il construisit en 1871 la première dynamo industrielle.

JOULE James Prescott

(Salford 1818 - Sale 1889)

Physicien anglais

- En 1841, il découvrit les lois sur le dégagement de chaleur produit par le passage d'un courant électrique dans un conducteur.
- En 1842, il détermina l'équivalent mécanique de la calorie.
- L'unité d'énergie est le joule (J).

HERTZ Hienrich

(Hambourg 1857 - Bonn 1894)

Physicien allemand

- Grâce à un oscillateur de sa conception, il a découvert, en 1887, les ondes électromagnétiques qui portent son nom et a démontré qu'elles possédaient les mêmes propriétés que la lumière, ouvrant ainsi la voie à la télégraphie sans fil par les ondes hertziennes.
- Il démontra que les ultraviolets de la lumière provoquent une émission de charges électriques négatives par certains métaux et observa égale-

ment l'effet photoélectrique ainsi que le passage des électrons à travers la matière d'où la découverte des électrons (qui seront expliqués par Albert EINSTEIN en 1905).

- L'unité de fréquence est le hertz (Hz).

LAPLACE Pierre Simon (Marquis de)

(Beaumont-en-Auge 1749 - Paris 1827)

Astronome, mathématicien et physicien français

- Outre de nombreux travaux ayant trait à la mécanique céleste et au calcul des probabilités, il formula les deux lois fondamentales de l'électromagnétisme qui portent son nom : lois régissant les actions réciproques entre les champs magnétiques et les courants électriques.
- En 1783, il fut membre de l'Académie des Sciences et en 1816, il fut élu à l'Académie française.

MAXWELL James Clerk

(Edimbourg 1831 - Cambridge 1879)

Physicien écossais

- En 1865, il élaborait la théorie électromagnétique de la lumière, pour laquelle il établit les équations générales du champ électromagnétique.
- En 1873, il élaborait les lois générales du champ électromagnétique et fut, de ce fait, le premier physicien à avoir unifié les théories de l'électricité et du magnétisme.
- Il découvrit la magnétostriction.

OERSTED ou ØRSTED Hans Christian

(Rudkøbing 1777 - Copenhague 1851)

Physicien danois

- Il fut, en 1820, l'auteur d'une célèbre expérience, toujours d'actualité (puisque régulièrement présentée au Palais de la Découverte à Paris), où nous voyons l'aiguille aimantée déviée par le courant électrique, expérience qui est à la base de l'électromagnétisme.

OHM Georg Simon

(Erlangen 1789 - Munich 1854)

Physicien allemand

- Il introduisit une terminologie scientifique dans les phénomènes d'électrocinétique en comparant le courant électrique à un débit de liquide et la différence de potentiel à une différence de niveau (comparaison toujours d'actualité).
- En 1827, il définit de façon précise les grandeurs électriques et formula la loi fondamentale des courants qui porte son nom.
- La résistance ou l'impédance d'un circuit s'exprime en ohms (Ω).

VOLTA Alessandro (Comte)

(Côme 1745 - id. 1827)

Physicien italien

- Après avoir inventé l'électrophore et en 1776 l'endiomètre, il commença en 1792 une étude approfondie de l'expérience réalisée, en 1786, par son compatriote GALVANI.
- Ses recherches le conduisirent en 1800, à la découverte de la pile électrique.
- L'unité de tension est le volt (V).

WATT James

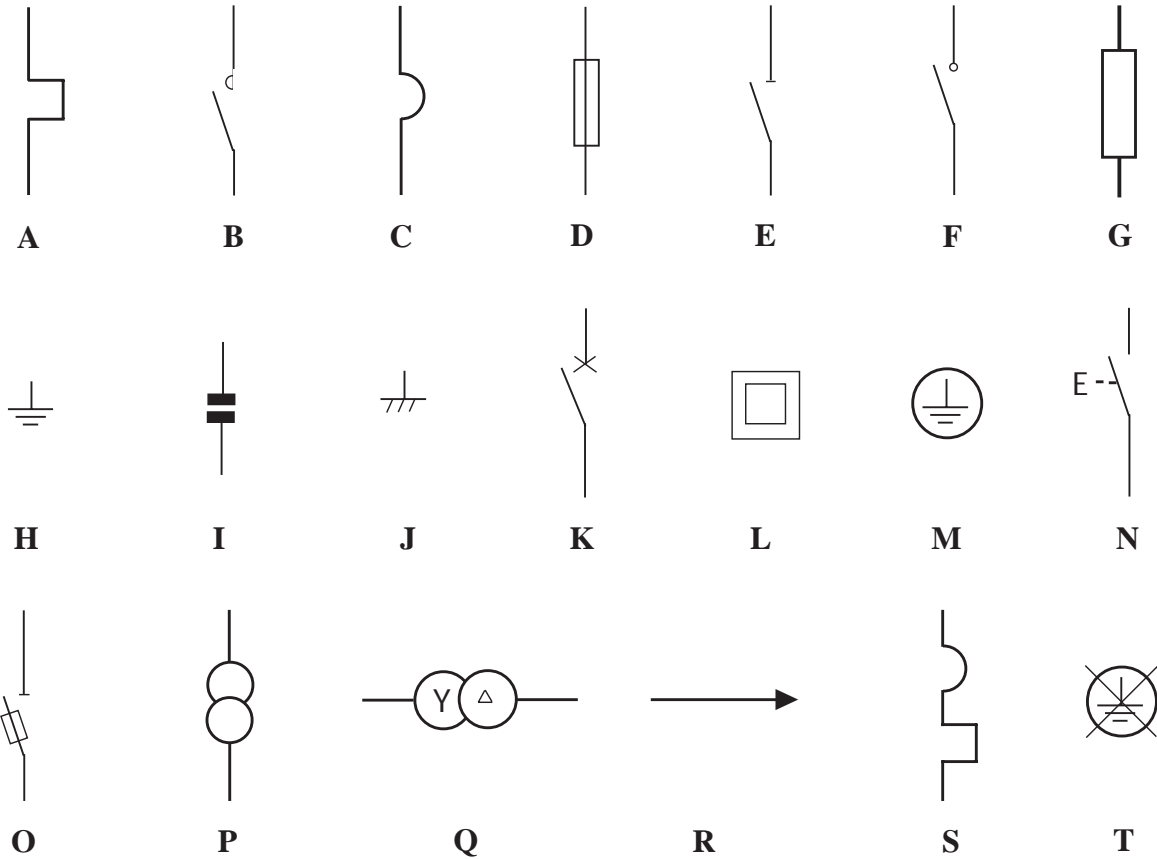
(Greenopck 1736 - Heathfield 1819)

Ingénieur et mécanicien écossais

- A une époque où l'énergie mécanique était encore fournie par l'homme, les animaux de trait, les roues hydrauliques et les moulins à vent, il perfectionna la machine à vapeur (notamment avec le condenseur en 1769, l'action alternative de la vapeur sur les deux faces du piston en 1780, le volant, le régulateur à boules, etc.) ce qui en fit une machine industrielle.
- L'unité de puissance est le watt (W).

Annexe 5 : EXERCICES SUR LES SYMBOLES GRAPHIQUES

Exercice n° 1



1	Effet électromagnétique	11	Transformateur (cas général)
2	Sectionneur à fusibles	12	Mise à la terre (borne d'une machine)
3	Condensateur	13	Fusible
4	Transformateur triangle-étoile	14	Impédance (cas général)
5	Appareil de classe II	15	Interrupteur
6	Relais magnétothermique	16	Bouton poussoir à fermeture à retour automatique
7	Masse	17	Relais thermique
8	Fiche mâle de connecteur	18	Mise à la terre
9	Ne pas mettre à la terre (appareil équivalent à classe II)	19	Sectionneur
10	Disjoncteur	20	Contacteur

RÉPONSES (Exercice n° 1) : A 17 - B 20 - C 1 - D 13 - E 19 - F 15 - G 14 - H 18 - I 3 - J 7 - K 10 - L 5 - M 12 - N 16 - O 2 - P 11 - Q 4 - R 8 - S 6 - T 9

Exercice n° 2



A



B



C



D



E



F



G



H



I



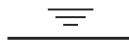
J



K



L



M



N



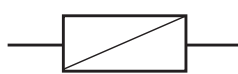
O



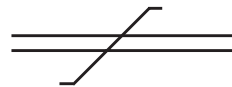
P



Q



R



S



T

1	Conducteur neutre	11	Ligne souterraine
2	Fiche femelle de connecteur	12	Autotransformateur
3	Lampe (symbole général)	13	Matériel de classe III
4	Conducteur de protection PE	14	Conducteur triphasé + neutre + conducteur de protection PE
5	Représentation unifilaire de 2 conducteurs	15	Disjoncteur différentiel
6	Redresseur	16	Conducteur de protection et de neutre PEN
7	Fusible à percuteur	17	Interrupteur-sectionneur
8	Disjoncteur magnétique	18	Discontacteur électromagnétique
9	Machine (symbole général)	19	Représentation multifilaire (3 conducteurs)
10	Croisement de 2 conducteurs sans connexion électrique	20	2 conducteurs torsadés

RÉPONSES (Exercice n° 2) : A 8 - B 13 - C 2 - D 10 - E 15 - F 18 - G 5 - H 1 - I 19 - J 4 - K 17 - L 7 - M 11 - N 3 - O 12 - P 16 - Q 9 - R 6 - S 20 - T 14

OPÉRER EN SÉCURITÉ SUR UN OUVRAGE ÉLECTRIQUE

0 - Formation et habilitation

4^{ème} édition - 48 pages

1 - Notions d'électricité

48 pages

2 - Le matériel électrique

2^{ème} édition - 52 pages

3 - Les différents régimes du neutre

3^{ème} édition - 24 pages

4 - Notions de secourisme

5^{ème} édition - 14 pages

5 - Incendie sur un ouvrage électrique

3^{ème} édition - 28 pages

6 - Le court-circuit

28 pages

7 - Les interventions et opérations assimilées en basse tension

76 pages

8 - Fonctions de l'appareillage électrique

(en cours)

©Éditions CRAM du Centre
30, boulevard Jean Jaurès
45033 ORLÉANS CEDEX 1
Dépôt légal : Décembre 2001
Tirage : 1 500 exemplaires
ISBN : 2-909066-57-6

***Caisse régionale
d'assurance maladie
du Centre***

Risques professionnels

*36, rue Xaintrilles
45033 Orléans cedex 1*

*Tél. : 02 38 79 70 00
Fax : 02 38 79 70 30*

e-mail : prev@cram-centre.fr