

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



Cours Etat de l'Art du Génie Electrique



Présenté par :

Dr. RAHOU Fatima Zohra

Année universitaire : 2023 /2024

Avant-propos

Le génie électrique est l'ensemble des techniques appliquées par des lois physiques regroupant les domaines du génie électronique, du génie électrotechnique et du génie automatique.

Ces cours de la matière '**Etat de l'Art du Génie Electrique**' sont destinés aux étudiants de deuxième année de la Licence LMD dans les filières électronique, électrotechnique et automatique.

Ce polycopié regroupe le programme officiel enseigné dans le département de Génie Electrique et Electronique de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.

Le contenu est divisé en deux parties principales : la première partie comprend un aperçu général sur les différentes filières existantes en génie électrique tels que : Electronique, Electrotechnique, Automatique, Télécommunications, ... etc.

La deuxième partie souligne l'impact du génie électrique sur le développement de la société et l'impact de l'électricité dans l'amélioration de la vie quotidienne de l'homme.

Ce manuscrit est rédigé sous forme de cours détaillés, avec des exercices résolus, il est présenté avec un style de rédaction clair, facile et compréhensible.

Ce polycopié pédagogique sera un document précieux pour tous les étudiants en Licence.

Dr. RAHOU Fatima Zohra

Semestre: 3

Unité d'enseignement: UED 2.1

Matière 1: Etat de l'art du Génie électrique = NS371

VHS: 22h30 (Cours: 1h30)

Crédits: 1

Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement

Donner à l'étudiant un aperçu général sur les différentes filières existantes en Génie électrique tout en soulignant l'impact de l'électricité dans l'amélioration de la vie quotidienne de l'homme.

Connaissances préalables recommandées

Aucune

Contenu de la matière :

1- La famille Génie Electrique : Electronique, Electrotechnique, Automatique, Télécommunications, ... etc.

2- Impact du Génie Electrique sur le développement de la société : Avancées en Microélectronique, Automatisation et supervision, Robotique, Développement des télécommunications, Instrumentation dans le développement de la santé, ...

Mode d'évaluation : Examen final: 100 %.

Références bibliographiques:

(Selon la disponibilité de la documentation au niveau de l'établissement, Sites internet...etc.)

Table des matières

Introduction générale	2
Chapitre I : Electronique	
<i>I.1. Définition</i>	5
<i>I.2. Champs d'application</i>	
<i>I.3. Discipline ou domaine de l'électronique</i>	5
<i>I.4. Grandeurs et lois électriques fondamentales</i>	6
<i>I.4.1. Le courant électrique</i>	6
<i>I.4.2. La tension électrique ou d.d.p (différence de potentiel)</i>	6
<i>I.4.3. La résistance électrique</i>	7
<i>I.4.4. Résistance d'un fil conducteur</i>	8
<i>I.4.5. Puissance électrique</i>	9
<i>I.4.6. Énergie électrique</i>	10
<i>I.4.7. Circuit électrique</i>	11
<i>I.5. Composants électroniques</i>	12
<i>I.5.1. Résistance</i>	12
I.5.1.1. Raccordement de résistances.....	13
I.5.1.2. Diviseur de tension.....	13
I.5.1.3. Diviseur de courant.....	14
I.5.1.4. Différents types de résistances.....	15
<i>I.5.2. Condensateur</i>	20
I.5.2.1. Raccordement de condensateurs.....	20
I.5.2.2. Différents types de condensateurs.....	21
<i>I.5.3. Bobine</i>	22
I.5.3.1. Raccordement de inductances.....	22
<i>I.5.4. Diode</i>	23
I.5.4.1. Différents types de diodes.....	23
<i>I.5.5. Transistor</i>	24
I.5.5.1. Différents types de transistors.....	25
<i>I.5.6. Portes logiques</i>	26
<i>I.5.7. Amplificateurs</i>	27
I.5.7.1. Amplificateur opérationnel.....	27

I.5.7.2. Amplificateur de mesure.....	28
I.5.7.3. Amplificateur audio.....	28
I.5.8. <i>Capteur</i>	28
I.5.8.1. Différents types de capteurs.....	29
I.5.9. <i>Circuit intégré</i>	29
I.5.9.1. historique des circuits intégrés.....	30
I.5.9.2. Composants analogiques programmables (FPAA).....	30
I.6. Type de régimes	30
I.6.1. <i>Régime continu</i>	31
I.6.2. <i>Régime alternatif</i>	31
I.6.3. <i>Exemples</i>	31
I.6.3.1. Comportement d'une résistance.....	31
I.6.3.2. Comportement du condensateur.....	31
I.6.3.3. Comportement d'une inductance.....	32
Chapitre II : Electrotechnique	
II.1. Introduction	35
II.2. Réseau Electrique	36
II.2.1. <i>Organisation globale d'un réseau électrique</i>	37
II.2.1.1. Production de l'énergie électrique.....	37
II.2.1.2. Le réseau de transport.....	42
II.2.1.3. Les réseaux de distribution.....	42
II.2.1.4. Sous-stations.....	43
II.2.1.5. Stations de transformation.....	43
II.2.2. <i>Le réseau domestique</i>	43
II.2.2.1. Régime monophasé.....	43
II.2.2.2. Régime triphasé.....	46
II.2.2.2.1. Définition.....	46
II.2.2.2.2. Les tensions simples et composées.....	47
II.2.2.3. Puissances en régime triphasé.....	48
II.2.2.4. Théorème de Boucherot.....	49
II.3. Machine électrique	51
II.3.1. <i>Machine statique</i>	52
II.3.1.1. Structure et fonctionnement.....	52

II.3.1.2. Principe de Fonctionnement	52
II.3.1.3. Types de transformateur	52
II.3.1.4. Plaque signalétique d'un transformateur.....	53
II.3.1.5. Applications.....	53
II.3.2. Machine tournante.....	54
II.4. Commande et électronique de puissance	58
II.4.1. Les convertisseurs statiques.....	59
II.4.1.1. Les redresseurs	59
II.4.1.2. Les onduleurs	59
II.4.1.3. Les hacheurs	59
II.4.1.4. Les gradateurs.....	59
II.4.2 Techniques de commande avancées	59
Chapitre III : Automatique	
III.1. Introduction	62
III.2. Objectifs de l'automatisation.....	62
III.3. Système automatisé	62
III.3.1. Partie Opérative	63
III.3.2. Partie Commande	64
III.3.3. Pupitre.....	66
III.3.4. Architecture générale d'un système automatisé.....	66
III.3.5. Analyse Fonctionnelle d'un système automatisé (La méthode SADT).....	69
III.4. Exercices	73
Chapitre IV : Télécommunication	
IV.1. Introduction	80
IV.2. Généralités.....	80
IV. 3. L'onde électromagnétique.....	80
IV. 4. Bandes de fréquences	81
IV.5. Chaîne de transmission d'informations.....	83
IV.6. Supports de transmission	85
IV.6.1. La ligne bifilaire	85
IV.6.2. Le câble coaxial	86
IV.6.3. La fibre optique	86
IV.6.4. Le guide d'onde métallique	87

<i>IV.6.5. La ligne imprimée</i>	89
Chapitre V : Impact de génie électrique sur la société	
<i>V.1. Introduction</i>	90
<i>V.2. Mutation sociale</i>	90
<i>V.3. Téléphone</i>	90
<i>V.4. Radio et télévision</i>	91
<i>V.5. Technologies de l'information et de communication</i>	91
Références bibliographiques	92

Introduction Générale

Introduction Générale

En moins de trois siècles, le génie électrique est devenu l'une des branches les plus importantes du génie moderne. Il a considérablement contribué au développement rapide qu'ont connu toutes les autres disciplines du génie, des sciences et des arts modernes [1].

Au cours du dernier siècle, le génie électrique a joué un rôle très important dans le développement de notre société dans les domaines sociaux, économiques et industriels. Depuis la découverte de l'électricité, notre société a connu une mutation technologique très rapide qui dépasse de très loin toute l'imagination des premiers inventeurs de la machine électrique [1]. Voici quelques raisons pour lesquelles le Génie Electrique est devenu l'une des branches les plus importantes du génie moderne :

1. Révolution industrielle : Au 18^{ème} siècle, la révolution industrielle a commencé à transformer le monde avec l'introduction de machines et d'équipements alimentés par l'électricité. Le génie électrique a joué un rôle essentiel dans le développement et la gestion de ces systèmes électriques.
2. Électrification : L'électrification des villes et des foyers a été un tournant majeur dans l'histoire de l'électricité. Le génie électrique a permis de développer les infrastructures nécessaires pour générer, transmettre et distribuer l'électricité à grande échelle.
3. Technologie de communication : Les avancées dans les domaines des télécommunications et de l'électronique ont été rendues possibles grâce au génie électrique. Des systèmes de communication tels que les téléphones, la radio, la télévision et Internet sont tous basés sur des principes électriques.
4. Énergie renouvelable : Avec la prise de conscience croissante des problèmes environnementaux, le génie électrique joue un rôle crucial dans le développement et l'utilisation de sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire, éolienne et hydraulique.
5. Automatisation et contrôle : Le génie électrique est également impliqué dans le développement de systèmes de contrôle et d'automatisation dans divers domaines tels que l'industrie, les transports, l'aérospatiale, etc. Ces systèmes permettent d'améliorer l'efficacité, la sécurité et la productivité des processus.

Aujourd'hui, il est devenu inconcevable de vivre et de prospérer sans maîtriser ou au moins se familiariser avec cette technologie électrique qui, de plus en plus, prend contrôle de chaque moment de notre vie.

On peut, pour l'essentiel, regrouper toutes les applications de l'électricité en deux domaines principaux :



Figure 1. Les applications de l'électricité [2].

- ✚ Celui du traitement de l'énergie électrique ;
- ✚ Celui du traitement de l'information électrique.

Le traitement de l'énergie électrique recouvre l'ensemble des techniques liées à la production, à la distribution et à l'utilisation de l'énergie électrique [1].

Le traitement de l'information électrique, pris ici dans son sens le plus large, comprend les techniques d'acquisition (mesures), de transmission (télécommunications) et d'exploitation (ordinateurs, systèmes automatiques, etc.) de l'information portée par des signaux électriques. Chacun de ces domaines est à l'origine d'une véritable révolution industrielle ayant de profondes répercussions sur la vie économique et sociale [1].

En résumé, le génie électrique est devenu l'une des branches les plus importantes du génie moderne en raison de son rôle essentiel dans l'électrification de notre société, le développement des technologies de communication, la transition vers les énergies renouvelables et l'automatisation des processus. Il continue d'évoluer et de jouer un rôle central dans notre vie quotidienne.

Le génie électrique est un domaine qui regroupe 03 spécialités, dont le facteur essentiel qui lie ces trois techniques est l'énergie.

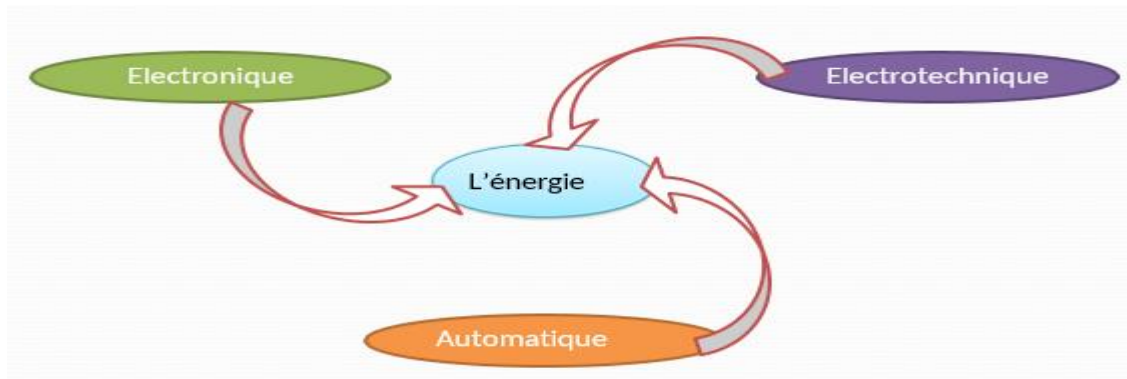


Figure 2. Spécialités du génie électrique [2].

Chapitre I : Electronique

Chapitre I : Electronique

1.1. Définition

L'électronique est l'ensemble des techniques qui utilisent des signaux électriques pour capter, transmettre et exploiter une information.

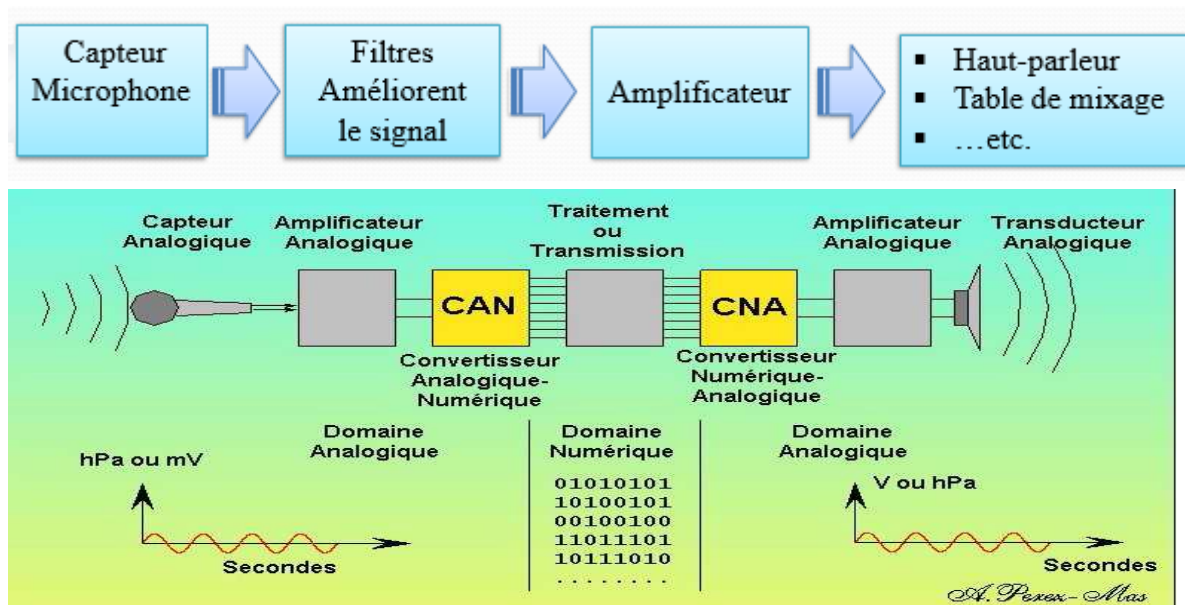


Figure I.1. Traitement et transmission de l'information [3].

1.2. Champs d'application

Télécommunications	Téléphone, télévision, télécommande
Systèmes de détection	Radar, sonar
Traitement de l'information	Ordinateurs, calculatrices
Instruments de mesures	Voltmètre, Ampèremètre
Machines de bureau	Ordinateur, fax,
Electronique biomédicale	Pacemaker ou pile cardiaque, prothèses

Tableau 1.1. Les champs d'application des dispositifs électroniques [4].

1.3. Discipline ou domaine de l'électronique

L'électronique couvre 5 principaux domaines :

- ✚ L'énergie électrique ;
- ✚ L'électronique (c'est-à-dire les composants qui se trouvent à l'intérieur des appareils électriques) ;
- ✚ Les biens de consommations (appareils électroménagers, électronique grand public, etc.)

- ✚ Les câbles (lignes à haute-tension, fibre optique, etc.) ;
- ✚ Les technologies médicales (scanners, etc...).

1.4. Grandeurs et lois électriques fondamentales

1.4.1. Le courant électrique

Un **courant électrique** est un mouvement d'ensemble de porteurs de charges électriques, généralement des électrons, au sein d'un matériau conducteur.

✚ **L'intensité du courant électrique**

L'intensité du courant est la quantité d'**électricité** qui traverse la section du conducteur par unité de temps.

$$I = Q / t \text{ avec } Q = n \cdot e \quad (\text{I.1})$$

I : l'intensité du courant, l'unité de mesure l'ampère (symbole: A).

Q : quantité d'électricité, l'unité de mesure coulomb (symbole: C)

t : le temps , l'unité de mesure seconde (symbole: S)

n : nombre d'électrons transférés

e : la charge d'électron ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C).

Pour mesurer l'intensité du courant on utilise un **ampèremètre** , et Il est branché en série avec les autres dipôles du circuit.

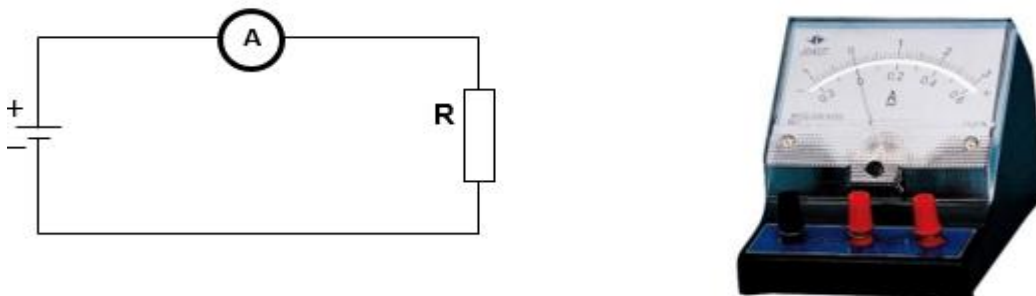


Figure I.2. Branchement d'un ampèremètre dans un circuit électrique.

1.4.2. La tension électrique ou d.d.p (différence de potentiel)

La **différence de potentiel (ddp)** représente la **différence** de niveau **électrique** entre deux points d'un circuit. Sur un générateur comme une pile, nous avons deux pôles : le pôle positif et le pôle négatif. La **différence de la densité d'électrons** entre ces deux pôles représente la tension électrique.

L'unité de mesure de la tension électrique est le Volt (symbole : V).

Pour mesurer la tension électrique on utilise un **Voltmètre** , et il est branché en parallèle avec le dipôle aux bornes duquel on mesure la différence de potentiel.

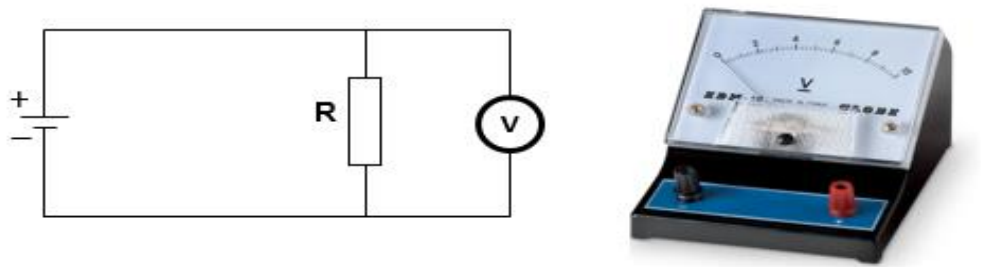


Figure I.3. Branchement d'un voltmètre dans un circuit électrique.

I.4.3. La résistance électrique

En électricité, le terme **résistance** désigne *une propriété physique* d'un matériau conducteur à s'opposer au passage d'un courant électrique sous une tension électrique donnée.

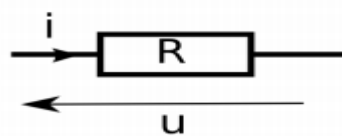


Figure I.4. Symbole de la résistance.

L'unité de mesure de la résistance électrique, le ohm (symbole: Ω).

Pour mesurer la résistance électrique, on utilise un **Ohmmètre**, si la résistance est utilisée dans un montage, il faut l'en extraire avant de connecter à l'ohmmètre.



Figure I.5. Mesure de la résistance par un Ohmmètre [5].

La relation entre la tension électrique et l'intensité électrique aux bornes d'un conducteur ohmique est donnée par :

$$U = R.I \quad (\text{Loi d'Ohm}) \quad (I.2)$$



Loi d'Ohm—C'est la **loi fondamentale** de l'**électricité** qui porte le nom de Georg Simon Ohm, qui s'exprime ainsi : La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de la résistance de ce conducteur ohmique par l'intensité du courant qui le traverse [6].

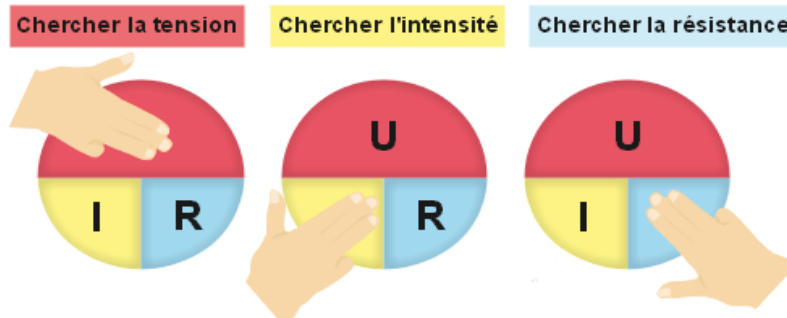
✚ Applications de la loi d'Ohm

Calculons la résistance du filament d'une lampe 6V - 250 mA en fonctionnement normal.

$$U = 6V \quad I = 250 \text{ mA} = 0,250 \text{ A} \quad R = U/I \quad \text{donc} \quad R = 6V / 0,250 \text{ A} \quad R = 24 \text{ ohms}$$

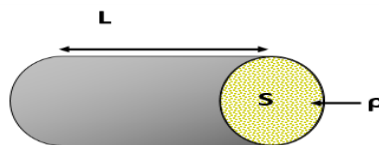
Calculons l'intensité du courant qui traverse une résistance de 120 ohms soumis à une tension de 9

$$V \quad U = 9 \text{ V} \quad R = 120 \quad I = U/R \quad \text{donc} \quad I = 9V / 120 \quad I = 0,075 \text{ A} = 75 \text{ mA.}$$



1.4.4. Résistance d'un fil conducteur

Soit $R(\Omega)$ la résistance d'un fil de section $S \text{ (m}^2\text{)}$ et de longueur $l \text{ (m)}$, fabriqué dans un matériau de résistivité : $\rho \text{ (\Omega m)}$



$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (I.3)$$

Matériau	Résistivité $\times 10^{-8} \Omega \cdot m$
argent	1,6
cuivre	1,7
or	2,4
aluminium	2,7
tungstène	5,6
zinc	6
fer	10
plomb	21
germanium	46

Tableau 1.2. Résistivité des matériaux [7].

✚ **Application :** calculons la résistance d'un fil de cuivre de $2,5 \text{ mm}^2$ de section et de 20 m de longueur.

$$\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega m \qquad l = 20 \text{ m} \qquad S = 2,5 \times \text{mm}^2$$

$$R = 1,7 \times 10^{-8} \times \frac{20}{2,5 \times 10^{-6}} \approx 1,14 \Omega$$

1.4.5. Puissance électrique

La puissance P consommée par un appareil en courant continu est égale au produit de la tension U à ses bornes par l'intensité I du courant qui le traverse.

$$P = U \cdot I \quad (\text{I.4})$$

P : puissance en watt

U : tension en volt

I : intensité en ampère

La puissance électrique est mesurée par le Wattmètre.

Aux bornes d'un conducteur ohmique la puissance dissipée est donnée par :

$$P = R \cdot I^2 \quad (\text{Loi de Joule}) \quad (\text{I.5})$$



Loi de Joule — Cette loi porte le nom de James Prescott Joule, elle s'exprime par : la puissance dispersée par effet Joule dans un conducteur ohmique correspond au produit de sa résistance par le carré de l'intensité électrique qui le traverse [8].

L'**effet Joule**, aussi connu sous le nom de *première loi de Joule*, définit la relation entre le courant traversant un conducteur et la chaleur émise par celui-ci. Ce phénomène est nommé ainsi en l'honneur de James Prescott Joule qui l'a étudié dans la première moitié du 19^{ème} siècle.

Concrètement, quand un courant électrique traverse un conducteur, une partie de l'énergie reçue est transférée à l'échelle microscopique aux molécules de ce conducteur, ce qui entraîne une élévation de sa température. C'est ce phénomène que la loi de Joule permet de quantifier en calculant

la puissance dissipée sous forme de chaleur. Cette loi dit que « la *puissance* dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique est proportionnelle à la résistance de ce conducteur et au carré de l'intensité du courant qui le traverse ». On cite souvent la formule $P=R \cdot I^2$ bien que *formellement* celle-ci ne soit valable que si R et I restent constants. C'est à dire en courant continu, et pour les conducteurs dont la résistance ne dépend pas de la température [9].

1.4.6. Énergie électrique

Un système possède de l'énergie s'il est capable de fournir du travail.

Un générateur est dispositif qui fournit l'énergie électrique au reste du circuit.

Energie consommée	Générateur	Energie utile fournie
Mécanique	Dynamo	Energie électrique
Chimique	Pile	
Rayonnante (lumière)	Photopile	
Thermique	Thermocouple	

Un récepteur est dispositif qui transforme l'énergie électrique qu'il reçoit en une autre énergie (énergie lumineuse, énergie thermique...).

Energie consommée	Récepteur	Energie utile fournie
Energie électrique	Radiateur électrique	Thermique(chaleur)
	Lampe électrique	Rayonnante(lumière)
	Moteur électrique	Mécanique (travail)

L'énergie électrique consommée par un appareil est égale au produit de sa puissance P consommée par la durée t de son fonctionnement.

$$E = P \cdot t = U \cdot I \cdot t \quad (I.6)$$

P est exprimée en **watt (W)**
 t est exprimée en **seconde (s)** } E est exprimée en **joule (J)**
 P est exprimée en **watt (W)**
 t est exprimée en **heure (h)** } E est exprimée **watt-heure (Wh)**
1Wh=3600J

Pour un conducteur ohmique :

$$E = R \cdot I^2 \cdot t \quad (I.7)$$

L'énergie consommée par une installation domestique est mesurée par un compteur d'énergie.

Exercice :

Une lampe d'éclairage porte les informations suivantes : (75W,220V)

- 1- Calculer le courant qu'il parcourt dans des conditions normales de fonctionnement,
- 2- Calculer la résistance de la lampe,
- 3- Calculez l'énergie consommée pendant 3 heures et demie de travail :
En joules (J), en wattheures (Wh), puis en kilowattheures (kWh)

Solution :

- 1- Calcul du courant qu'il parcourt dans des conditions normales de fonctionnement :

$$P = U.I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{75}{220} = 0.34A$$

- 2- Calcul de la résistance de la lampe :

$$U = R.I \Rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.34} = 647\Omega$$

- 3- Calcul de l'énergie consommée pendant 3 heures et demie de travail :

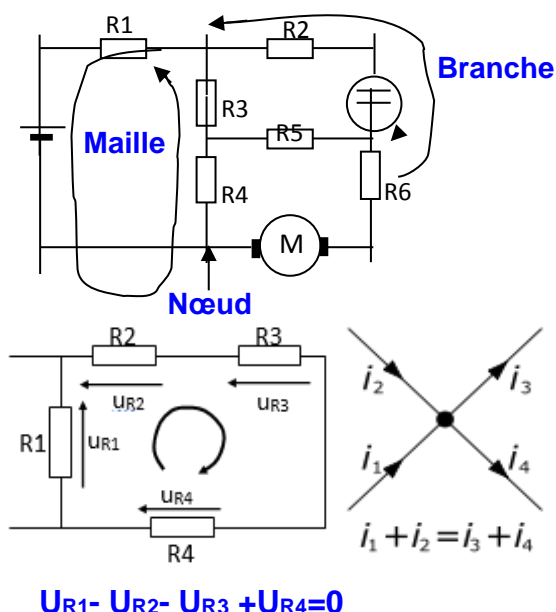
$$E = U.I.t = P.t = 75 * 3.5 * 60 * 60 = 945000J$$

$$E = U.I.t = P.t = 75 * 3.5 = 262.5Wh$$

$$E = U.I.t = P.t = \frac{75 * 3.5}{1000} = 0.2625KWh$$

1.4.7. Circuit électrique

Un circuit électrique est un ensemble de conducteurs reliés entre eux et traversés par un courant électrique.

**LOIS DE KIRCHHOFF [10]:**

(Physicien allemand Gustav Kirchhoff)

Branche : représente un ensemble d'éléments reliés en série et donc traversés par un même courant.

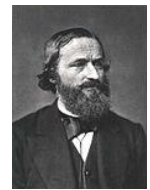
Nœud : correspond au point d'intersection de plusieurs branches.

Maille : est un ensemble de branches constituant un parcours fermé.

La loi des nœuds : La somme des intensités des courants qui entrent par un **nœud** est égale à la somme des intensités des courants qui sortent du même nœud.

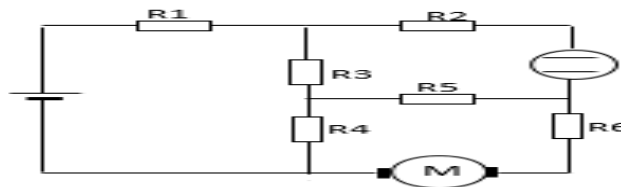
La loi des mailles : la somme algébrique des tensions le long d'une maille est nulle.

Ces deux lois sont utilisées pour déterminer certaines intensités ou tensions d'un circuit électrique.



Exercice :

Soit le circuit électrique suivant :



✚ Donner le nombre de nœuds, de branches et de mailles.

Le nombre de nœuds est : 04

Le nombre de branches est : 06

Le nombre de mailles est : 07

1.5. Composants électroniques

Un circuit électrique comporte deux types de composants : actifs et passifs.

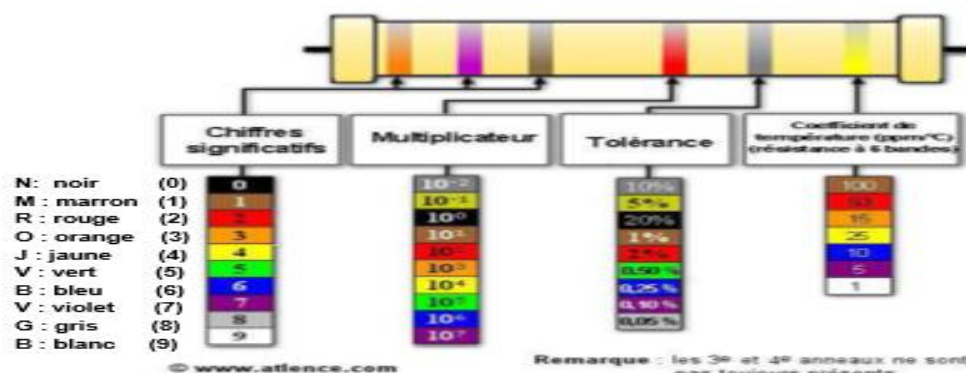
Les composants passifs sont ceux qui utilisent ou stockent de l'énergie sous forme de tension ou de courant. Ils comportent des résistances, des condensateurs et des inductances.

Les composants actifs sont ceux qui fournissent ou produisent de l'énergie ou puissance sous la forme d'une tension ou d'un courant. Ils comprennent des piles, des générateurs, et des transistors.

À partir de ces composants élémentaires, on peut fabriquer d'autres éléments plus complexes, comme des circuits intégrés, des microprocesseurs, des capteurs et des transducteurs, des amplificateurs ou encore des oscillateurs.

1.5.1. Résistance

La résistance est l'élément le plus simple, très utilisé en électronique, c'est un composant dit passif, il conduit l'électricité [11].



Ne Mangez Rien Ou Jeûnez Voilà Bien Votre Grande Bêtise

Figure I.6. Code couleur des résistances [12].

Exemple :



Premier chiffre significatif : jaune : 4

Deuxième chiffre significatif : vert : 5

Multiplicateur : orange : 3

Tolérance : dorée : 0.05 %

Donc la valeur de cette résistance est : **45 x 10³ à 0.05 % soit 45 kΩ à 0.05 %.**

I.5.1.1. Raccordement de résistances

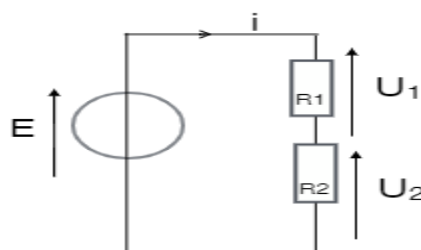
Dans un circuit électrique, il est possible de raccorder les résistances : en série, parallèle et mixte.

	<p><u>Montage série</u></p> $U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} - U = 0 \text{ V}$ $I = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3}$ $R_{\text{équi}} = R_1 + R_2 + R_3$
	<p><u>Montage parallèle</u></p> $U = U_{R1} = U_{R2} = U_{R3}$ $I = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}$ $R_{\text{équi}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$
	<p><u>Montage mixte.</u></p> <p>Le calcul d'un tel circuit dépend de sa complexité.</p> <p>Il est nécessaire d'utiliser les formules des montages série et parallèle.</p>

Figure I.7. Raccordement de résistances [13].

I.5.1.2. Diviseur de tension

Le diviseur de tension est un montage électronique simple qui permet de diviser une tension d'entrée par une valeur constante déterminée par les valeurs de résistances. Un circuit constitué de deux résistances connectées en série est par exemple un montage élémentaire qui peut réaliser cette opération [14].



La loi d'Ohm permet d'écrire :

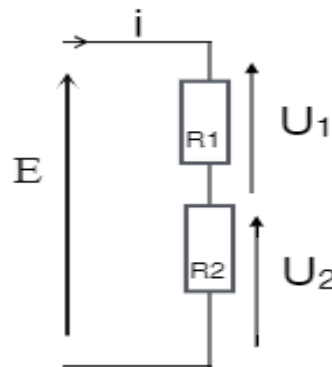
$$U_1 = R_1 \cdot i$$

$$i = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

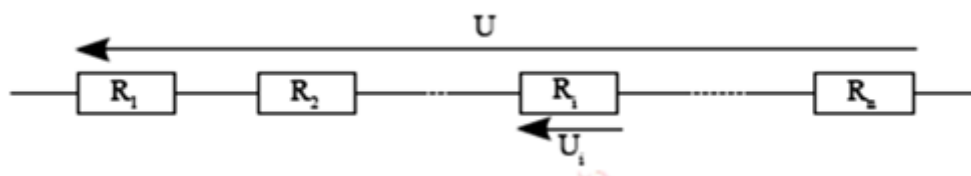
$$\text{Donc } U_1 = R_1 \cdot \frac{E}{R_1 + R_2}$$

Remarque 1 : on a aussi : $U_2 = R_2 \cdot \frac{E}{R_1 + R_2}$

Remarque 2 : la tension E peut être délivrée par un générateur ou bien par le reste du circuit. On peut donc appliquer cette formule dès que 2 résistances sont en série.



Généralité : Dans une branche alimentée par une tension U et composée de n dipôles en série, la tension aux bornes d'un dipôle Ri est :

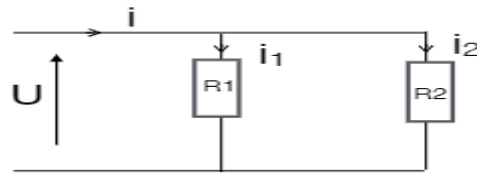


$$U_i = \frac{R_i}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} \cdot U \quad (I.8)$$

Le diviseur de tension permet de trouver rapidement les différentes tensions dans un montage série.

I.5.1.3. Diviseur de courant

Le diviseur de courant est un montage électronique simple qui permet de diviser un courant d'entrée par une valeur constante déterminée par les valeurs de résistances. Un circuit constitué de deux résistances connectées en parallèle est par exemple un montage élémentaire qui peut réaliser cette opération [14].



La loi d'Ohm permet d'écrire :

$$i_1 = \frac{U}{R_1}$$

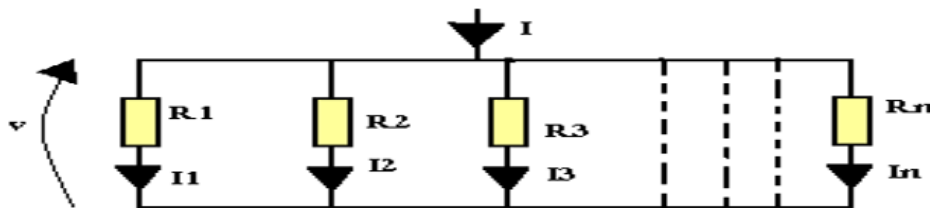
$$U = R_{eq} \cdot i$$

Donc $i_1 = \frac{R_{eq}}{R_1} \cdot i$ avec $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ soit $i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot i$

Remarque 1 : on a aussi : $i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot i$

Remarque 2 : le courant i peut être délivrée par un générateur ou bien par le reste du circuit. On peut donc appliquer cette formule dès que 2 résistances sont en parallèle.

Généralité : Dans une branche alimentée par un courant I et composée de n dipôles en parallèle, le courant aux bornes d'un dipôle R_i est :



$$I_n = \frac{G_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_i} \cdot I \quad (I.9) \quad \text{avec } G_n = \frac{1}{R_n}$$

I.5.1.4. Différents types de résistances

Il existe de nombreux types de résistances, on peut les trouver sous différentes présentations comme le montre la figure suivante :

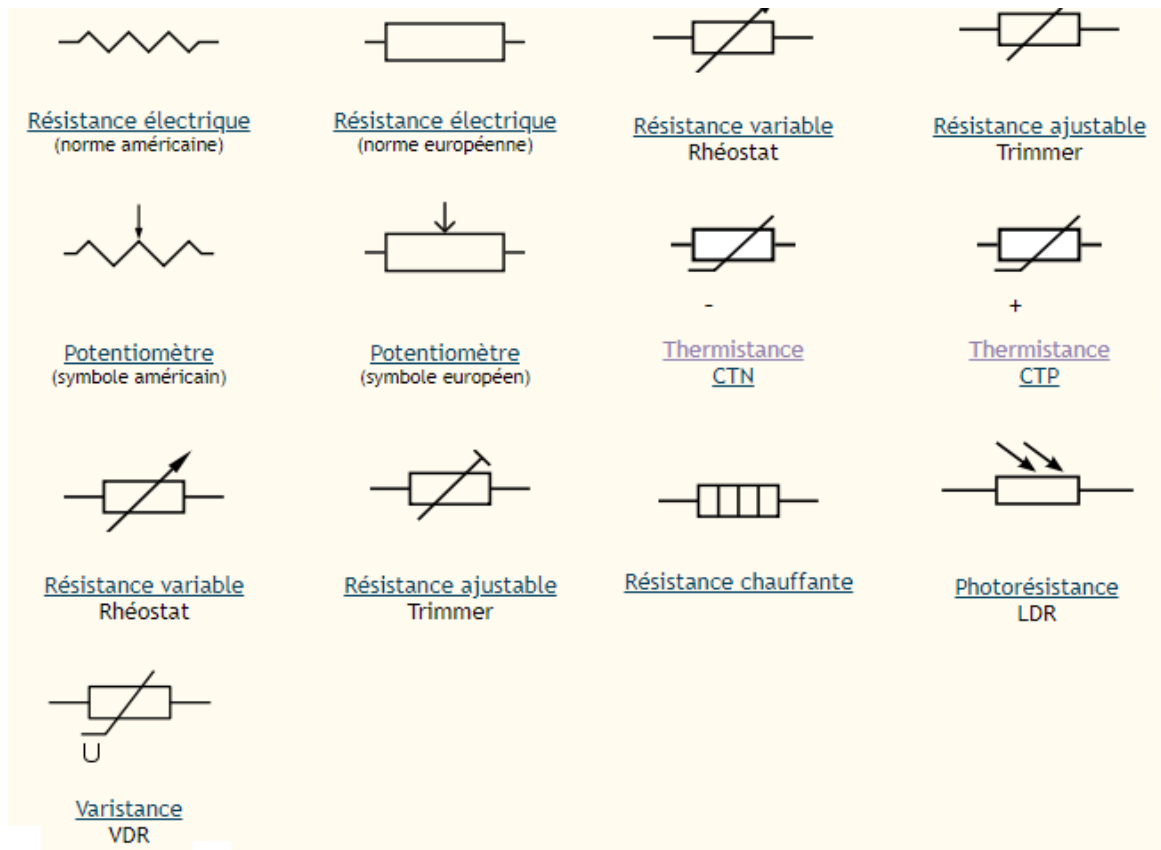
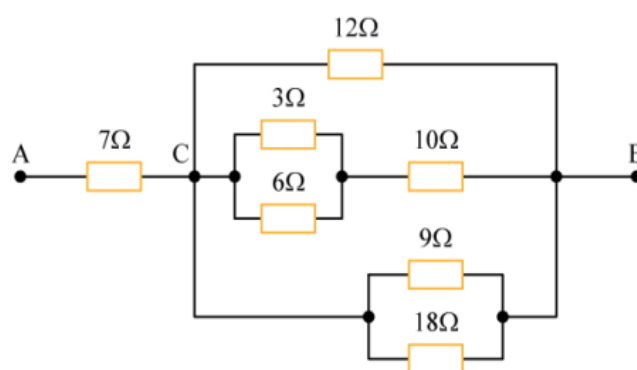


Figure I.8. Différents types de résistances [15].

Applications :

Application1 :



1. Dans le groupement ci-dessus, calculez la résistance équivalente de chacune des branches reliant C et B.
2. En déduire la résistance totale du circuit entre les points A et B.

1. Calculez la résistance équivalente de chacune des branches reliant C et B.

$$R_{CB} = 12\Omega // [(3\Omega // 6\Omega) + 10\Omega] // (9\Omega // 18\Omega)$$

$$(3\Omega // 6\Omega) = \frac{3 * 6}{3 + 6} = 2\Omega$$

$$[(3\Omega // 6\Omega) + 10\Omega] = 12\Omega$$

$$(9\Omega // 18\Omega) = \frac{9 * 18}{9 + 18} = 6\Omega$$

$$[(3\Omega // 6\Omega) + 10\Omega] // (9\Omega // 18\Omega) = (12\Omega // 6\Omega) = \frac{12 * 6}{12 + 6} = 4\Omega$$

$$R_{CB} = 12\Omega // [(3\Omega // 6\Omega) + 10\Omega] // (9\Omega // 18\Omega) = 12\Omega // 4\Omega = \frac{12 * 4}{12 + 4} = 3\Omega$$

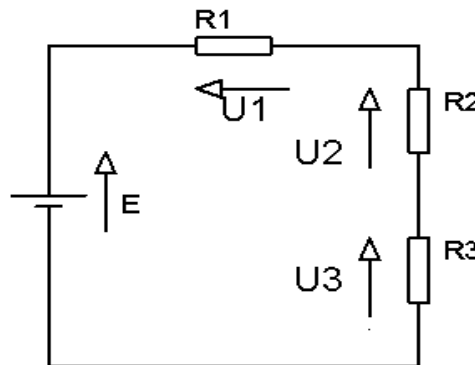
$$R_{CB} = 3\Omega$$

2. En déduire la résistance totale du circuit entre les points A et B.

$$R_{AB} = 7\Omega + 3\Omega = 10\Omega$$

$$R_{AB} = 10\Omega$$

Application 2 : Soit le circuit suivant :



On donne : $E = 12\text{ V}$, $R_1 = 2.2\text{ k}\Omega$, $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ et $R_3 = 1.8\text{ k}\Omega$

1. Exprimer U_1 , U_2 et U_3 en fonction de E , R_1 , R_2 et R_3 .

2. Combien vaut la somme des 3 tensions $U_1 + U_2 + U_3$?

3. Calculer la valeur la tension U_3 .

4. On désire obtenir une tension $U_3 = 2\text{ V}$, sans modifier les valeurs de R_1 et R_3 . Quelle doit être la valeur de R_2 ?

1. Exprimer U_1 , U_2 et U_3 en fonction de E , R_1 , R_2 et R_3 .

On a :

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot E ; U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot E ; U_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot E$$

2. Combien vaut la somme des 3 tensions $U_1 + U_2 + U_3$?

$$E = U_1 + U_2 + U_3 = 12\text{ V}$$

3. Calculer la valeur la tension U_3 .

$$U_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot E = \frac{1800}{2200 + 1000 + 1800} \cdot 12 = 4.32\text{ V}$$

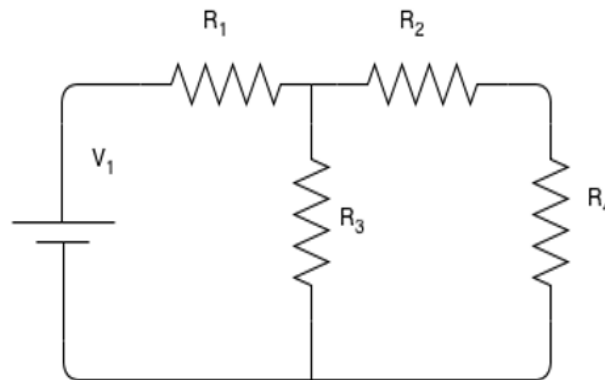
4. On désire obtenir une tension $U_3 = 2 \text{ V}$, sans modifier les valeurs de R_1 et R_3 . Quelle doit être la valeur de R_2 ?

$$U_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot E \Rightarrow U_3 (R_1 + R_2 + R_3) = R_3 \cdot E \Rightarrow R_2 = R_3 \cdot \frac{E}{U_3} - (R_1 + R_3)$$

$$= 1800 \cdot \frac{12}{2} - (2200 + 1800) = 6800 \Omega$$

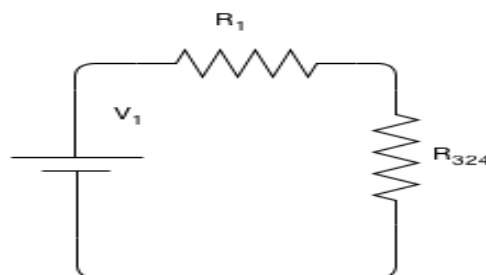
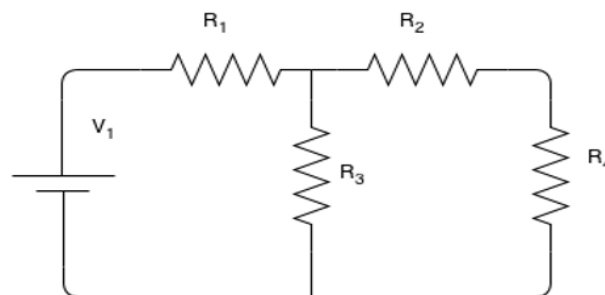
$$R_2 = 6.8 \text{ K}\Omega$$

Application 3 : Soit le circuit suivant :



Déterminer la tension à travers R_2 et R_4 en utilisant la règle de division de tension.

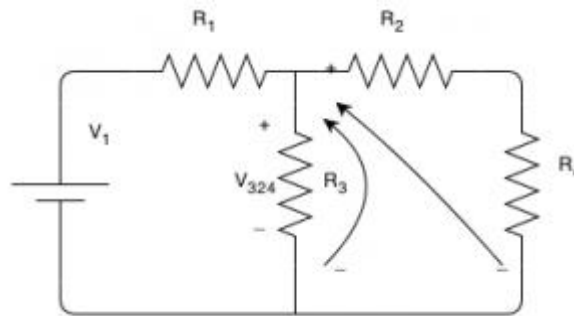
Suppose que : $V_1 = 20 \text{ V}$, $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$ et $R_4 = 10 \Omega$



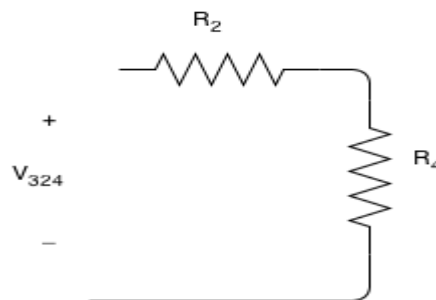
$$R_{324} = [(R_2 + R_4) // R_3] = \frac{(R_2 + R_4) * R_3}{R_2 + R_4 + R_3} = \frac{15 * 30}{45} = 10\Omega$$

$$V_{R_{324}} = \frac{R_{324}}{R_1 + R_{324}} \cdot V_1 = \frac{10}{10 + 10} \cdot 20 = 10V$$

$V_{R_{324}}$ est la tension aux bornes de R3 et la combinaison en série de R2 et R4 comme indiqué ci-dessous :



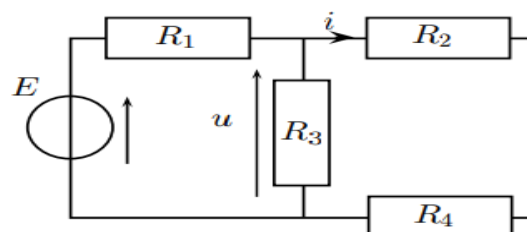
Maintenant, nous pouvons utiliser la règle de diviseur de tension pour trouver V_{R_2} et V_{R_4} . Nous pouvons ignorer le reste du circuit et supposer que cette partie comme suit :



$$V_{R_2} = \frac{R_2}{R_2 + R_4} \cdot V_{R_{324}} = \frac{5}{5 + 10} \cdot 10 = 3.33V$$

$$V_{R_4} = \frac{R_4}{R_2 + R_4} \cdot V_{R_3} = \frac{10}{5 + 10} \cdot 10 = 6.67V$$

Application 4 : Soit le circuit suivant :



1. Déterminer l'intensité i qui traverse la résistance R_2 .
2. Déterminer la tension u aux bornes de la résistances R_3 .

Application numérique : $E = 6\text{ V}$, $R_1 = 100\ \Omega$, $R_2 = R_3 = R_4 = 50\ \Omega$

1. Déterminer l'intensité i qui traverse la résistance R_2 .

$$R_{eq} = R_1 + [(R_3 // (R_2 + R_4))] = R_1 + \frac{(R_2 + R_4) * R_3}{R_2 + R_4 + R_3} = 100 + \frac{(50 + 50) * 50}{150} = 133.33\Omega$$

$$E = R_{eq} \cdot I \Rightarrow I = \frac{E}{R_{eq}} = 0.045A$$

$$i = \frac{R_3}{R_2 + R_3 + R_4} \cdot I = \frac{50}{150} * 0.045 = 0.015A = 15mA$$

$$R_{324} = [(R_2 + R_4) // R_3] = \frac{(R_2 + R_4) * R_3}{R_2 + R_4 + R_3} = \frac{(50 + 50) * 50}{150} = 33.33\Omega$$

$$U = \frac{R_{324}}{R_1 + R_{324}} \cdot E = \frac{33.33}{100 + 33.33} \cdot 6 = 1.5V$$

I.5.2. Condensateur

Un condensateur, est un composant électronique, constitué de deux armatures conductrices (appelées « électrodes ») séparées par un isolant (diélectrique).

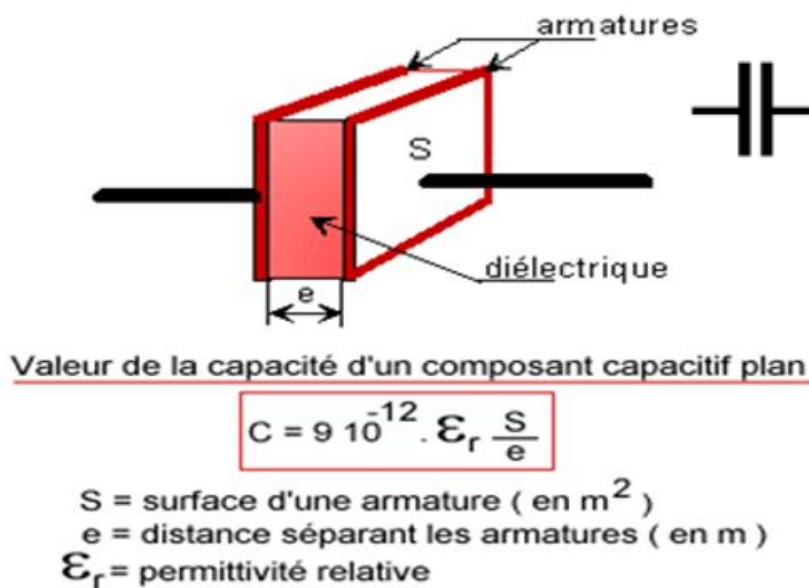


Figure I.9. Constitution interne d'un condensateur [16].

I.5.2.1. Raccordement de condensateurs

Il y a trois raccordements possibles de condensateurs : en série, parallèle et mixte.

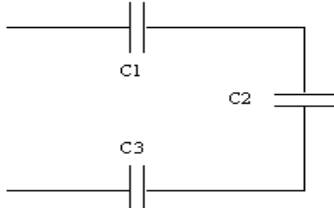
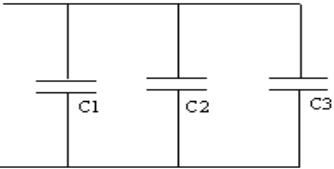
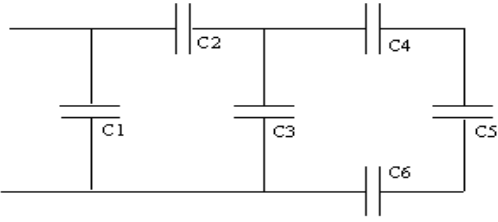
	<p><u>Montage série</u></p> $C_{\text{éq}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$
	<p><u>Montage parallèle</u></p> $C_{\text{éq}} = C_1 + C_2 + C_3$
	<p><u>Montage mixte.</u></p> <p>Le calcul d'un tel circuit dépend de sa complexité. Il est nécessaire d'utiliser les formules des montages série et parallèle.</p>

Figure I.10. Raccordement de condensateurs [13].

I.5.2.2. Différents types de condensateurs

Il existe de nombreux types de condensateurs, on peut les trouver sous différentes présentations comme le montre la figure suivante :

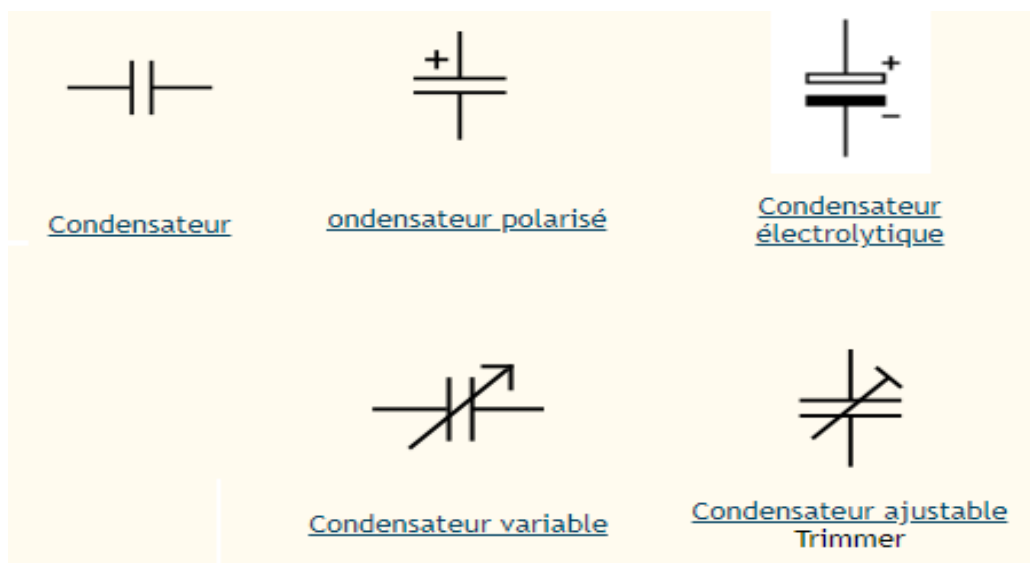


Figure I.11. Différents types de condensateurs [17].

I.5.3. Bobine

La bobine est parfois appelée inductance ou self, lorsqu'un courant circule dans un conducteur, il est responsable de la création d'un champ d'induction magnétique.



Figure I.12. Différents types de bobines [18].

I.5.3.1. Raccordement de inductances

Comme pour les condensateurs, il existe trois possibilités de raccordement : en série, parallèle et mixte.

Dans l'exemple ci-dessous, il n'y a pas d'influence magnétique entre les bobines, sinon il faut tenir compte du facteur de couplage.

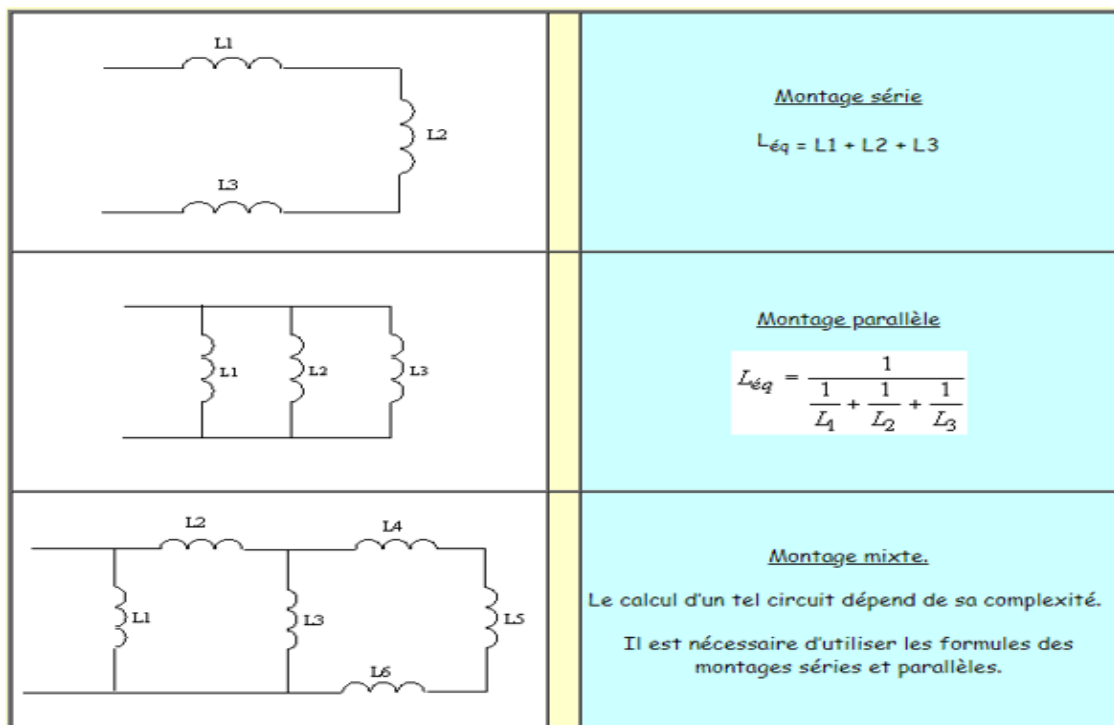


Figure I.13. Raccordement de inductances [13].

1.5.4. Diode

La diode est un composant électronique à deux électrodes : une anode qui est reliée à la borne positive d'une source d'alimentation électrique, et une cathode qui est connectée à la borne négative. La cathode, petit tube métallique chauffé par un filament, libère des électrons qui migrent vers l'anode, cylindre métallique entourant la cathode [19].

Si une tension alternative est appliquée aux bornes de la diode, les électrons migrent vers l'anode pendant le demi-cycle positif, tandis que l'anode repousse les électrons pendant le demi-cycle négatif. Un tube redresseur est une diode qui ne laisse passer un courant alternatif que durant les demi-cycles positifs : c'est pourquoi on utilise ce type de diode pour convertir un courant alternatif en courant continu : (Redressement).[19]

La diode ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens, lorsqu'une diode laisse passer le courant électrique on dit qu'elle est branchée dans le sens passant tandis que si elle l'empêche de passer on dit qu'elle est dans le sens bloquant ou non passant.

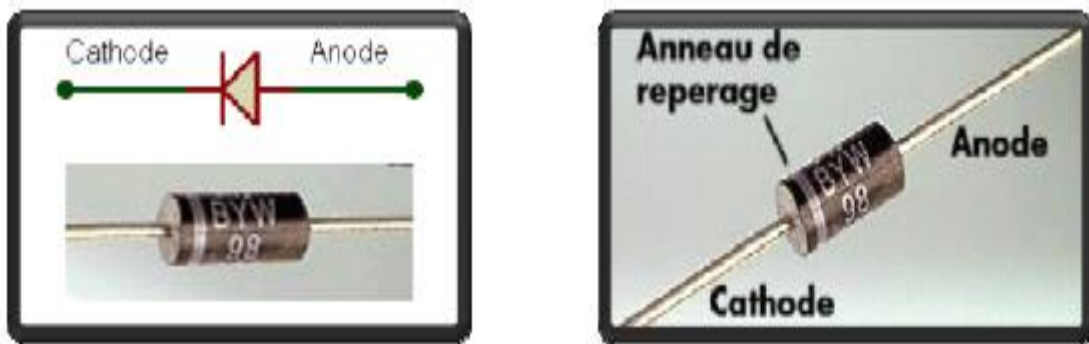


Figure I.14. Symbole de la diode [20].

1.5.4.1. Différents types de diodes

Il existe de nombreux types de diodes, on peut les trouver sous différentes présentations comme le montre la figure suivante :

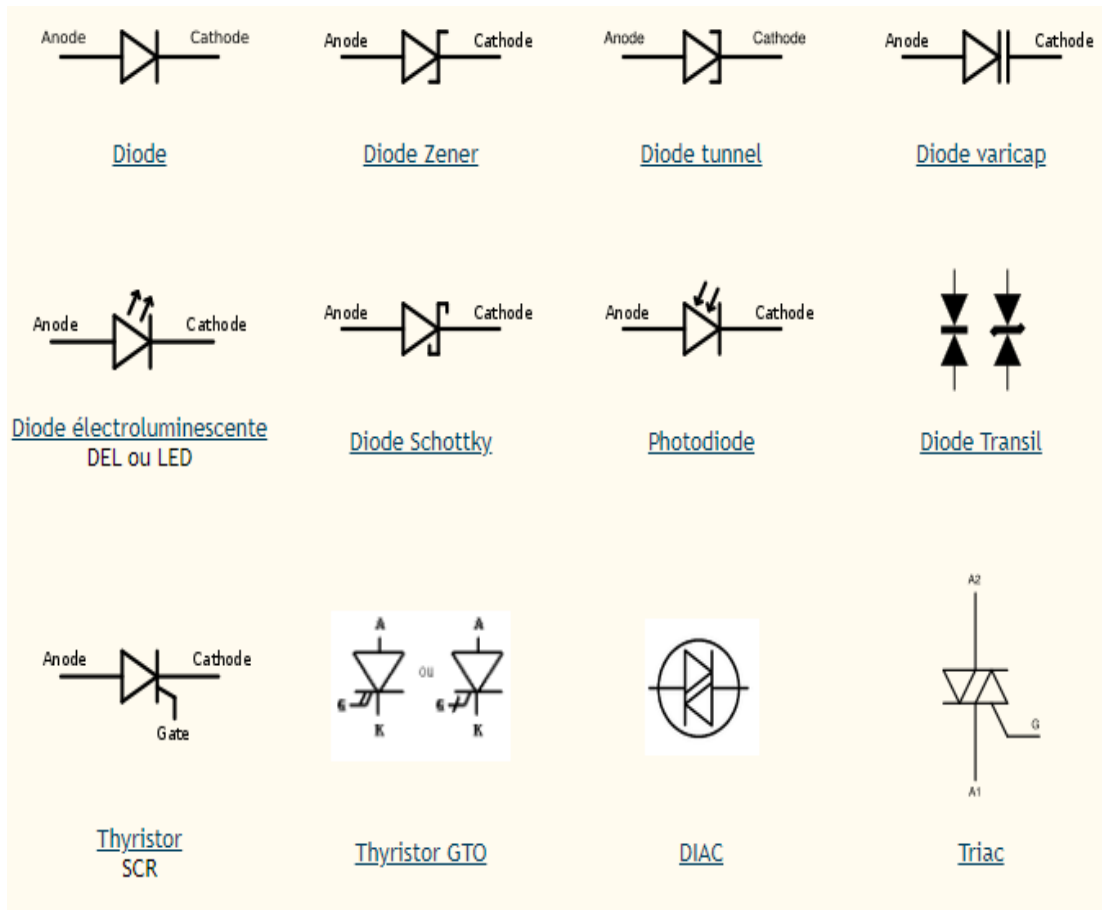


Figure I.15. Différents types de diodes [21].

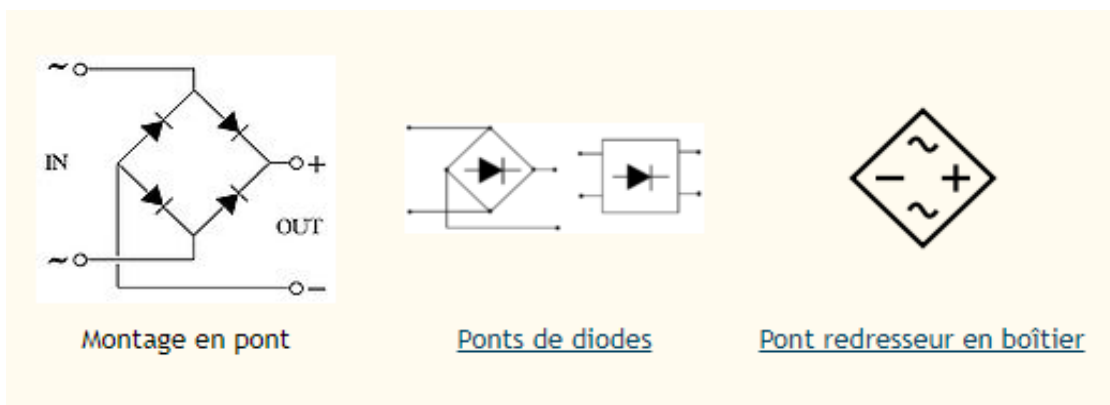


Figure I.16. Montage en pont de diode [21].

I.5.5. Transistor

Le transistor est un composant électronique actif fabriqué à partir de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium ou le germanium, auxquels on a ajouté de très faibles quantités d'éléments étrangers.

Ces matériaux « dopés » possèdent un excédent ou un défaut d'électrons libres, suivant le type de semi-conducteur choisi (type N dans le premier cas, type P dans le second). En combinant les matériaux de type N et de type P, on peut fabriquer une diode. Lorsque cette diode est reliée à une pile de sorte que le matériau de type P possède une charge positive et que le matériau de type N une charge négative, les électrons sont alors repoussés par le pôle négatif de la pile et migrent librement vers la région P qui manque d'électrons. Lorsqu'on inverse les pôles de la pile, les électrons parvenant au matériau P traversent difficilement ce matériau déjà rempli d'électrons libres : le courant est alors quasiment nul. Par conséquent, une telle diode ne laisse bien passer le courant que dans un sens.

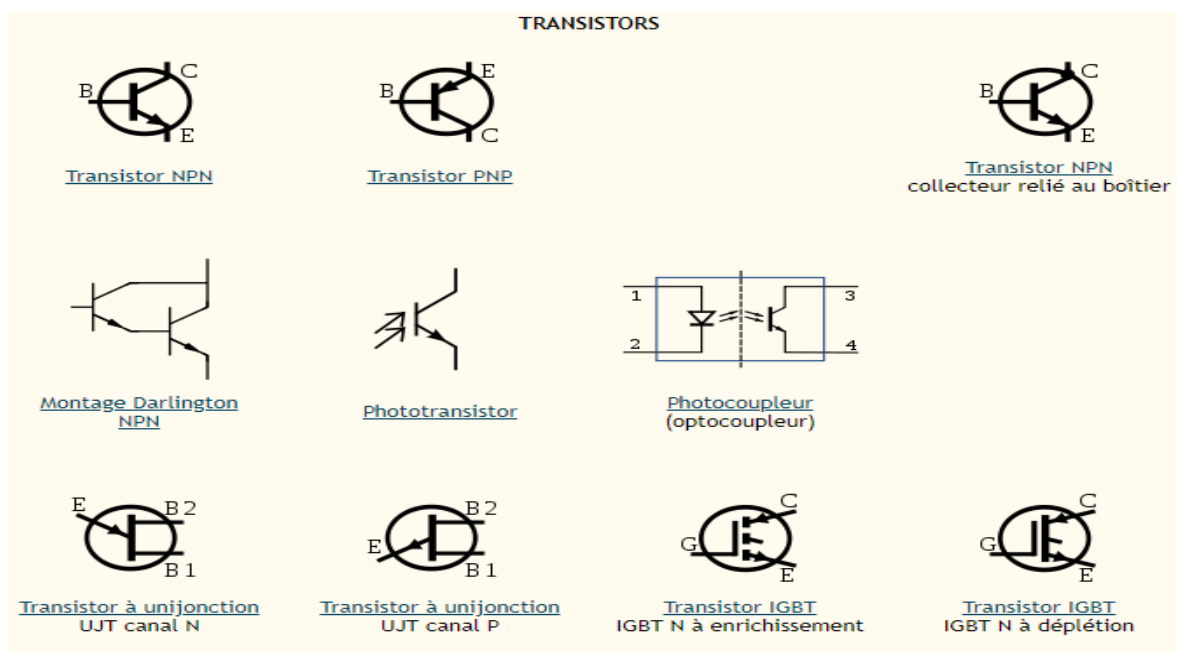
Le transistor bipolaire a été inventé en 1948 pour remplacer la triode. Il est constitué de trois couches de matériau dopé, formant deux jonctions bipolaires P-N : on obtient ainsi les configurations P-N-P ou N-P-N. L'une des jonctions est polarisée dans le sens direct, permettant ainsi aux électrons de traverser cette jonction, tandis que l'autre jonction est polarisée dans le sens inverse. Si le courant dans la jonction à polarisation directe est modifié par adjonction d'un autre signal, le courant dans la jonction à polarisation inverse variera en conséquence. Sur ce principe, il est possible de construire des amplificateurs où un signal de faible amplitude, appliqué à la jonction à polarisation directe, modifie notablement le courant de la jonction à polarisation inverse.

Il existe un autre type de transistor, le transistor à effet de champ (TEC), qui fonctionne sur le principe de la répulsion ou de l'attraction des charges dues à un champ électrique. Pour ce transistor, le courant est amplifié de manière similaire à celui de la grille d'un tube à vide. Les transistors à effet de champ sont plus efficaces que les transistors bipolaires, car ce type de transistor peut contrôler un signal de forte intensité à l'aide d'une très petite quantité d'énergie.

Le transistor est généralement utilisé comme interrupteur dans les circuits logiques, et comme amplificateur en analogique où il peut stabiliser une tension, moduler un signal ect.... [19]

I.5.5.1. Différents types de transistors

Il existe de nombreux types de transistors, on peut les trouver sous différentes présentations comme le montre la figure suivante :



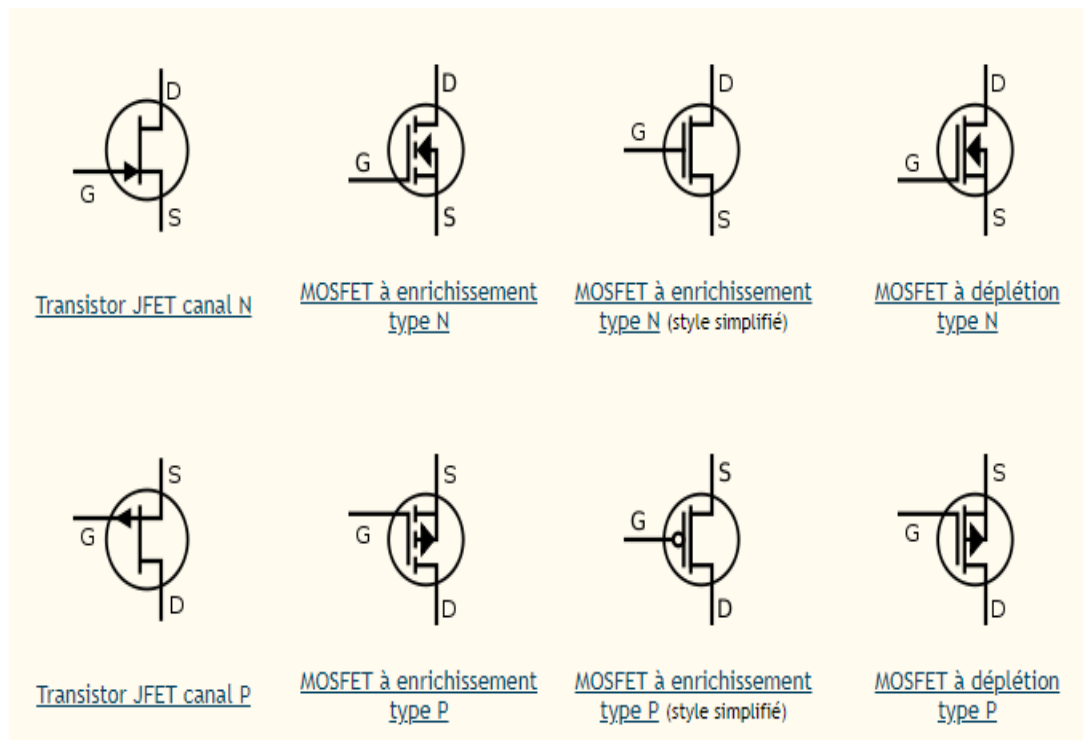


Figure I.17. Différents types de transistors [22].

1.5.6. Portes logiques

Une porte logique est un composant élémentaire d'un circuit numérique. Il existe sept portes logiques de base (**AND**, **OR**, **XOR**, **NOT**, **NAND**, **NOR** et **XNOR**).

La majorité des portes logiques disposent de deux entrées et d'une sortie. À tout moment, chaque borne (ou « broche ») affiche un des deux états binaires *bas* (0) ou *haut* (1), représentés par des niveaux de tension électrique distincts : zéro volt (0 V), cinq volts (+5 V).

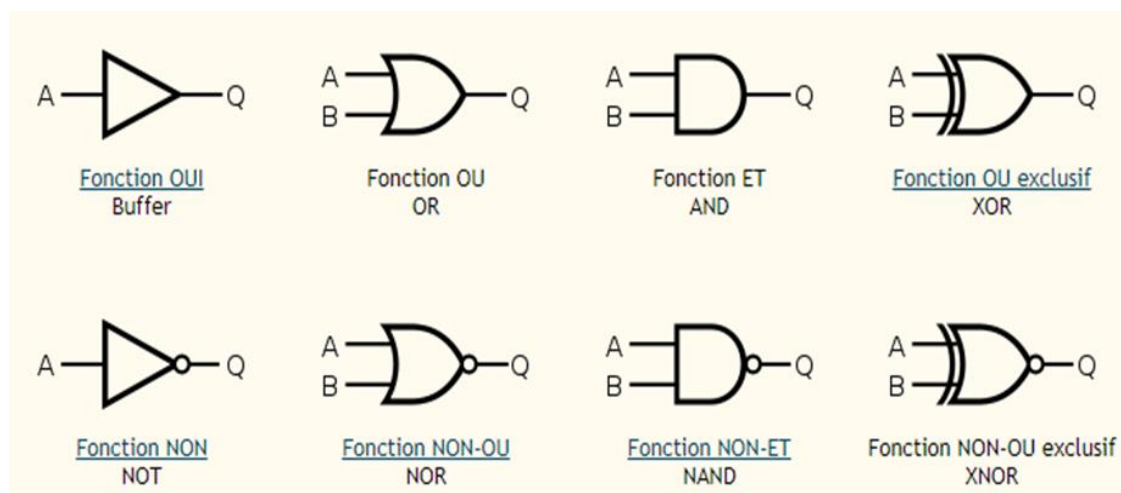
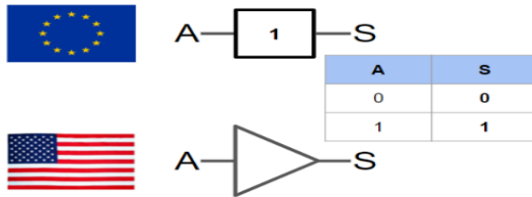
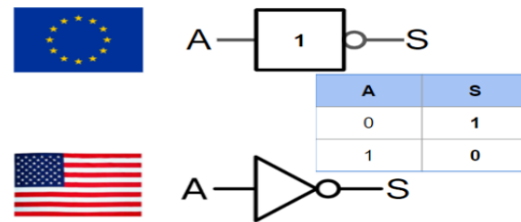


Figure I.18. Différents types de portes logiques [23].

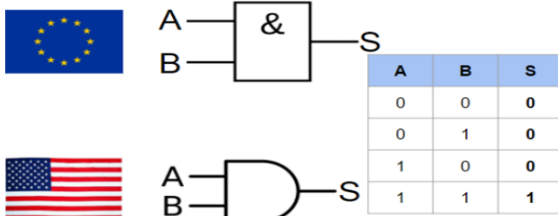
La porte logique YES (oui)



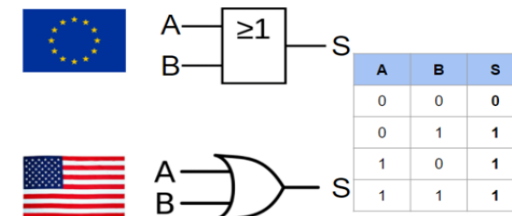
La porte logique NOT (non)



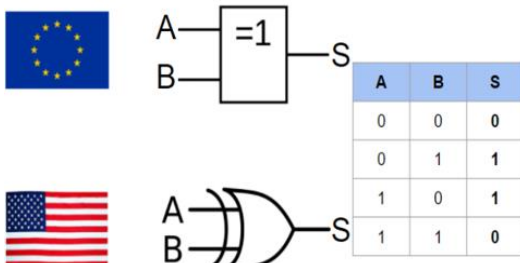
La porte logique AND (et)



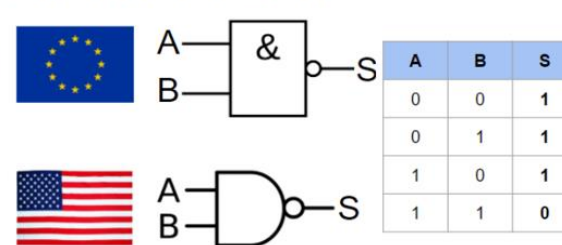
La porte logique OR (ou)



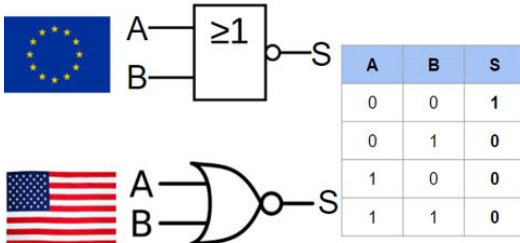
La porte logique XOR (ou exclusif)



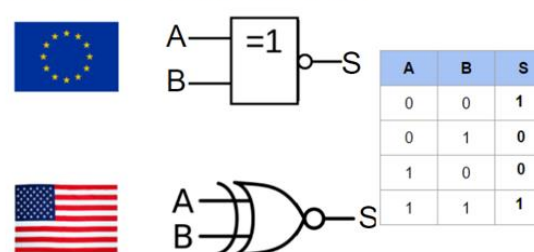
La porte logique NAND (non et)



La porte logique NOR (non ou)



La porte logique XNOR (non ou exclusif)



1.5.7. Amplificateurs

Les amplificateurs électroniques sont utilisés pour augmenter la tension, l'intensité ou la puissance d'un signal électrique.

Un amplificateur linéaire ne produit presque pas de distorsion : l'amplitude du signal de sortie est alors proportionnelle à l'amplitude du signal d'entrée.

En revanche, un amplificateur non-linéaire peut modifier considérablement la forme du signal.

L'amplificateur linéaire est utilisé pour amplifier les signaux vidéo et audio.

L'amplificateur non-linéaire est employé dans les oscilloscopes, les modulateurs, les mélangeurs de signaux et les circuits logiques. des circuits intégrés [19].

1.5.7.1. Amplificateur opérationnel

Un **amplificateur opérationnel** (aussi dénommé ampli-op ou **AOP**) est un amplificateur différentiel : c'est un amplificateur électronique qui augmente une différence de potentiel électrique présente à ses entrées (+ entrée non inverseuse et - entrée inverseuse).

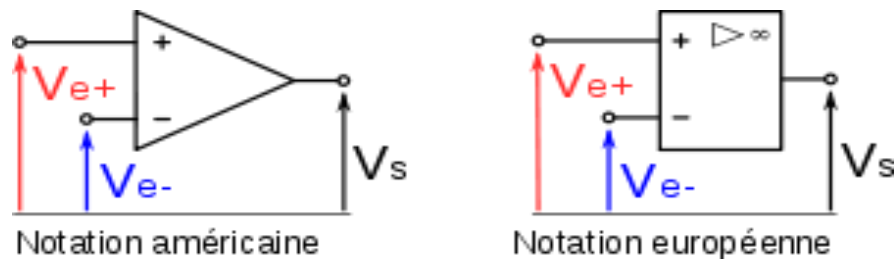


Figure I.19. Amplificateur opérationnel [24].

I.5.7.2. Amplificateur de mesure

Un amplificateur de mesure est un dispositif électronique destiné au traitement de faibles signaux électriques. On le trouve également dans la littérature sous le nom d'amplificateur d'instrumentation.

I.5.7.3. Amplificateur audio

Un **amplificateur audio** est un amplificateur électronique conçu pour amplifier un signal électrique audio afin d'obtenir une puissance suffisante pour faire fonctionner un haut-parleur situé dans une enceinte acoustique ou un casque audio.

I.5.8. Capteur

Les capteurs sont des dispositifs utilisés pour mesurer et détecter diverses grandeurs physiques, telles que la lumière, la température, la pression, le mouvement, l'humidité, etc. Ils convertissent ces grandeurs physiques en signaux électriques exploitables par d'autres systèmes ou dispositifs.

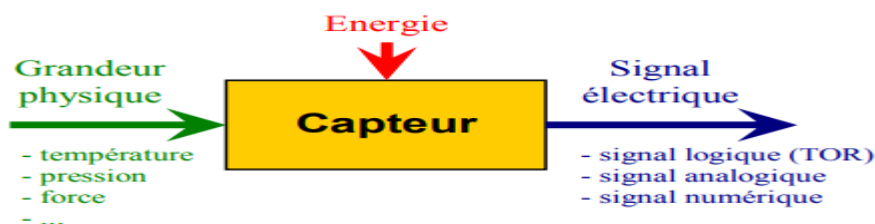


Figure I.20. Schéma bloc d'un capteur [25].

Il existe différents types de capteurs, notamment :

1. Capteurs de lumière : Ces capteurs mesurent l'intensité lumineuse ou la quantité de lumière dans un environnement donné. Ils sont couramment utilisés dans les appareils photo, les téléphones intelligents, les capteurs de mouvement, etc.
2. Capteurs de température : Ces capteurs mesurent la température ambiante ou la température d'un objet spécifique. Ils sont utilisés dans les thermomètres, les systèmes de climatisation, les réfrigérateurs, les thermostats, etc.

3. Capteurs de pression : Ces capteurs mesurent la pression d'un fluide ou d'un gaz. Ils sont utilisés dans les manomètres, les systèmes de surveillance de la pression des pneus, les systèmes de contrôle de la pression dans les usines, etc.

4. Capteurs de mouvement : Ces capteurs détectent le mouvement d'un objet ou d'une personne. Ils sont utilisés dans les systèmes de sécurité, les systèmes de détection de présence, les jeux vidéo, etc.

5. Capteurs d'humidité : Ces capteurs mesurent le taux d'humidité dans l'air ou dans un matériau. Ils sont utilisés dans les stations météorologiques, les systèmes de ventilation, les systèmes de contrôle de l'humidité, etc.

Il existe de nombreux autres types de capteurs, tels que les capteurs de gaz, les capteurs de force, les capteurs de niveau, les capteurs de proximité, etc., qui sont utilisés dans une grande variété d'applications et d'industries. Les capteurs sont essentiels pour collecter des données et fournir des informations précises pour le contrôle, la surveillance et l'automatisation de divers systèmes.

I.5.8.1. Différents types de capteurs

Il existe de nombreux types différents de capteurs, la figure suivante regroupe les principaux types de capteurs.



Figure I.21 : Différents types de capteurs [26].

I.5.9. Circuit intégré

Un circuit intégré, est un composant électronique reproduisant une, ou plusieurs, fonction électronique plus ou moins complexe, intégrant souvent plusieurs types de composants électroniques de base dans un volume réduit.

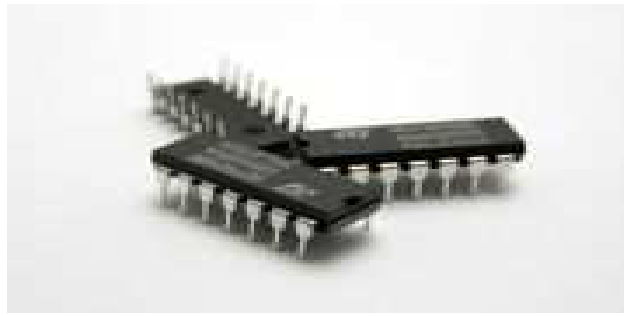


Figure I.22. Image d'un circuit intégré [27].

I.5.9.1. Historique des circuits intégrés

Le premier circuit intégré, constitué de deux transistors bipolaires, a été développé au sein de la société Fairchild Semiconductor en 1958 par l'Américain Robert Noyce [28].

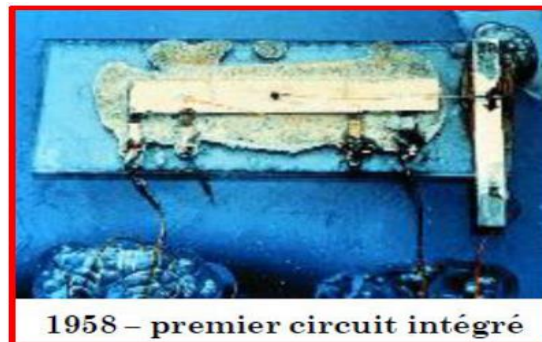


Figure I.23. Image du premier circuit intégré [29].

La même année et de manière indépendante, un autre Américain, Jack Kilby, de Texas Instruments, réussit à intégrer un transistor, trois résistances et une capacité sur une plaque de semi-conducteur. Kilby a tout simplement relié entre eux différents transistors en les câblant à la main.

En 1960, production de la première mémoire Flip Flop par la société Fairchild Semiconductor.

En 1963, réalisation du premier circuit intégré CMOS sort simultanément des laboratoires R.C.A. (Radio Corporation of America).

En 1968, production en masse des circuits intégrés.

I.5.9.2. Composants analogiques programmables (FPAA)

C'est un circuit intégré qui peut être reprogrammé après sa fabrication.

I.6. Type de régimes

Différents éléments composent les circuits électriques, en régime continu comme en régime alternatif. Nous trouvons principalement des résistances, des capacités (condensateurs) et des inductances (bobines). Ces trois genres d'éléments ne se comportent pas de la même façon en régime continu ou en régime alternatif.

I.6.1. Régime continu

Dans un tel circuit, les seuls éléments passifs autorisés sont les résistances, la loi d'Ohm associée aux bobines d'inductance et aux condensateurs faisant en effet intervenir le temps.

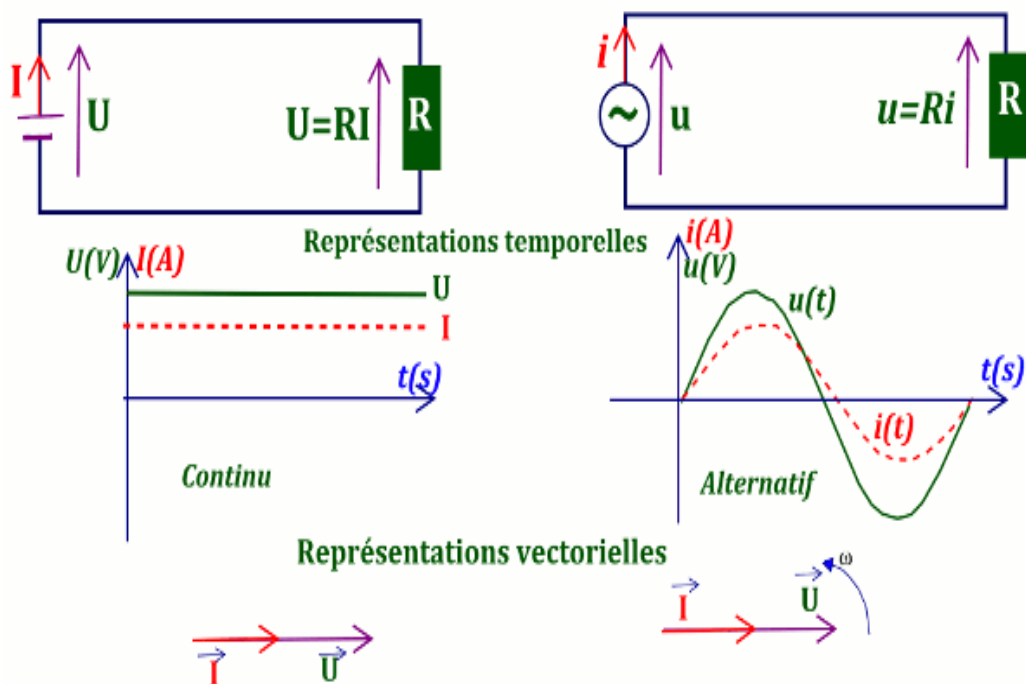
I.6.2. Régime alternatif

Un circuit tournant en régime sinusoïdal met en œuvre des tensions et des courants dont les grandeurs caractéristiques sont représentées par des fonctions sinusoïdales du temps.

I.6.3. Exemples :

I.6.3.1. Comportement d'une résistance

Une des principales caractéristiques des résistances est de se comporter de la même manière quel que soit le type de tension qui lui est appliquée [30].

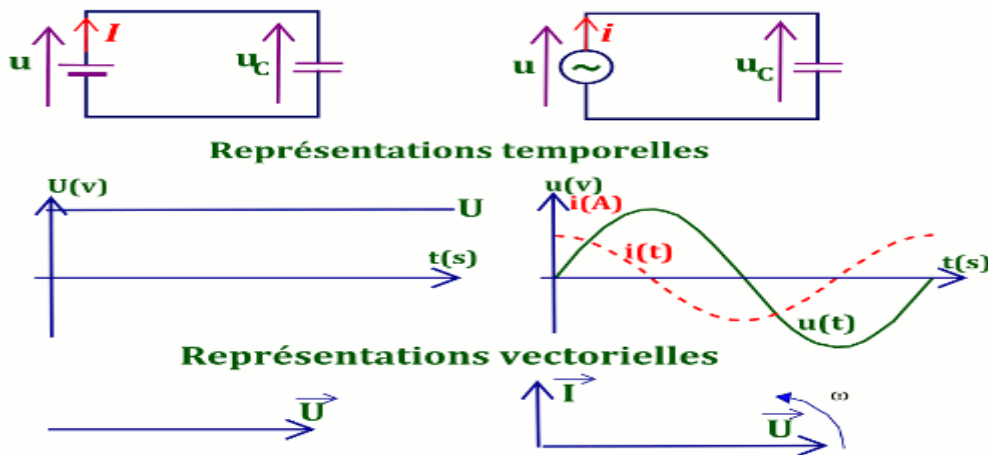


Ainsi

- Il n'y a pas de différence de comportement entre le circuit alimenté par la source continue et celui alimenté par la source alternative.
- Une résistance ne provoque aucun déphasage entre le courant et la tension.
- La valeur de la résistance ne dépend pas de la valeur de la fréquence.
- Pour une résistance pure on peut écrire $Z=R$

I.6.3.2. Comportement du condensateur

La caractéristique du condensateur est d'avoir un comportement différent en régime continu et en régime alternatif.

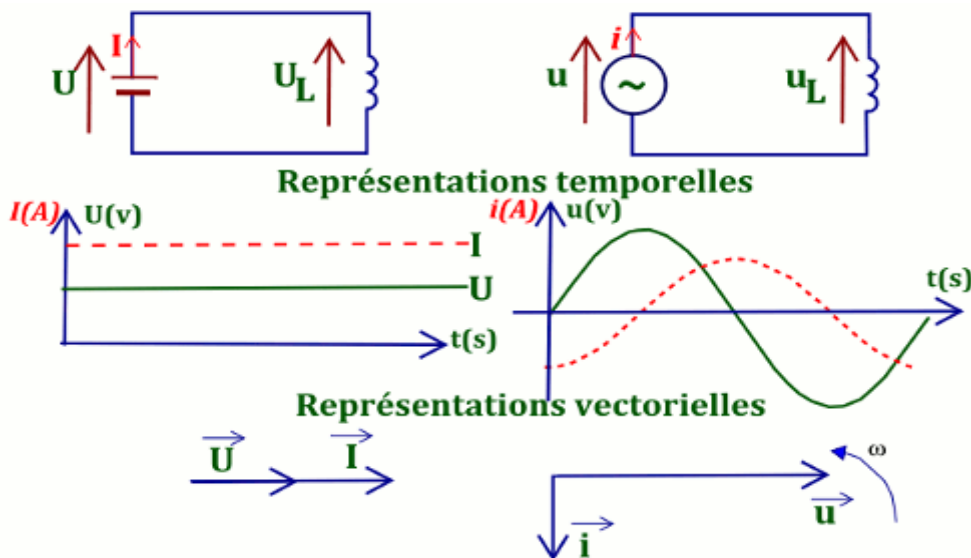


Ainsi

- Il y a une importante différence de comportement entre le circuit alimenté par une source continue et celui alimenté par une source alternative.
- Avec la source continue, il n’y a pas de courant. Le condensateur étant composé d’armatures séparées par un isolant, les électrons ne peuvent pas circuler.
- Avec la source alternative il y a un courant qui représente un échange de charges entre les armatures.
- Le courant est en avance de $\pi/2$ par rapport à la tension.
- La valeur du courant dépend de la capacité du condensateur, ainsi que de la fréquence et de la tension du générateur.
- Pour un condensateur pur, on peut écrire que l’impédance $Z=1/C\omega$ avec $\omega=2\pi f$

I.6.3.3. Comportement d’une inductance

La caractéristique de la bobine est d’avoir un comportement différent en régime continu ou en régime alternatif.



- Il y a une importante différence de comportement entre le circuit alimenté par une source continue et celui alimenté par une source alternative.

- Avec la source continue, le courant est limité par la résistance du fil qui compose la bobine. Le courant est généralement très grand car la résistance du fil est petite.
- La loi de Lenz définit que la variation de la tension induite est toujours opposée à la variation de la tension qui l'a créé. Ce qui explique que le courant est en retard de $-\pi/2$ par rapport à la tension.
- La valeur du courant dépend de l'inductance de la bobine, de la résistance de son fil, de la fréquence et de la tension du générateur.
- Pour une inductance pure, on peut écrire que l'impédance $Z=L\omega$.

Chapitre II : Electrotechnique

Chapitre II : Electrotechnique

II.1. Introduction

L'électrotechnique est la discipline qui traite le domaine de la production, transport, traitement, transformation et utilisation de l'énergie électrique [31]. Elle concerne la conception, la fabrication, l'installation et la maintenance des systèmes électriques et électroniques utilisés dans divers domaines tels que l'énergie, les télécommunications, l'automatisation industrielle, les transports, etc.

L'électrotechnique couvre un large éventail de sujets, notamment :

1. Circuits électriques : Cela concerne l'étude des lois fondamentales de l'électricité, telles que la loi d'Ohm, les circuits en série et en parallèle, les circuits à courant continu et à courant alternatif, les circuits résistifs, inductifs et capacitifs, etc.
2. Machines électriques : Cela concerne l'étude des moteurs électriques, des générateurs, des transformateurs, des bobines, des relais, etc. Les machines électriques convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique (dans le cas des moteurs) ou vice versa (dans le cas des générateurs).
3. Électronique : Cela concerne l'étude des composants électroniques tels que les transistors, les diodes, les circuits intégrés, etc. L'électronique traite de la conception et de l'analyse des circuits électroniques qui contrôlent et amplifient les signaux électriques.
4. Énergie électrique : Cela concerne la production, le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique. Cela inclut l'étude des systèmes de génération d'électricité, des réseaux de distribution, des transformateurs, des systèmes de protection, des systèmes de contrôle, etc.
5. Automatisation et contrôle : Cela concerne l'utilisation de systèmes électriques et électroniques pour automatiser les processus industriels et les systèmes de contrôle. Cela inclut l'étude des systèmes de contrôle programmables, des capteurs et des actionneurs, des systèmes de commande, etc.

L'électrotechnique est une discipline essentielle dans de nombreux secteurs et joue un rôle crucial dans notre vie quotidienne. Elle permet de concevoir et de développer des systèmes électriques et électroniques sûrs, efficaces et fiables, contribuant ainsi à l'amélioration de notre qualité de vie et à l'avancement technologique.

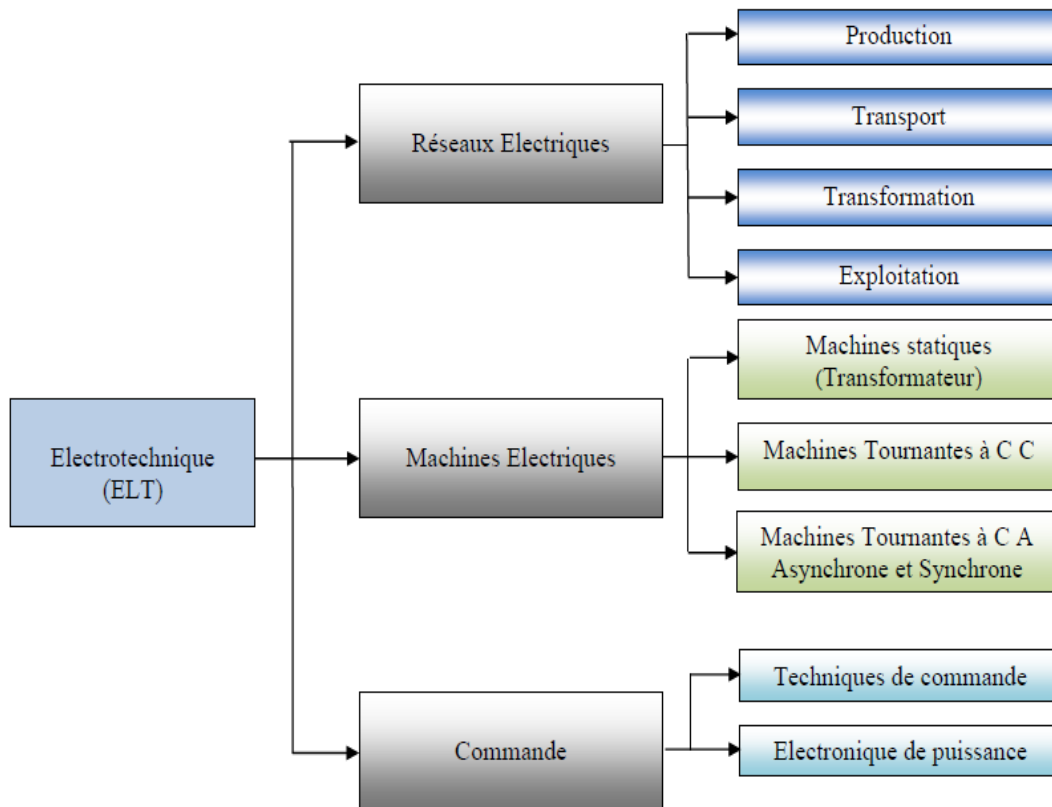


Figure II.1. Présentation de l'électrotechnique [1].

II.2. Réseau Electrique

Un réseau électrique est un système de distribution d'électricité qui permet de transporter l'énergie électrique depuis les sources de production (centrales électriques, parcs éoliens, panneaux solaires, etc.) vers les consommateurs. Il est composé de plusieurs éléments interconnectés qui assurent la transmission, la distribution et la gestion de l'électricité.

Les principaux éléments d'un réseau électrique sont :

1. Les centrales électriques : Ce sont les installations de production d'électricité qui convertissent différentes sources d'énergie (charbon, gaz, nucléaire, éolien, solaire, hydraulique, etc.) en électricité. Les centrales électriques génèrent de l'énergie électrique à haute tension.

2. Les postes électriques : Les postes électriques sont des installations qui transforment la tension de l'électricité produite par les centrales en une tension adaptée à la distribution. Ils jouent également un rôle dans la régulation et la protection du réseau électrique.

3. Le réseau de transport : Le réseau de transport est composé de lignes à haute tension (généralement de 110 kV à 400 kV) qui transportent l'électricité sur de longues distances entre les centrales électriques et les postes de distribution. Les lignes de transport sont soutenues par des pylônes et des câbles spéciaux.

4. Le réseau de distribution : Le réseau de distribution est composé de lignes à moyenne tension (généralement de 10 kV à 33 kV) qui acheminent l'électricité depuis les postes de distribution vers les transformateurs de quartier. Ces transformateurs réduisent la tension pour l'acheminer vers les consommateurs finaux.

5. Les consommateurs : Les consommateurs finaux sont les utilisateurs d'électricité, tels que les ménages, les entreprises, les industries, les institutions, etc. Ils sont raccordés au réseau de distribution et utilisent l'électricité pour alimenter leurs équipements et leurs appareils électriques.

6. Les systèmes de contrôle et de gestion : Le réseau électrique est géré par des systèmes de contrôle et de gestion qui surveillent et régulent la production, la distribution et la consommation d'électricité. Ces systèmes incluent des dispositifs de mesure, des systèmes de protection, des logiciels de gestion de réseau, etc.

L'objectif d'un réseau électrique est de fournir de l'électricité de manière fiable, sûre et efficace à tous les consommateurs. Les opérateurs de réseau électrique veillent à l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité, en gérant les fluctuations de charge et en assurant la stabilité du réseau. Ils effectuent également la maintenance et les réparations nécessaires pour garantir le bon fonctionnement du réseau électrique.

II.2.1. Organisation globale d'un réseau électrique

L'alimentation en énergie électrique comporte plusieurs étapes [1]:

- ✚ Production de l'énergie,
- ✚ Transport de cette énergie,
- ✚ Distribution de l'énergie,
- ✚ Utilisation de l'énergie

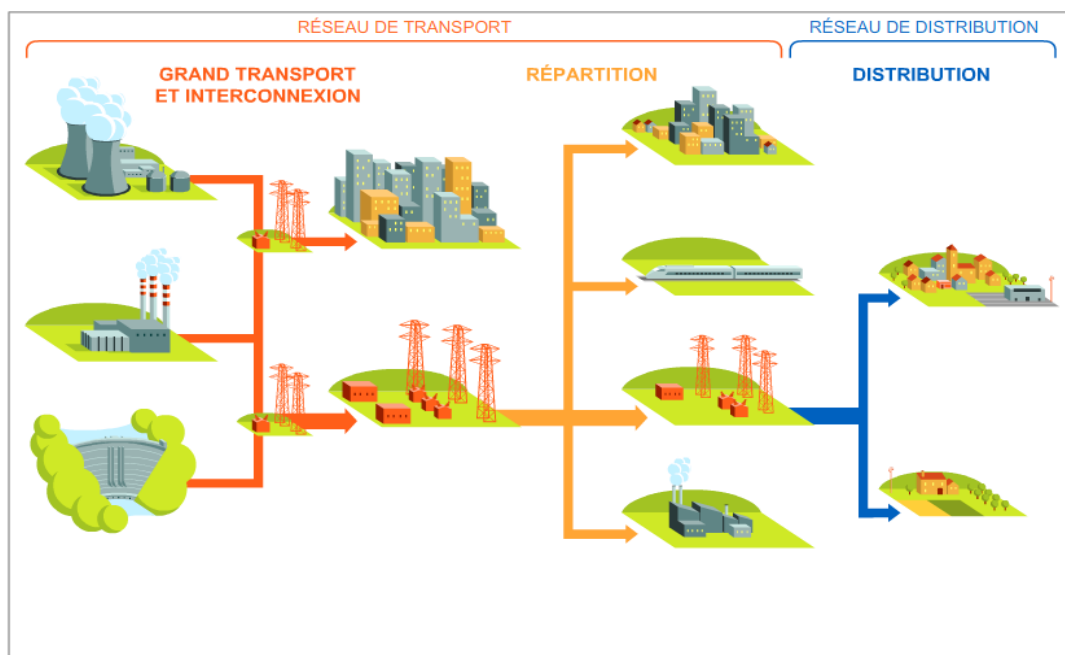


Figure II.2. Organisation globale d'un réseau électrique [32].

II.2.1.1. Production de l'énergie électrique

Les centrales électriques produisent de l'énergie électrique, en utilisant une source dite primaire, afin de les rendre exploitables et de répondre aux besoins des activités humaines [1].

- La centrale électrique hydraulique Source primaire : eau ;
- L'éolienne Source primaire : vent ;
- Les centrales thermiques : Source primaire : chaleur ;
- L'énergie **solaire** : Source primaire : rayonnement solaire convertie ;
- L'énergie de la **biomasse** c'est l'énergie que l'on peut extraire des végétaux comme le bois ou les plantes.

Dans les centrales, l'électricité est fournie par les groupes "turbo-alternateur". Les pales de la turbine sont entraînées en rotation par de la vapeur d'eau ou de l'eau ou du vent [33].



La turbine est en liaison mécanique complète avec la partie tournante de l'alternateur (*le rotor*). Ce rotor crée un champ magnétique tournant qui donne naissance à un courant électrique dans le stator (*partie fixe de l'alternateur*).



Figure II.3. Production de l'énergie électrique [34].

Les centrales thermiques

La centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur (charbon, gaz, fioul, biomasse ou déchets municipaux). La source de chaleur chauffe un fluide (souvent de l'eau) qui passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur). Cette vapeur entraîne une turbine couplée à un alternateur qui transforme l'énergie cinétique contenue dans la vapeur en énergie mécanique de rotation, puis en énergie électrique grâce à une génératrice de courant [35].

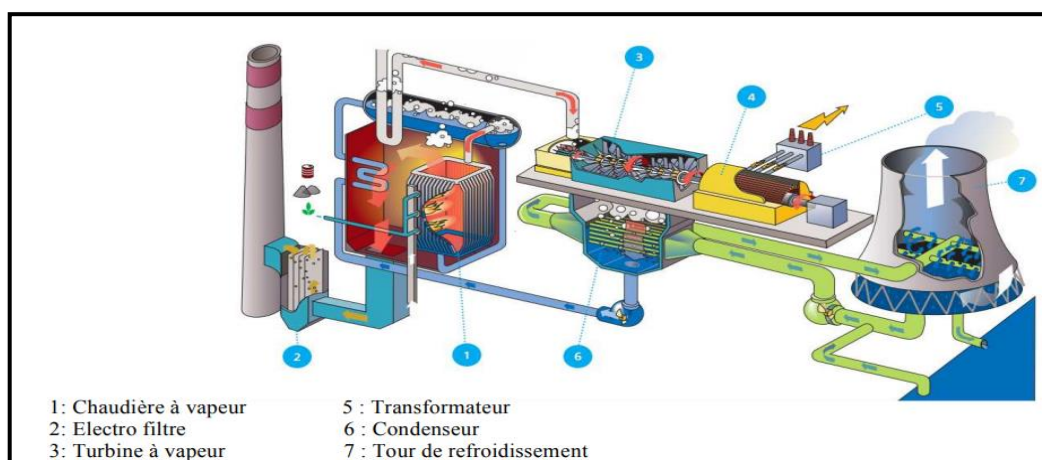


Figure II.4. Schéma d'une centrale thermique [35].

En brûlant ce combustible dans une chaudière, on obtient de la vapeur sous forte pression, laquelle entraîne des turbines à grande vitesse (1500 ou 3000 tr/mn) qui actionnent un alternateur [33].

✚ Les centrales nucléaires

Une **centrale nucléaire** est un site industriel destiné à la production d'électricité et dont la chaudière est constituée d'un ou plusieurs réacteurs **nucléaires** ayant pour source d'énergie un combustible **nucléaire**.

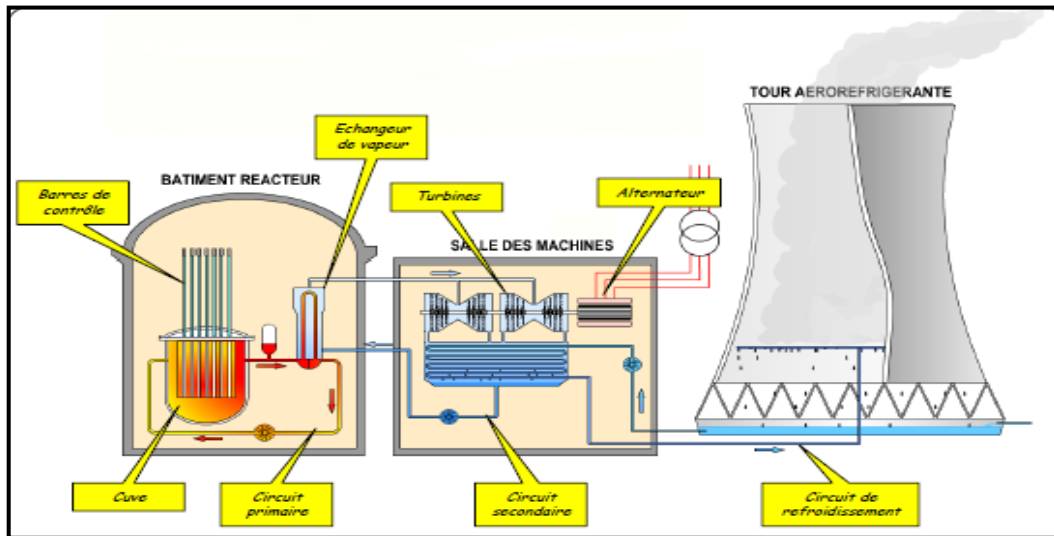


Figure II.5. Schéma d'une centrale nucléaire [33].

C'est dans le **réacteur** que se produit la fission nucléaire. Le contrôle de la réaction nucléaire se fait par les **barres de contrôle**. Pour arrêter la fission, les barres de contrôle sont plongées dans le cœur du réacteur. Le **générateur de vapeur** permet la transmission de la chaleur au **circuit secondaire**. Sous l'effet de la chaleur (365 °c), l'eau du circuit secondaire se transforme en vapeur (160 bars). Les **turbines** convertissent l'énergie reçue (vapeur sous pression) en énergie mécanique. L'alternateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique (20 kW, 50 Hz, 3000 tr/mn)[33]. Le **condenseur** refroidit la vapeur pour qu'elle reprenne une forme liquide. Un troisième circuit permet de refroidir le condenseur. L'eau chaude est pulvérisée dans une **tour aéroréfrigérante**, son contact avec l'air produit un courant d'air frais ascensionnel. Un tiers de l'eau du circuit tertiaire se transforme en vapeur d'eau (nuage).

✚ Les centrales hydrauliques

L'**énergie hydroélectrique**, ou **hydroélectricité**, est une énergie électrique renouvelable qui est issue de la conversion de l'énergie hydraulique en électricité. L'énergie cinétique du courant d'eau, est transformée en énergie mécanique par une turbine hydraulique, puis en énergie électrique par une génératrice électrique .

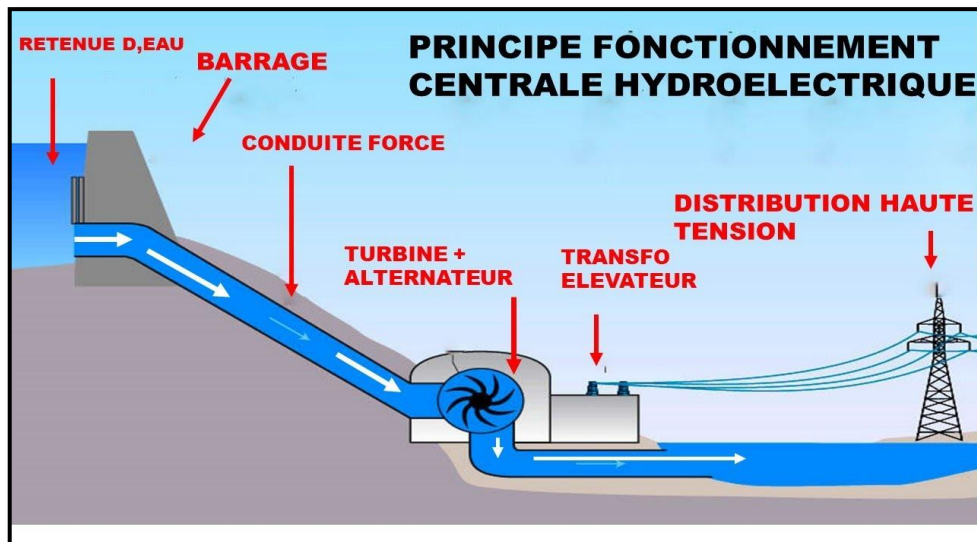


Figure II.6. Schéma d'une centrale hydraulique [36].

✚ L'énergie du vent (L'éolien)

Le procédé de conversion d'énergie par éolienne convertit l'énergie **cinétique de la masse d'air** mise en mouvement par **le vent** en énergie électrique.



Figure II.7. Schéma d'une éolienne [37].

Exercice 01 :**Choisir la bonne forme d'énergie correspondante parmi :**

Énergie thermique / énergie électrique / énergie mécanique / énergie rayonnante / énergie chimique :

- a. La forme d'énergie correspondant à la **géothermie** (source d'énergie) est
- b. La forme d'énergie correspondant au **charbon** (source d'énergie) est
- c. La forme d'énergie correspondant au **vent** (source d'énergie) est
- d. La forme d'énergie correspondant au **pétrole** (source d'énergie) est
- e. La forme d'énergie correspondant au **Soleil** (source d'énergie) est
- f. La forme d'énergie correspondant aux **marées de l'océan** (source d'énergie) est
- g. La forme d'énergie correspondant au **gaz** (source d'énergie) est

Solution :

- a. La forme d'énergie correspondant à la **géothermie** (source d'énergie) est :
énergie thermique
- b. La forme d'énergie correspondant au **charbon** (source d'énergie) est :
énergie chimique
- c. La forme d'énergie correspondant au **vent** (source d'énergie) est :
énergie mécanique
- d. La forme d'énergie correspondant au **pétrole** (source d'énergie) est :
énergie chimique
- e. La forme d'énergie correspondant au **Soleil** (source d'énergie) est :
énergie rayonnante / énergie thermique
- f. La forme d'énergie correspondant aux **marées de l'océan** (source d'énergie) est :
énergie mécanique
- g. La forme d'énergie correspondant au **gaz** (source d'énergie) est :
énergie chimique

Exercice 02 : compléter les phrases suivantes :

- 1 – Le rôle d'une centrale électrique est
 - 2 – L'élément commun à toutes les centrales électriques est
 - 3 – Un alternateur convertit
 - 4 – Un alternateur est constitué
- C'est le mouvement de l'aimant près de la bobine qui crée aux bornes de celle-ci

Solution :

- 1 – Le rôle d'une centrale électrique est **de produire de l'énergie électrique.**
 - 2 – L'élément commun à toutes les centrales électriques est **l'alternateur.**
 - 3 – Un alternateur convertit **de l'énergie mécanique en énergie électrique.**
 - 4 – Un alternateur est constitué **d'un rotor (partie mobile contenant un aimant) et d'un stator (partie fixe contenant une bobine de fil conducteur).**
- C'est le mouvement de l'aimant près de la bobine qui crée aux bornes de celle-ci **un courant électrique.**

Exercice 03 : Répondre aux questions suivantes :

- 1-Quelle ressemblance et quelle différence y a-t-il entre une centrale thermique et une centrale nucléaire ?
- 2- Quelle est la condition pour que l'alternateur fournisse de l'énergie électrique ?
- 3-Par quoi est remplacée la turbine dans les centrales éoliennes ?

Solution :

1-Quelle ressemblance et quelle différence y a-t-il entre une centrale thermique et une centrale nucléaire ?

L'énergie des centrales nucléaires provient de la fission d'atomes d'uranium, l'énergie libérée de cette fission permet le chauffage de l'eau et sa transformation en vapeur dans la chaudière, alors que l'énergie des centrales thermiques est produite à partir de la combustion de combustibles fossiles (charbon, gaz naturel ou pétrole) qui permet le chauffage de l'eau et sa transformation en vapeur dans la chaudière.

2. Quelle est la condition pour que l'alternateur fournisse de l'énergie électrique ?

Toutes les centrales électriques possèdent un alternateur.

Pour produire de l'énergie électrique, l'alternateur doit être mis en rotation (c'est souvent le rôle d'une turbine).

3.Par quoi est remplacée la turbine dans les centrales éoliennes ?

Dans les centrales éoliennes, la turbine est remplacée **par les pales.**

Exercice 04 : Répondre aux questions suivantes :

1. Quel élément permet de mettre en mouvement l'alternateur
2. Comment s'appelle la partie mobile de l'alternateur ? De quoi est-elle composée ?
3. Comment s'appelle la partie fixe de l'alternateur ? De quoi est-elle composée ?

Solution :

1. La turbine permet de faire tourner la partie mobile de l'alternateur.
2. Le STATOR est la partie fixe de l'alternateur, elle se compose d'un enroulement de barres de cuivre
3. Le ROTOR est la partie mobile de l'alternateur, elle se compose d'électroaimant/aimant

II.2.1.2. Le réseau de transport : Utilisant des lignes à haute tension, dont le rôle est d'assurer les mouvements d'énergie au niveau national (entre les principales centrales de production et les grands centres consommateurs) et international (interconnexion avec les pays voisins), et de permettre l'équilibre production - consommation.

Les lignes THT permettent de transporter de grandes quantités d'électricité sur de longues distances avec des pertes minimales. Ces lignes, dont la tension est supérieure à 100 kv constituent le réseau de grand transport ou d'interconnexion. Elles relient les pays entre eux et alimentent certaines grandes zones urbaines.

Les lignes HT constituent le réseau de répartition ou d'alimentation régionale. Elles acheminent l'électricité aux industries lourdes, aux grands consommateurs électriques comme les transports ferroviaires. Leur tension est comprise entre 10kv et 100kv [31].

II.2.1.3. Les réseaux de distribution : à moyenne et basse tension, dont le rôle est l'acheminement de détail à l'ensemble des consommateurs.

Les lignes MT permettent le transport de l'électricité à l'échelle locale vers les petites industries et les commerces. Elles font également le lien entre les clients et les postes de transformations.

Les lignes BT les plus petites lignes du réseau. Leur tension est comprise entre 220 et 380 v. Ce sont celles qui nous servent tous les jours pour alimenter nos appareils ménagers (clientèle domestique, petite industrie) [31].

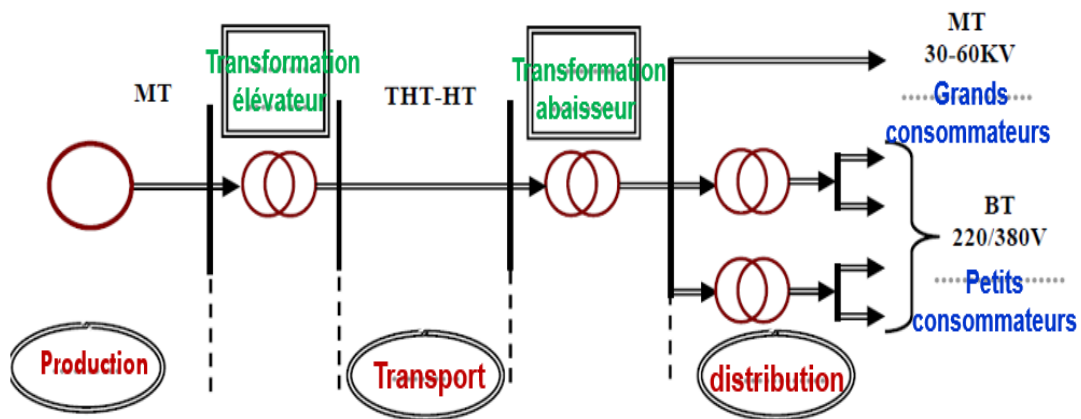
II.2.1.4. Sous-stations

Le poste de couplage – appelé également sous-station – établit le lien entre deux niveaux de réseau. Le transformateur en constitue le cœur : il fait passer la tension d'un niveau de réseau à un autre, de la très haute tension à la haute tension et de la haute tension à la moyenne tension.

II.2.1.5. Stations de transformation

Dans les stations de transformation, la moyenne tension est convertie en basse tension de 380 et 220 volts, utilisée par les ménages et les artisans.

La figure suivante illustre les étapes de la production à l'utilisation du réseau électrique



- ❑ **Moyenne Tension (30-60KV) (MT)**
- ❑ **BASSE Tension (220/380V) (BT)**
- ❑ **Haute tension (63 KV et 90 KV volts)**
- ❑ **Très haute tension (225 KV volts et 400 KV)**

II.2.2. Le réseau domestique

Le réseau domestique est alimenté en basse tension, soit 230 V en monophasé (entre phase et neutre) ou 400 V en triphasé.

II.2.2.1. Régime monophasé

Un courant monophasé peut être produit à partir d'un courant triphasé en connectant une des trois phases et le neutre, ou en connectant deux des trois phases [2].

L'expression d'une tension sinusoïdale monophasée est la suivante :

$$U(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (\text{II.1})$$

Avec :

U(t) : Valeur instantanée.

U_{max} : Amplitude maximale.

(ωt + φ₀) : Phase instantané.

φ₀ : Déphasage par rapport à l'origine de phase.

ω : Pulsation en (rd/s).

La période T en seconde (S) est :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{II.2})$$

S'il s'agit d'un courant sinusoïdal, l'expression s'écrira alors comme suit :

$$i(t) = I_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (\text{II.3})$$

✚ Valeur moyenne et valeur efficace :

Soit un courant sinusoïdal défini par :

$$i(t) = I_{max} \cdot \sin(\omega t) \quad (\text{II.4})$$

▪ Intensité moyenne

$$I_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_{max} \cdot \sin(\omega t) dt = \frac{I_{max}}{T} \left[-\frac{\cos(\omega t)}{\omega} \right]_0^T = -\frac{I_{max}}{T\omega} [\cos(\omega T) - \cos(0)] = -\frac{I_{max}}{T} [1 - 1] \Rightarrow I_{moy} = 0 \quad (\text{II.5})$$

$$I_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i^2(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_{max}^2 \cdot \sin^2(\omega t) dt = \frac{2I_{max}^2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} dt = \frac{2I_{max}^2}{2T} \left[t - \frac{\sin(2\omega t)}{2\omega} \right]_0^{\frac{T}{2}} = \frac{I_{max}^2}{T} \left[\left(\frac{T}{2} - \frac{1}{2\omega} \sin\left(2\omega \frac{T}{2}\right) \right) - 0 \right] = \frac{I_{max}^2}{2} \Rightarrow I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (\text{II.6})$$

De même pour la tension, on aura :

$$U_{moy} = 0 \text{ et } U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

✚ Puissance en régime monophasé :

▪ Puissance instantanée :

En électricité, la puissance p (en watts) est égale au produit de la tension par le courant :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (\text{II.7})$$

En courant alternatif, comme u et i varient en fonction du temps, la puissance n'est pas constante, on appelle p ou $p(t)$ la puissance instantanée.

▪ **La puissance active**

La puissance active (ou puissance réelle) correspond à la puissance moyenne fournie au cours d'une période donnée. Notée P , elle est exprimée en watts (W).

Pour un courant $i(t)$ et une tension $u(t)$ de période T , son expression est :

$$P = \frac{1}{T} \int_T u(t) \cdot i(t) \cdot dt \quad (\text{II.8})$$

Pour une tension sinusoïdale de valeur efficace U_{eff} et un courant sinusoïdal de valeur efficace I_{eff} déphasé d'un angle φ par rapport à la tension, cette expression devient :

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos\varphi \quad (\text{II.9})$$

$$P = \frac{U_{\text{max}} \cdot I_{\text{max}}}{2} \cos\varphi \quad (\text{II.10})$$

En régime sinusoïdal, le rapport entre valeur maximale et efficace vaut 2.

φ , correspond alors au **facteur de puissance K**.

$$K = \cos\varphi \quad (\text{II.11})$$

▪ **Puissance apparente :**

La puissance apparente en régime alternatif est le produit de la valeur efficace de la tension électrique aux bornes du dipôle par la valeur efficace du courant électrique traversant ce dipôle.

La puissance apparente se note S et est exprimée en voltampères (VA).

$$S = U \cdot I \quad (\text{II.12})$$

▪ **Puissance réactive :**

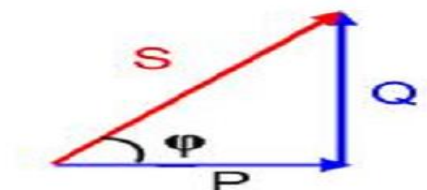
En régime sinusoïdal, la **puissance réactive** est la partie imaginaire de la puissance apparente complexe. Elle se note Q , est exprimée en voltampères réactifs (**VAR**) et on a :

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (\text{II.13})$$

La puissance réactive traduit les échanges d'énergie entre une source et une inductance ou une capacité.

Relation entre S , P et Q (régime sinusoïdal) :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (\text{II.14})$$



$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (\text{II.15})$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (\text{II.16})$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \quad (\text{II.17})$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U.I \quad (\text{II.18})$$

II.2.2.2. Régime triphasé

Pourquoi le régime triphasé ?

La production et le transport de l'énergie électrique se font sous forme **triphasee**, et en régime **sinusoïdal**.

Avantages :

- Pour fournir une **même puissance** à un utilisateur une ligne triphasée subit moitié **moins de pertes** par effet Joule qu'une ligne monophasée.
- Le choix d'une ligne triphasée permet aussi une **économie de cuivre** [38].

II.2.2.2.1. Définition

Trois tensions ou trois courant sinusoïdaux, de même fréquence, forment un système triphasé de tensions ou de courants si elles ou ils sont déphasés les uns par rapport aux autres de 120° ou $2\pi/3$

Système triphasé équilibré :

Un système triphasé est équilibré si : lorsqu'il est formé de trois grandeurs ayant la même valeur efficace et elles sont régulièrement déphasées entre elles.

Le système formé par ces trois grandeurs est dit **direct** si, en les ayant repérées par les indices 1, 2 et 3,

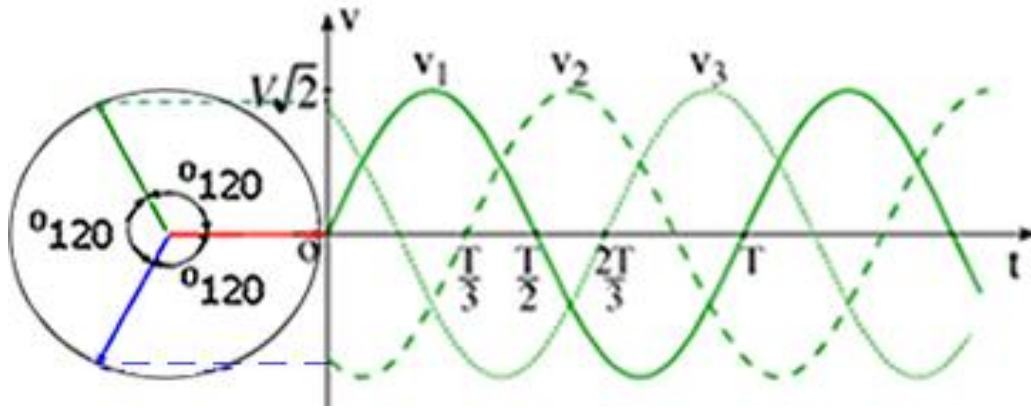
Et la deuxième est **déphasée** en retard de $2\pi/3$ et la troisième de $4\pi/3$.

Les trois tensions ont comme expressions [2] :

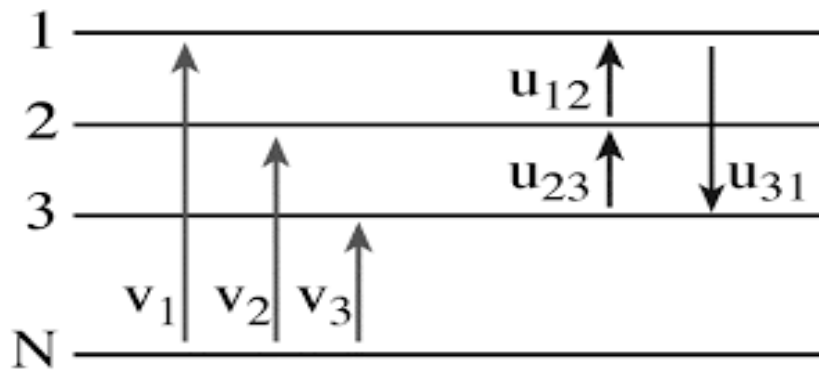
$$v_1 = V \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t) \quad (\text{II.19})$$

$$v_2 = V \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (\text{II.20})$$

$$v_3 = V \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (\text{II.21})$$



II.2.2.2.2. Les tensions simples et composées



✚ Tensions simples :

Les tensions simple v_1 , v_2 et v_3 représentent les différences de potentiel entre chaque phase et le neutre.

En régime équilibré les tensions simples ont la même valeur efficace. $V_1 = V_2 = V_3 = V$.

✚ Tensions composées :

Les tensions composées U_{12} , U_{23} et U_{31} sont les différences de potentiel entre les phases. Elles sont liées aux tensions simples par les relations :

$$U_{12} = V_1 - V_2 \quad (\text{II.22})$$

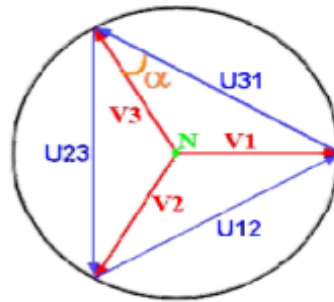
$$U_{23} = V_2 - V_3 \quad (\text{II.23})$$

$$U_{31} = V_3 - V_1 \quad (\text{II.24})$$

En régime équilibré les tensions composées ont la même valeur efficace :

$$U_{12} = U_{23} = U_{31} \quad (\text{II.25})$$

✚ Représentation de Fresnel :



La relation entre les tensions simple et les tensions composées :

$$U = V \cdot \sqrt{3} \quad (\text{II.26})$$

II.2 2.3. Puissances en régime triphasé

Comme en alternatif monophasé, il y a également trois puissances à retenir en triphasé :

- La puissance active
- La puissance réactive.
- La puissance apparente

✚ La puissance active

C'est la puissance de fonctionnement.

- Si on prend l'exemple d'un moteur triphasé, elle correspond à la puissance électrique absorbée.
- Cette puissance est transformée en puissance mécanique (permettant la rotation de l'arbre du moteur).
- La puissance active se nomme "P" et elle s'exprime en Watt (W)

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (\text{II.27})$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

$$(\vec{I}_1, \vec{V}_1) = (\vec{I}_2, \vec{V}_2) = (\vec{I}_3, \vec{V}_3) = \varphi$$

Sachant que la tension entre phase :

$$U = V \cdot \sqrt{3}$$

On peut écrire alors :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (\text{II.28})$$

✚ Puissance réactive

Pour un moteur, c'est la puissance magnétisante. C'est elle qui crée le champ magnétique du moteur. La puissance réactive se nomme "Q" et elle s'exprime en Volt Ampère réactif (VAR).

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (\text{II.29})$$

✚ Puissance apparente

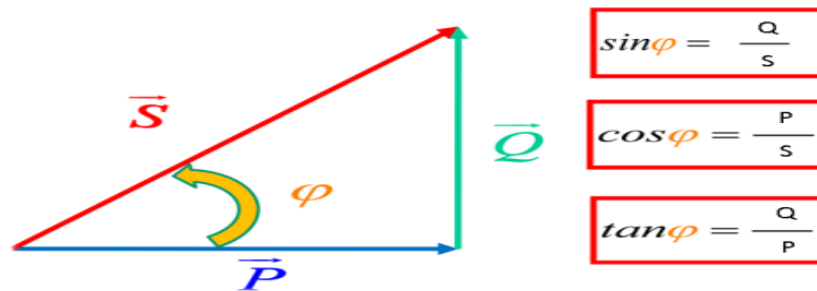
C'est la puissance de dimensionnement. Elle rassemble la puissance active et réactive. On utilise cette puissance pour choisir le matériel électrique.

La puissance apparente se nomme "S" et elle s'exprime en Volt Ampère (VA).

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (\text{II.28})$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{II.29})$$

✚ Triangle des puissances :



II.2 2.4. Théorème de Boucherot

Dans un circuit alimenté sous une tension sinusoïdale de fréquence constante, la **puissance active totale** : P_{tot} dissipée dans un groupement de dipôles est égale à la **somme des puissances actives** dissipées par chaque dipôle.

Il en est de même pour la **puissance réactive** : Q_{tot} .

La connaissance de la **puissance active totale** et de la **puissance réactive totale** permet de connaître la **puissance apparente totale** S_{tot} de l'installation et d'en déduire le **courant consommé**.

$$P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i \quad (\text{II.30})$$

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (\text{II.31})$$

La puissance apparente S_{tot} de l'ensemble n'est pas la somme des puissances apparentes.

On calcule d'abord P_{tot} et Q_{tot} , on déduit la puissance apparente de l'ensemble avec le triangle des puissances :

$$S_{\text{tot}} = \sqrt{P_{\text{tot}}^2 + Q_{\text{tot}}^2} \quad (\text{II.32})$$

Exercice 1 :

Le moteur monophasé d'une machine à laver consomme 5 A sous une tension de 230 V ; 50 Hz. Son facteur de puissance est $\cos \varphi = 0,75$.

1. Calculer les puissances apparente, active et réactive absorbées par le moteur.
2. Calculer l'énergie électrique consommée pour un fonctionnement ininterrompu de 2 h.
3. Le prix du kWh étant à 9,55 DA, calculer le coût de ce fonctionnement.

Solution :

1. Calcul de puissances apparente, active et réactive absorbées par le moteur.

$$S = U \cdot I = 230 \times 5 = 1150 \text{ VA}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi = 1150 \times 0,75 = 862,5 \text{ W}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \Rightarrow Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1150^2 - 862,5^2} = 760,65 \text{ VAR}$$

2. Calcul de l'énergie électrique consommée pour un fonctionnement ininterrompu de 2 h.

$$E = P \cdot t = 862,5 \times 2 = 1,72 \text{ kWh}$$

3. Calcul du coût de ce fonctionnement

$$\text{Coût} = 1,72 \times 9,55 = 16,47 \text{ DA}$$

Exercice 2

Une installation monophasée, 230 V AC, 50 Hz, comporte 30 lampes à incandescence de 75 W chacune et un moteur monophasé de puissance utile de 2,25 kW, de rendement $\eta = 0,75$ et de facteur de puissance $\cos \varphi = 0,6$.

Représenter le schéma de l'installation et noter les grandeurs ci-dessus

1. Calculer l'intensité I_1 du courant dans les lampes
2. Calculer la puissance active absorbée par le moteur
3. Calculer l'intensité I_2 du courant dans le moteur
4. Calculer la puissance active totale P_t de l'installation, la puissance réactive totale Q_t de l'installation et la puissance apparente totale S_t de l'installation.
5. Calculer l'intensité totale I_t en ligne de l'installation, et le facteur de puissance de l'installation

Solution :

$$1. P_{1L} = U \cdot I_{1L} \cdot \cos \varphi_1 \Rightarrow I_{1L} = \frac{P_{1L}}{U \cdot \cos \varphi_1}$$

$\cos \varphi_1 = 1$, car la lampe est un dipôle résistif, le déphasage entre \vec{I}_1 et \vec{V}_1 est nul, $\cos \varphi_1 = 1$

$$I_{1L} = \frac{P_{1L}}{U} = \frac{75}{230} = 0,33 \text{ A}$$

Les 30 lampes consomment donc :

$$I_1 = 10 \cdot I_{1L} = 10 \times 0,33 = 3,3 \text{ A}$$

2. $\eta = \frac{P_U}{P_{abs}} \Rightarrow P_{abs} = \frac{P_U}{\eta} = \frac{2.25}{0.75} = 3KW$
3. $P_{abs} = U \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \Rightarrow I_2 = \frac{P_{abs}}{U \cdot \cos\varphi_2} = \frac{3000}{230 \times 0.6} = 21.74A$
4. Calculer la puissance active totale P_t de l'installation, la puissance réactive totale Q_t de l'installation et la puissance apparente totale S_t de l'installation.
- ✚ Calcul de la puissance active totale P_t de l'installation :
- $$P_t = P_L + P_{abs} = 30 \cdot P_{1L} + P_{abs} = 30 \times 75 + 2250 = 4500W = 4.5KW$$
- ✚ Calcul de la puissance réactive totale Q_t de l'installation :
- $$Q_t = Q_L + Q_M$$
- $Q_L = 0$ car les lampes sont de nature résistifs.
- Donc $Q_t = Q_M$
- $$Q_M = P_{abs} \cdot \tan\varphi_2$$
- $$\cos\varphi_2 = 0.6 \Rightarrow \varphi_2 = \arccos(0.6) = 53.13^\circ$$
- $$\tan\varphi_2 = \tan(53.13^\circ) = 1.33$$
- $$Q_M = P_{abs} \cdot \tan\varphi_2 = 3000 \times 1.33 = 3990 VAR = 3.99KVAR$$
- $$Q_t = Q_M = 3.99KVAR$$
- ✚ Calcul de la puissance apparente totale S_t de l'installation
- $$S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{4.5^2 + 3.99^2} = 6KVA$$
5. Calculer l'intensité totale I_t en ligne de l'installation, et le facteur de puissance de l'installation.
- ✚ Calcul de l'intensité totale I_t en ligne de l'installation :
- $$S_t = U \cdot I_t \Rightarrow I_t = \frac{S_t}{U} = \frac{6000}{230} = 26.09A$$
- ✚ Calcul du facteur de puissance de l'installation :
- $$K = \cos\varphi = \frac{P_t}{S_t} = \frac{4.5}{6} = 0.75$$

II.3. Machine électrique

Les machines électriques sont classées selon le diagramme suivant :

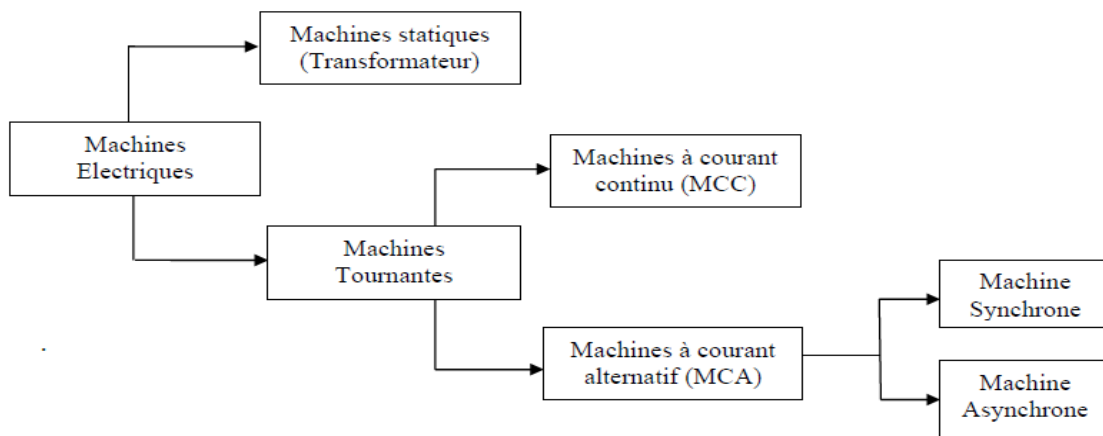
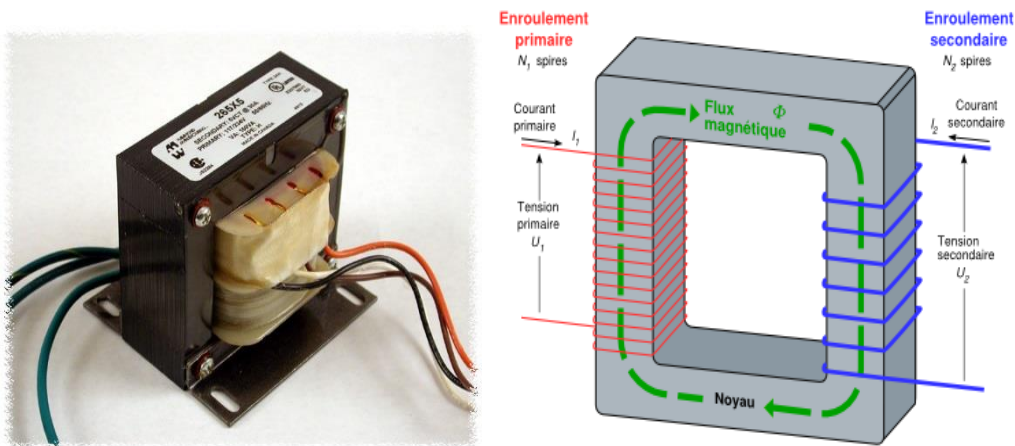


Figure II.8. Diagramme de classification des machines électriques [1].

II.3.1. Machine statique

Machine statique ou transformateur permet de transformer une tension alternative sinusoïdale en une tension alternative sinusoïdale de la même fréquence que la première mais avec une amplitude différente.



Transformateur monophasé parfait

Figure II.9. Structure d'un transformateur [39].

II.3.1.1. Structure et fonctionnement

Le transformateur est constitué essentiellement de [38] :

- ❖ Un **noyau** (circuit magnétique) permettant de **canaliser le flux magnétique**.
- ❖ Un enroulement isolé électriquement relié à la source alternative : c'est le **primaire**.
- ❖ Un autre enroulement est le siège d'une force électromagnétique induite : c'est le **secondaire**.

II.3.1.2. Principe de Fonctionnement

L'enroulement primaire est alimenté par une source de tension sinusoïdale U_1 . Cette tension produit dans le primaire un courant i_1 alternatif qui crée dans le circuit magnétique un flux magnétique variable. La variation de ce flux crée dans l'enroulement secondaire une force électromotrice sinusoïdale. Ainsi apparaît aux bornes du secondaire, une tension alternative sinusoïdale U_2 .

Le rapport de transformation $m = U_2 / U_1 = N_2 / N_1 = i_1 / i_2$;

Le transformateur est élévateur de tension si $U_2 > U_1$ et il est abaisseur de tension si $U_2 < U_1$.

II.3.1.3. Types de transformateur

Il y a deux types principaux de transformateurs, le type *cuirassé* et le type à *colonnes*.

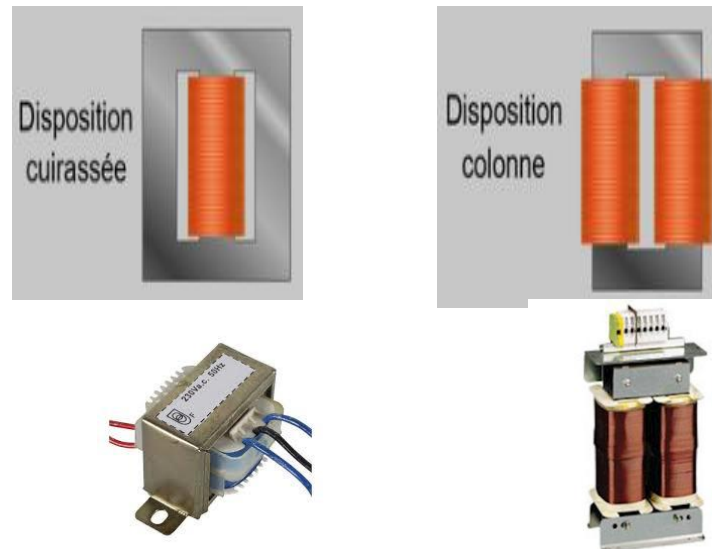


Figure II.10. Types de transformateur [38].

II.3.1.4. Plaque signalétique d'un transformateur

Elle comporte essentiellement les éléments suivants [38]:

- La fréquence f (Hz).
- La tension primaire U_{1n} (ou tension nominale primaire).
- La tension secondaire à vide U_{20} ($I_2=0$).
- La puissance apparente nominale $S_n=U_{1n}.I_{1n}=U_{20}.I_{2n}$

II.3.1.5. Applications [38]

- En Electronique :
 - (a) alimentation à basse tension ;
 - (b) adaptation d'impédance ;
- Electrotechnique :
 - (a) transformation de la tension pour le transport et la distribution d'électricité.
 - (b) alimentation à basse tension (par exemple, lampes halogènes)
- Mesure :
 - (a) transformateurs d'intensité de courant
 - (b) transformateurs de potentiel

Exercice 01 :

Un transformateur monophasé a les caractéristiques suivantes :

$$(230 / 24 \text{ V } 50 \text{ Hz } 63 \text{ VA})$$

- 1- Calculer le courant primaire nominal I_{1N} et le courant secondaire nominal I_{2N} .
- 2- A la mise sous tension d'un transformateur, il se produit un courant d'appel très important (de l'ordre de $25 I_{1N}$) pendant une dizaine de millisecondes. Evaluer le courant de mise sous tension.

Solution :

Courant de mise sous tension d'un transformateur Un transformateur monophasé a les caractéristiques suivantes : 230 V / 24 V 50 Hz 63 VA

- 1- Calculer le courant primaire nominal I_{1N} et le courant secondaire nominal I_{2N} .

$$I_{1N} = S_N / U_{1N} = 63 / 230 = 0,27 \text{ A}$$

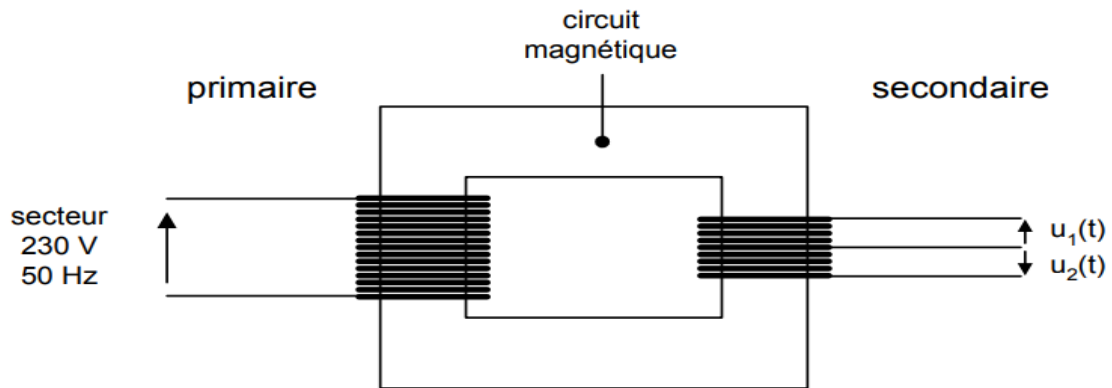
$$I_{2N} = S_N / U_{2N} = 63 / 24 = 2,6 \text{ A}$$

- 2- A la mise sous tension d'un transformateur, il se produit un courant d'appel très important (de l'ordre de 25 I_{1N}) pendant une dizaine de millisecondes. Evaluer le courant de mise sous tension.

$$I = 25 I_{1N} = 25 \times 0,27 = 6,8 \text{ A}$$

Exercice 02 :

Un transformateur à point milieu possède au secondaire deux enroulements ayant le même nombre de spires :



- 1- Quel est le rôle du circuit magnétique d'un transformateur ?
- 2- Calculer le nombre de spires des enroulements du secondaire pour que la valeur efficace des tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ soit de 10 volts.
On donne : nombre de spires du primaire : 460.

Solution :

- 1- Le circuit magnétique d'un transformateur permet de canaliser les lignes de champ magnétique entre le primaire et le secondaire.
- 2- Nombre de spires d'un des enroulements du secondaire :

$$U_2 / U_1 = N_2 / N_1 \Rightarrow N_2 = U_2 * N_1 / U_1 = 460 \times (10 / 230) = 20$$

$N_2 = 20$ spires

II.3.2. Machine tournante

Machine tournante ou convertisseur électromagnétique ou effectue une transformation entre l'énergie électrique et l'énergie mécanique. Deux régimes de fonctionnement peuvent alors exister. Une seule et même machine : conversion dans les deux sens [31].

⚡ Fonctionnement "moteur"

L'énergie électrique est transformée en énergie mécanique (schéma ci-dessous):

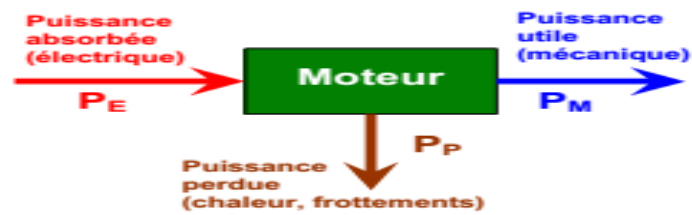


Figure II.11. Fonctionnement moteur d'une machine tournante [1].

✚ Fonctionnement "génératrice"

L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (schéma suivant):

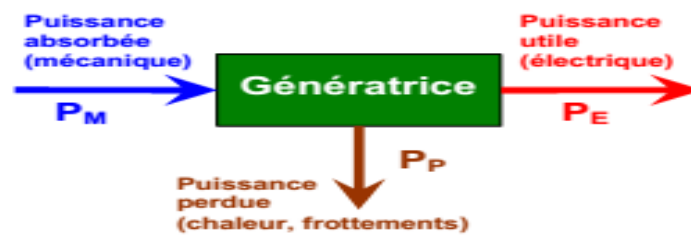


Figure II.12. Fonctionnement génératrice d'une machine tournante [1].

Les machines électriques tournantes sont réversibles, la même machine peut fonctionner en moteur ou en génératrice.

✚ La machine à courant continu :

Une action mécanique sur le rotor produit une tension continue au stator, c'est la génératrice à courant continu.

Le moteur à courant continu est constitué de [31] :

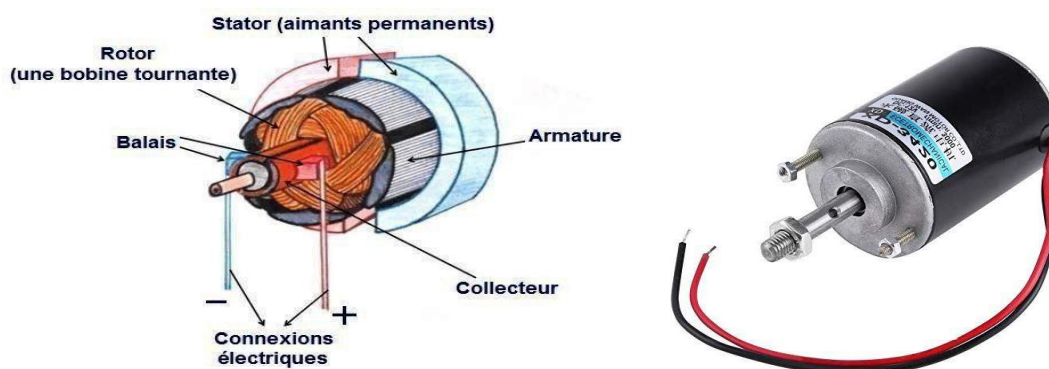


Figure II.13. Constitution du moteur à courant continu [40].

✚ **Le stator ou inducteur** : C'est un électro-aimant ou un aimant permanent. Il possède deux pôles fixes N et S (Nord et Sud). Son circuit est appelé : circuit d'excitation.

✚ **Le rotor ou induit** : Il est constitué d'un nombre important de bobinages indépendants. A l'extrémité du rotor, chacune des extrémités de chacun des bobinages est reliée à une lame du collecteur. Les lames du collecteur sont isolées entre elles.

✚ **Les balais** : Appelés couramment « charbons » Ce sont des morceaux de carbone (prismatiques) qui assurent la liaison électrique entre les fils d'alimentation de l'induit et les bobinages par l'intermédiaire du collecteur (voir Figure II-14).

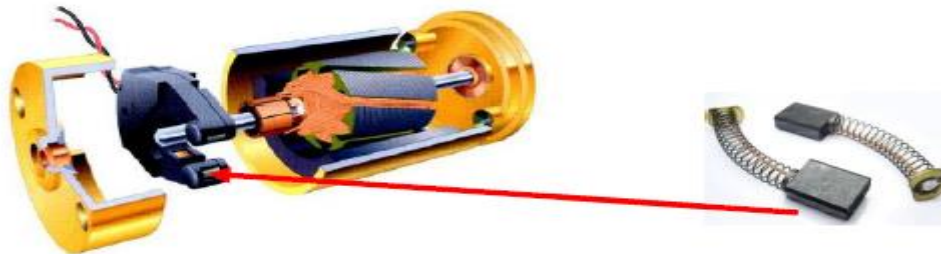


Figure II.14. Les balais [41].

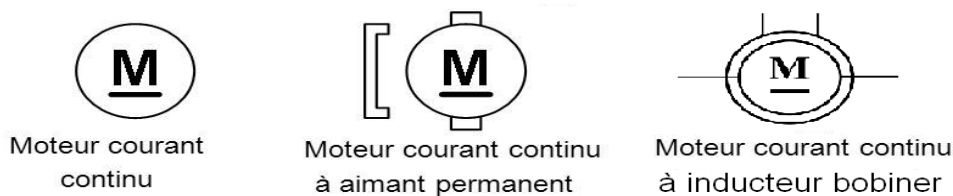


Figure II.15. Symboles de moteur à CC [42].

▪ **Le moteur pas à pas** : Un moteur pas à pas permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement angulaire.

La rotation de ce type de moteur est discontinue.

Le stator est constitué de plusieurs bobines alimentées successivement par des impulsions de courant continu.

Le rotor est constitué d'un aimant permanent qui va s'aligner sur les directions successives de l'induction ou d'un rotor denté en matériau magnétique qui s'aligne dans la position de réluctance minimale [31].

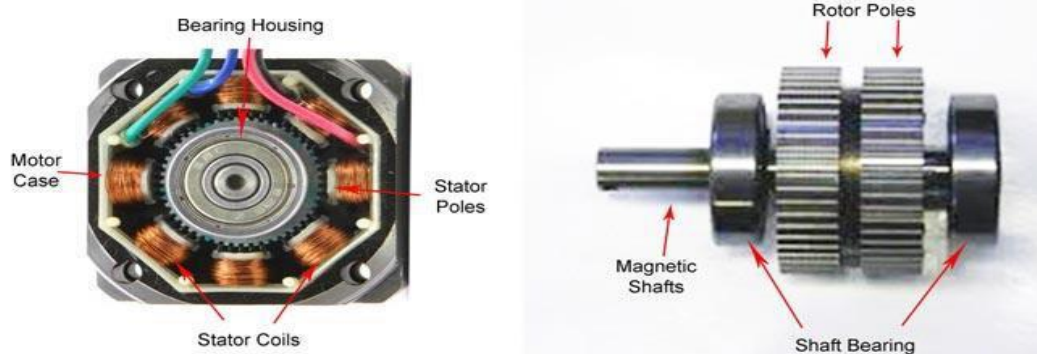




Figure II.16. Moteur pas à pas [43].

✚ La machine à courant alternatif

▪ Le **moteur asynchrone** transforme l'énergie électrique (courant alternatif triphasé) en énergie mécanique, il comporte deux parties [31] :

- 1) Une partie fixe, le stator,
- 2) Une partie mobile, le rotor.

Pour le moteur asynchrone, la vitesse du rotor n'est donc pas proportionnelle à la fréquence du courant qui alimente le stator.

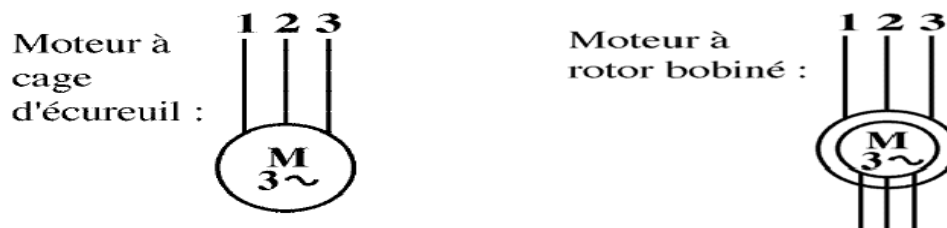


Figure II.17. Symboles du moteur Asynchrone [44].



Figure II.18. Constituants du moteur asynchrone [45].

- **Le moteur synchrone** se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La seule différence se situe au niveau de la conception du rotor. Pour le moteur synchrone, la vitesse du rotor est donc proportionnelle à la fréquence du courant triphasé qui alimente le stator.

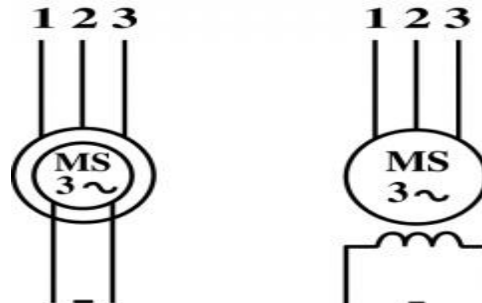


Figure II.19. Symboles du moteur synchrone [46].

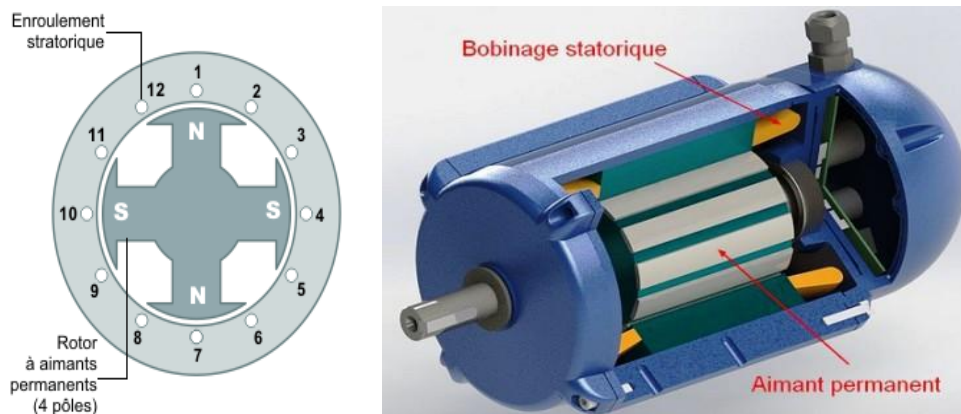


Figure II.20. Constituants du moteur synchrone [47].

II.4. Commande et électronique de puissance

Historiquement, l'Electronique de Puissance est née dans le contexte de l'Electrotechnique et le dialogue entre machines électriques et convertisseurs est bien rodé, car les performances des machines dépendent de la stratégie de commande à adopter (il faut les alimenter avec un convertisseur statique à tension et fréquence variables pour pouvoir envisager leur emploi en vitesse variable).

Pareillement, le Convertisseur Statique devient l'Acteur majeur de la Gestion de l'Energie Electrique [31].

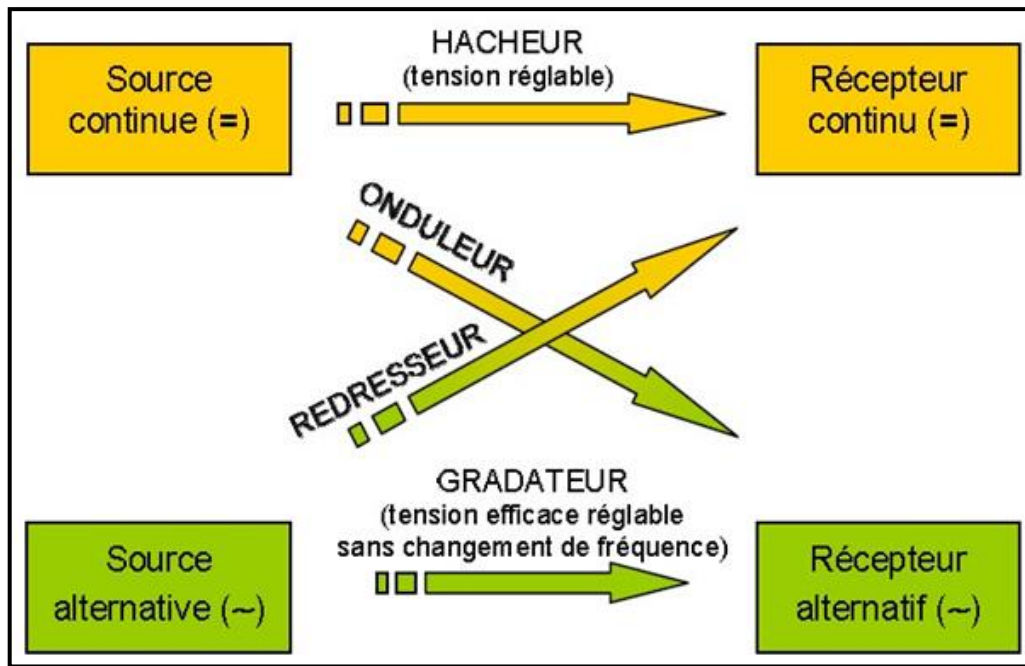


Figure II.21. Les différents types de convertisseurs Statiques [31].

II.4.1. Les convertisseurs statiques

Les convertisseurs statiques sont des circuits électriques utilisant des semi-conducteurs de puissance (diodes, thyristors, transistors ...) utilisés comme des interrupteurs, dans le but de transformer le spectre du signal (amplitudes, fréquences, phases) pour adapter la source à la charge. L'étude et la conception de ces dispositifs est souvent appelée électronique de puissance [31].

On distingue les différents convertisseurs suivants :

II.4.1.1. Les redresseurs : C'est un convertisseur alternatif-continu. La tension de sortie est non alternative (valeur moyenne non nulle).

II.4.1.2. Les onduleurs : L'onduleur est un convertisseur continu-alternatif.

II.4.1.3. Les hacheurs : Ce sont des convertisseurs continu-continu, si la tension délivrée en sortie est inférieure à la tension appliquée en entrée, le hacheur est dit dévolteur (ou abaisseur ou Buck). Dans le cas contraire, il est dit survolteur (ou élévateur ou Boost). Il existe des hacheurs capables de travailler des deux manières (Boost-Buck)

II.4.1.4. Les gradateurs : C'est un convertisseur alternatif-alternatif, qui donne en sortie une tension alternative de même fréquence que la tension d'entrée.

II.4.2 Techniques de commande avancées

Commander, c'est organiser un système dans un but fixé.

Commander un processus, c'est déterminer les commandes à lui appliquer, de manière à assurer aux variables d'état ou aux sorties qui nous intéressent un comportement précisé par un cahier des charges.

Les techniques de commande avancées sont des méthodes d'automatisation qui permettent de contrôler et de réguler de manière plus précise et efficace les systèmes industriels et les processus. Ces techniques utilisent des algorithmes sophistiqués et des outils d'optimisation pour améliorer les performances, la stabilité et la robustesse des systèmes de commande.

Voici quelques-unes des techniques de commande avancées les plus utilisées :

1. Commande prédictive basée sur un modèle (MPC) : Cette technique utilise un modèle mathématique du système pour prédire son comportement futur et générer des signaux de commande optimaux. Elle prend en compte les contraintes du système et permet d'optimiser les performances en temps réel.
2. Commande par retour d'état linéaire quadratique (LQR) : Cette technique utilise une approche basée sur la théorie de la commande optimale pour calculer les signaux de commande optimaux qui minimisent une fonction de coût quadratique. Elle est souvent utilisée pour les systèmes linéaires et offre de bonnes performances de régulation.
3. Commande par retour d'état linéaire quadratique gaussienne (LQG) : Cette technique combine la commande LQR avec un filtre de Kalman pour estimer l'état du système en présence de bruit et d'incertitudes. Elle est utilisée pour les systèmes linéaires avec des perturbations aléatoires.
4. Commande par retour d'état à horizon glissant (SMC) : Cette technique utilise une approche basée sur le concept d'horizon glissant pour générer des signaux de commande robustes et résistants aux perturbations. Elle est particulièrement adaptée aux systèmes non linéaires et à temps de réponse rapide.
5. Commande adaptative : Cette technique permet au système de s'adapter et de réguler ses paramètres de commande en fonction des variations et des changements du système. Elle est utilisée lorsque les caractéristiques du système sont incertaines ou variables.
6. Commande par logique floue : Cette technique utilise des règles linguistiques pour décrire le comportement du système et générer les signaux de commande en fonction des entrées et des sorties. Elle est utilisée pour les systèmes complexes et non linéaires où les méthodes de commande traditionnelles sont difficiles à appliquer.

Ces techniques de commande avancées permettent d'améliorer la précision, la stabilité, la robustesse et l'efficacité des systèmes de commande dans une variété d'applications industrielles et de processus.

Chapitre III : Automatique

Chapitre III : Automatique

III.1. Introduction

L'automatique est une science qui traite de la modélisation, de l'analyse, de l'identification et de la commande des systèmes dynamiques [48]. Elle a pour fondements théoriques les mathématiques, la théorie du signal et l'informatique théorique. L'automatique permet de commander un système en respectant un cahier des charges (rapidité, précision, stabilité...).

Un système est dit automatisé s'il exécute toujours le même cycle de travail pour lequel il a été programmé pour donner une valeur ajoutée à la matière d'œuvre.

▪ **La valeur ajoutée**, c'est le changement effectué sur la matière d'œuvre (matière, énergie, information) après son passage à travers le système, cette modification peut être : une transformation, transport ou bien stockage.

L'automatisation est l'ensemble des procédés visant à réduire ou à supprimer l'intervention humaine dans les processus de production.

III.2. Objectifs de l'automatisation

- ✚ Coûts,
- ✚ Qualité,
- ✚ Production,
- ✚ Délais,
- ✚ Sécurité de fonctionnement,
- ✚ Sécurité,
- ✚ Hygiène.

- La **qualité** est l'ensemble des caractéristiques du produit qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins de l'utilisateur.
- La **compétitivité** est la capacité de l'entreprise à supporter et affronter la concurrence.
- Le **coût** est la somme des charges appliquées à un élément défini au sein du réseau comptable.
- La **production** est l'ensemble des actions conduisant à la réalisation d'un produit. On distingue des productions continues, discontinues et unitaires.

L'automatisation d'un système de production permet d'augmenter la **compétitivité** d'une entreprise en augmentant la **production** tout en diminuant les **coûts** et en maintenant un niveau de **qualité** satisfaisant.

III.3. Système automatisé

Il est composé de deux parties principales :

- ✚ **Partie Opérative**
- ✚ **Partie Commande**

Et une partie secondaire :

- ✚ **Le pupitre**

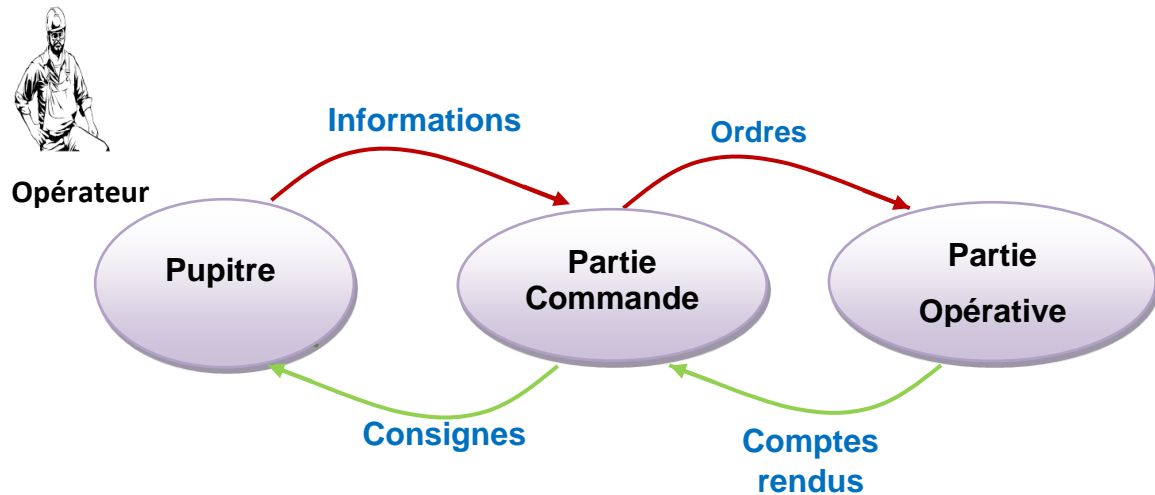


Figure III.1. Schéma bloc d'un système automatisé.

III.3.1. Partie Opérative

C'est la partie mécanique du système, elle assure les modifications de la matière d'œuvre et produit ainsi la valeur ajoutée. Elle reçoit les ordres de la partie commande et elle adresse des comptes rendus.

Elle est composée d'actionneurs et des effecteurs.

✚ **L'actionneur** : Ils exécutent les ordres reçus. Ils agissent sur le système ou son environnement. Les actionneurs transforment l'énergie reçue en énergie utile (moteurs, vérins, lampes, résistance chauffante ...)

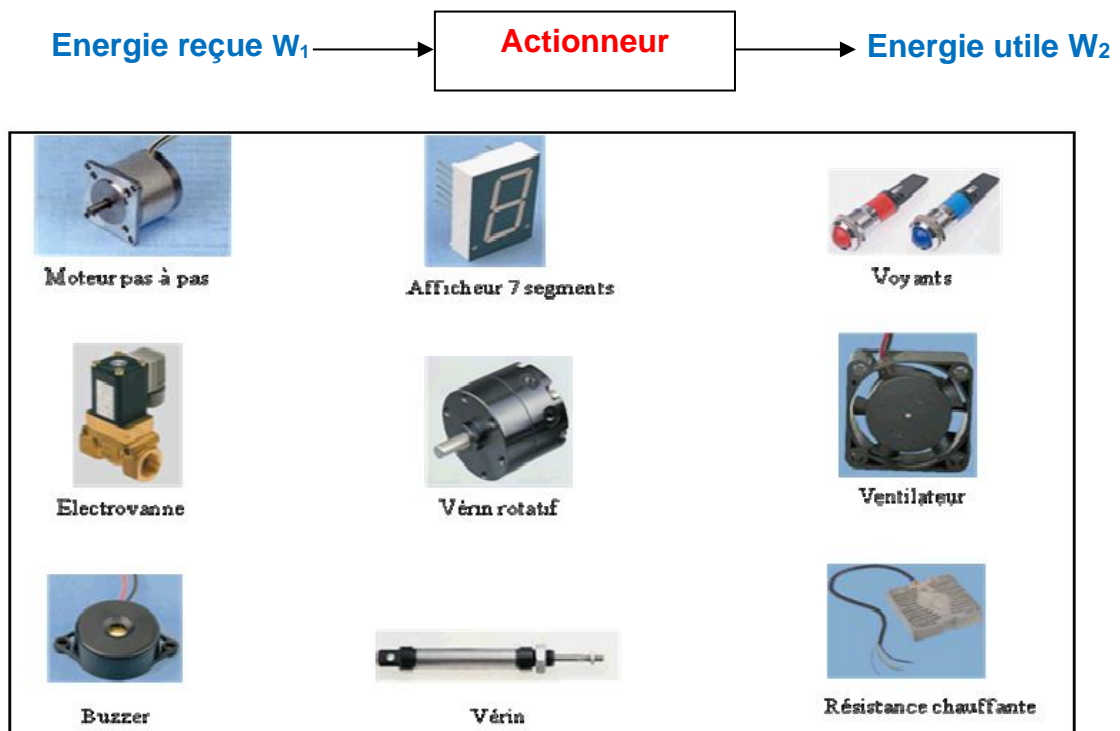


Figure III.2: Différents types des actionneurs [49].

L'effecteur : Il agit directement sur la matière d'œuvre et concrétise la valeur ajoutée. Il est en général lié à l'actionneur par une chaîne cinématique.

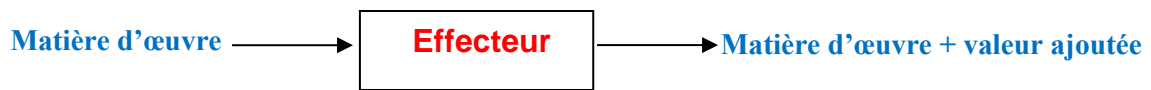


Figure III.3. Exemple d'effecteur.

III.3.2. Partie Commande :

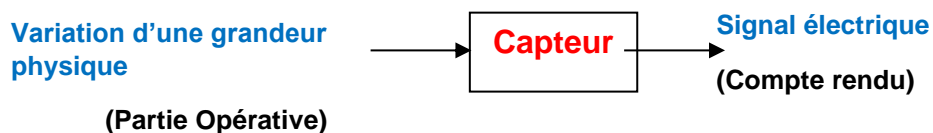
Elle donne les ordres à la partie opérative en fonction :

- ✚ Du programme qu'elle contient.
- ✚ Des informations reçues par les capteurs.
- ✚ Des consignes données par l'utilisateur.

Elle envoie aussi des informations (message, sonneries, lumière) à l'opérateur.

Entre la partie commande et la partie opérative, on trouve les **éléments d'interfaces** qui assurent la communication entre ces deux parties, ce sont les capteurs et les pré-actionneurs.

✚ **Capteur** : capable de détecter un phénomène physique dans son environnement (déplacement, présence, chaleur, lumière...), il rend compte de l'état du système. Les capteurs transforment la variation des grandeurs physiques en signaux électriques [50].



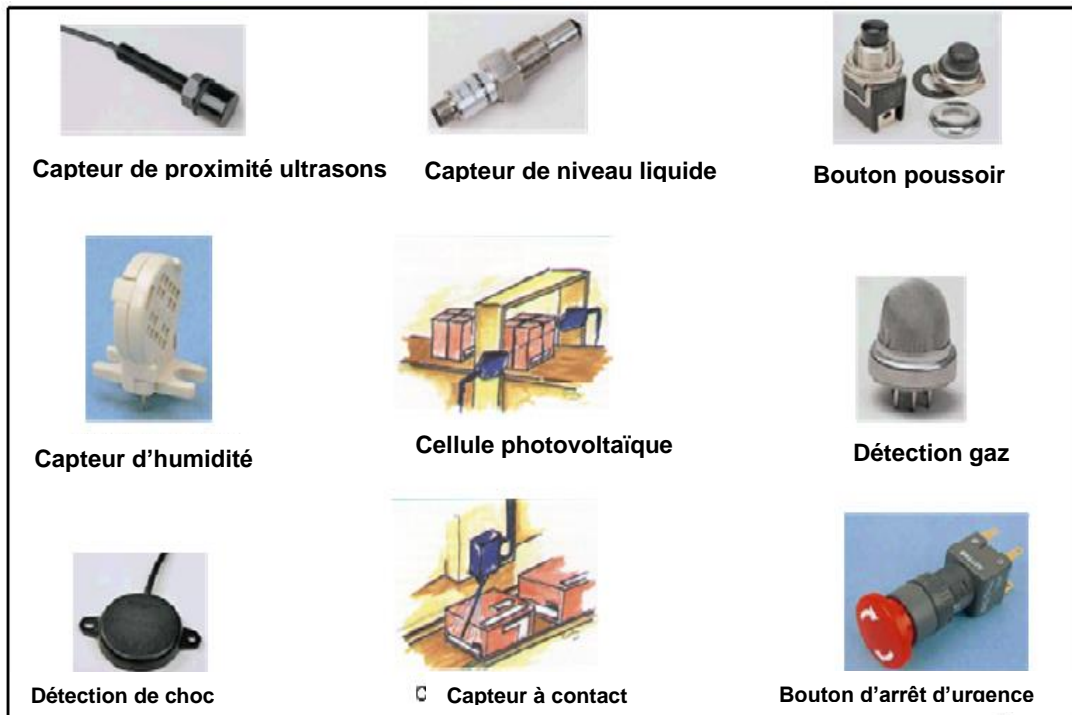


Figure III.4. Différents types de capteurs [51].

Pré-actionneur : Pré-actionneur : permet la distribution d'énergie aux actionneurs quand il reçoit des ordres de la partie commande.



Figure III.5. Exemple de pré-actionneur [52].

III.3.3. Pupitre

A travers le pupitre, l'opérateur peut communiquer avec la machine (système), c'est-à-dire envoyer des consignes à la partie commande (marche, arrêt, arrêt d'urgence...) et recevoir des informations de la partie commande de manière à ce que l'opérateur ait une vision optimale des mouvements du système.

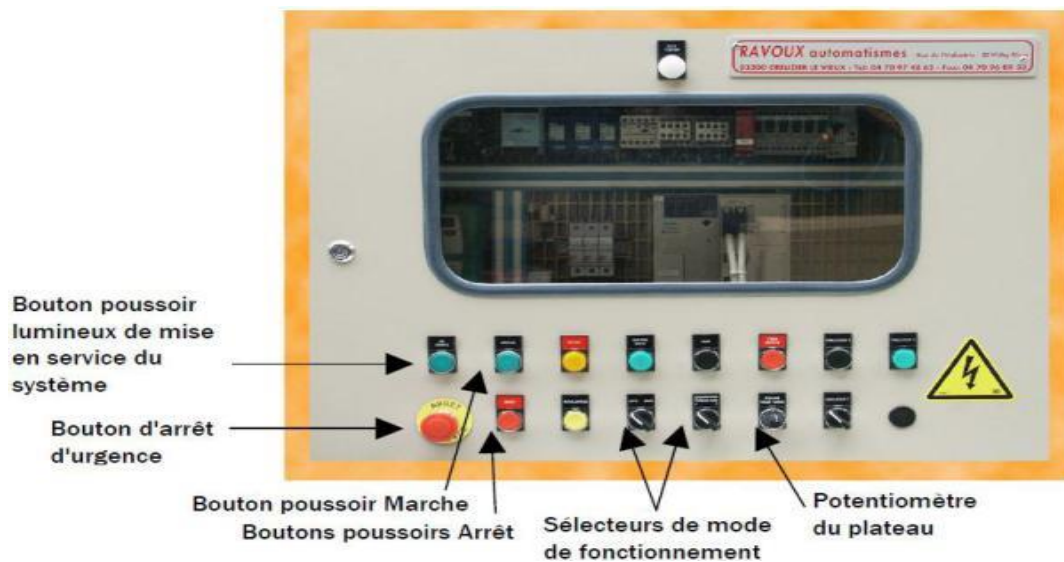


Figure III.6. Pupitre de commande [53].

III.3.4. Architecture générale d'un système automatisé

Un système automatisé est constitué d'une partie commande (PC) et d'une partie opérative (PO) : La PC envoie des ordres à la PO pour obtenir les effets voulus en fonction d'informations disponibles, comptes rendus, consignes, etc. et d'un modèle de comportement.

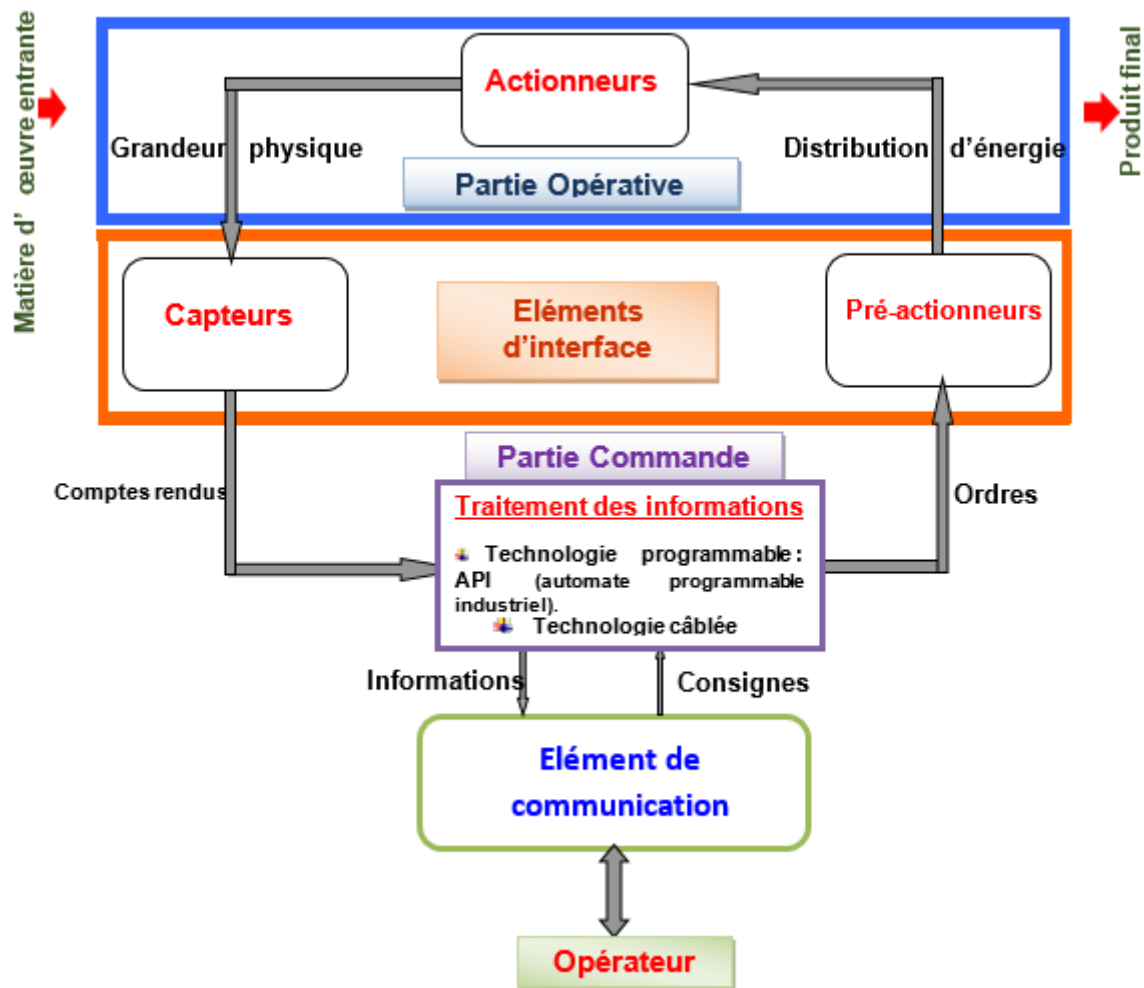


Figure III.7. Architecture générale d'un système automatisé.

La partie commande peut-être réalisée de manière :

✚ **Câblée** : L'automatisme est obtenu en reliant entre eux les différents constituants de base ou fonctions logiques par câblage. La partie commande est réalisée soit en interconnectant judicieusement des opérateurs matériels (électriques, pneumatiques, hydrauliques) soit en utilisant des portes logiques (combinatoire) et des bascules (séquentielle) [54].

La logique câblée exige un grand nombre de composants et rend les montages encombrants et chers.

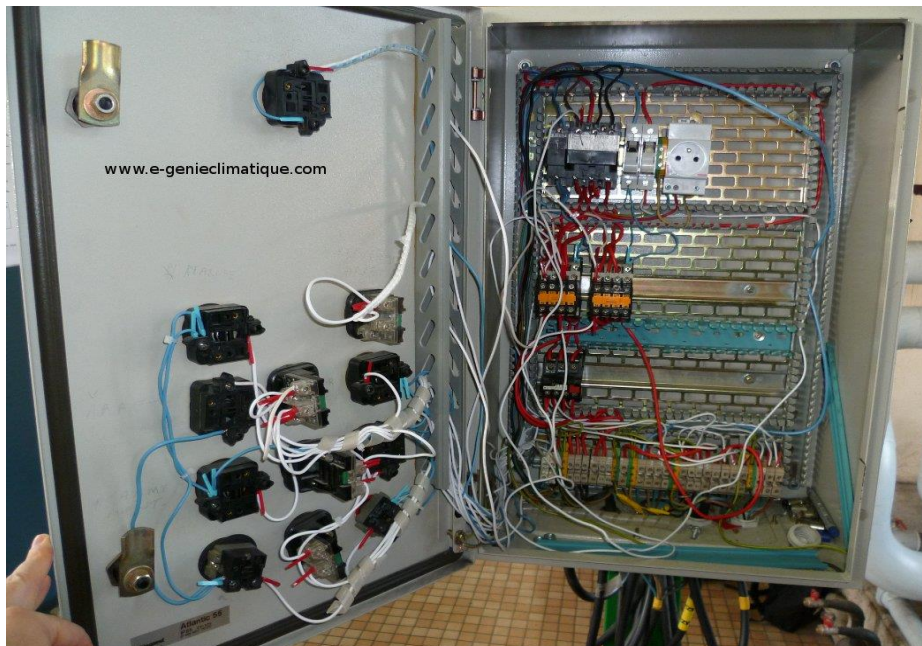


Figure III.8. *Partie commande réalisée par logique câblée.*

✚ **Programmée :** L'élément principal s'appelle l'Automate Programmable Industriel ou l'API, est un dispositif électronique numérique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les pré-actionneurs à partir de données d'entrées, de consignes et d'un programme informatique.



Figure III.9. *API (automate programmable industriel) [55].*

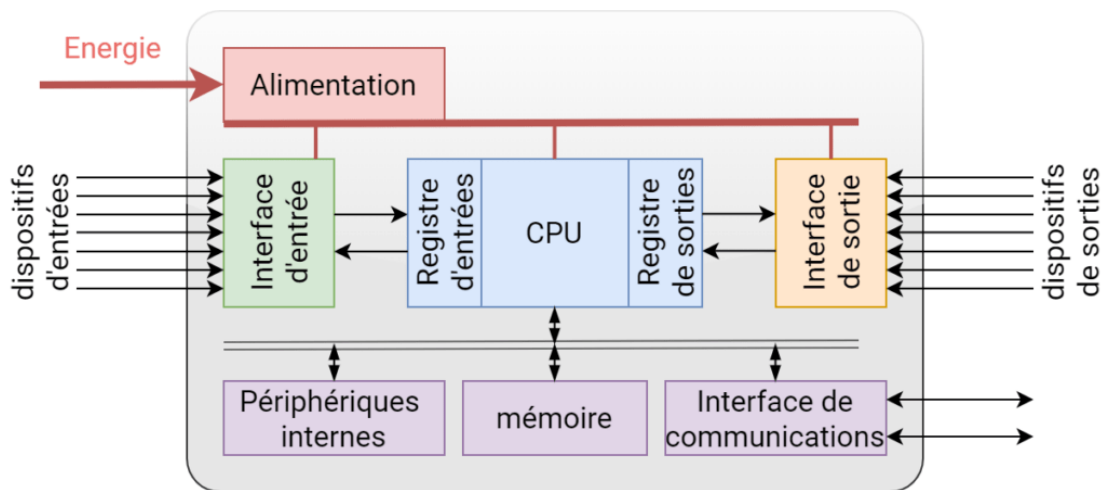


Figure III.10. Architecture interne de l'API (automate programmable industriel) [56].



Figure III.11. Partie commande réalisée par logique programmée [57].

III.3.5. Analyse Fonctionnelle d'un système automatisé (La méthode SADT)

SADT (Technique Structurée d'Analyse et de modélisation des Systèmes, (Structured Analysis and Design Technic))

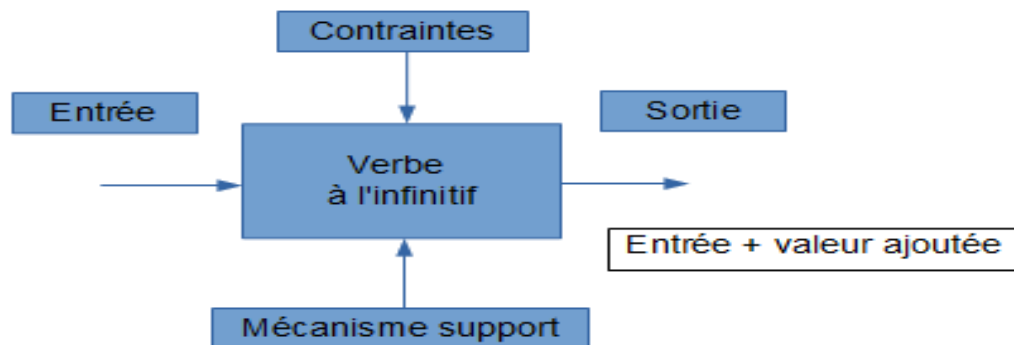
La méthode SADT a été mise au point aux Etats Unis en 1977 par Doug Ross pour la société Softech. Baptisée à l'origine IDEF0 (en anglais Integration Definition for Function Modeling), encore appelée **analyse fonctionnelle descendante**, c'est une méthode graphique qui part du général pour aller au particulier [58].

Elle permet de décrire des systèmes ou objet technique complexes par l'étude :

- Des actions qu'ils exercent sur leur environnement.
- De leur organisation fonctionnelle et structurale.

Pour faciliter l'étude, on se base sur une modélisation qui se fait à partir d'un outil graphique composé de :

- **Diagramme d'activité** (ou actigramme).



Pour réaliser un Diagramme d'activité (ou actigramme), on se pose les questions suivantes :



Sur quoi ? matière d'œuvre (M.O.E).

Pourquoi ? Apporter une valeur ajoutée à la matière d'œuvre.

Que faire ? Un verbe qui décrit l'activité d'un système.

Avec quoi ? Mécanisme support, l'élément du système qui réalise l'action,

Comment ? Selon les données de contrôle.

✚ Modélisation :

Modéliser un système technique revient à lui donner une **représentation graphique** qui le décrit et met en évidence ses caractéristiques :

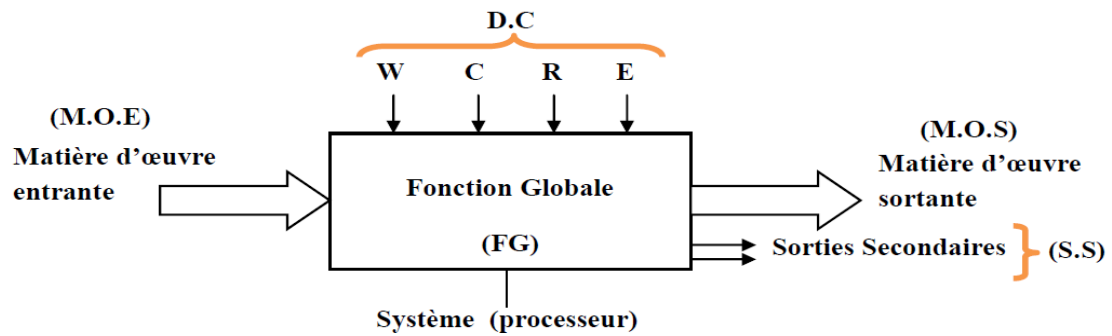


Figure III.12. Actigramme d'un système automatisé [59].

FG: La Fonction Globale ;

M.O.E: Matières d'œuvre entrante ;

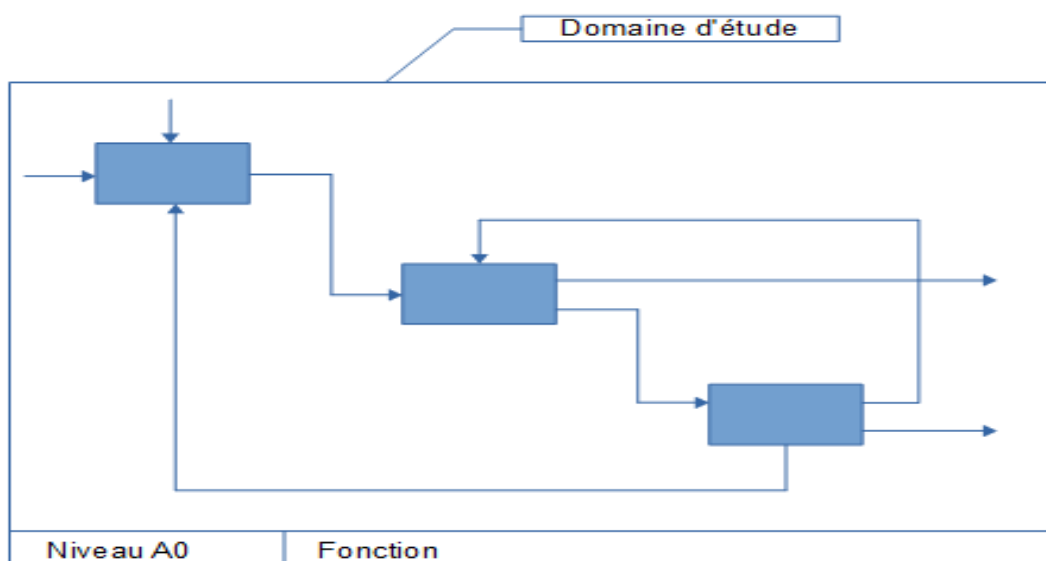
M.O.S: Matières d'œuvre sortante ;

DC : Données de contrôles ;

SS : Les sorties secondaires ;

✚ Description

L'outil S.A.D.T. décrit la constitution du système en utilisant des boîtes numérotées et des flèches entre ces boîtes [60].

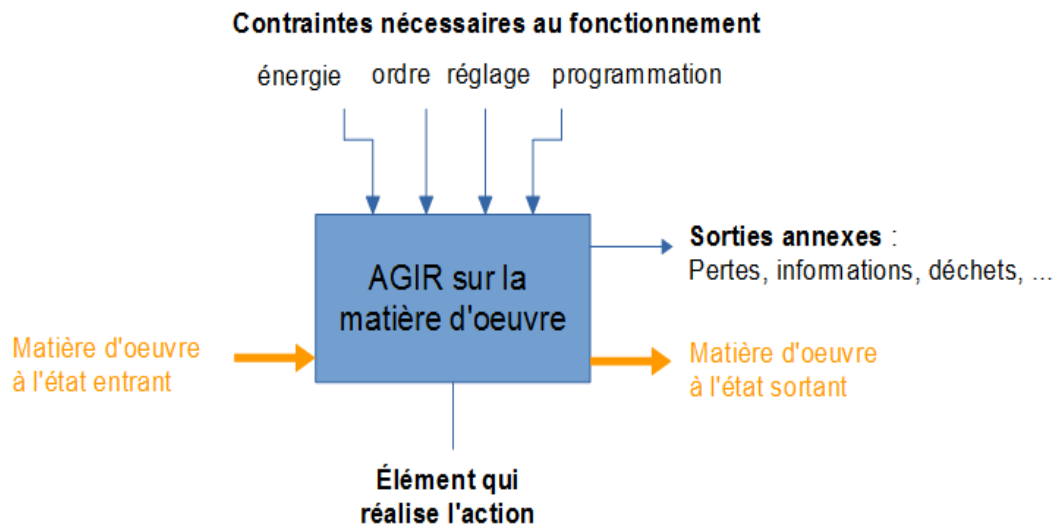


✚ Cadre de l'analyse

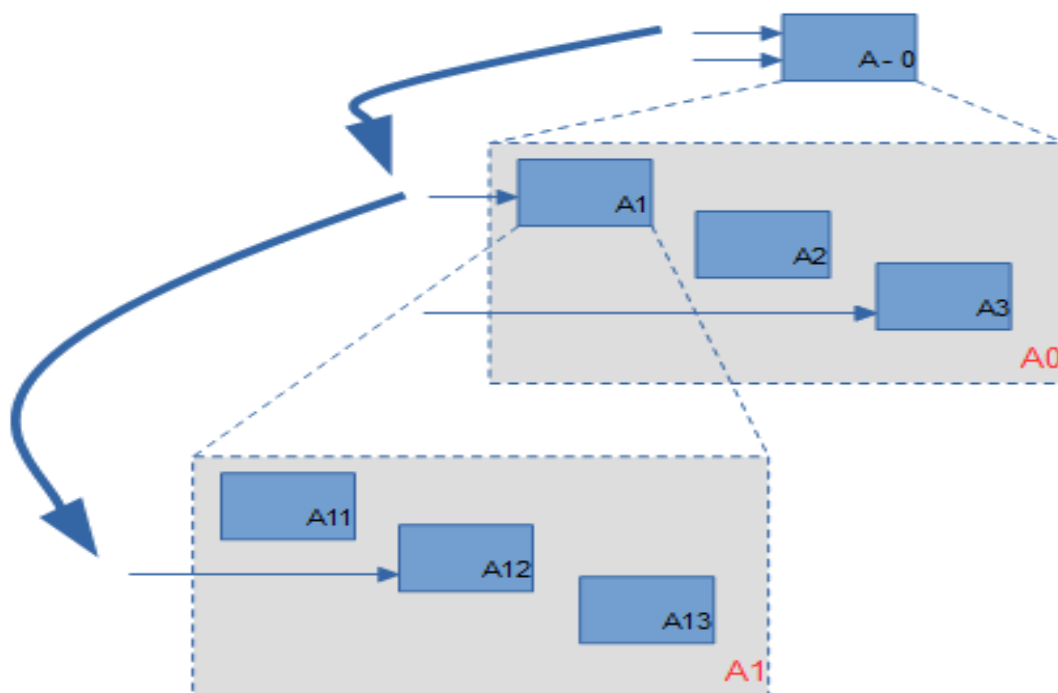
Le cadre de l'analyse doit être délimité à partir d'une étude préalable qui permet d'établir la boîte du premier diagramme. Cette boîte représentative du système global se numérote A-0 (lire A moins zéro) [60].

✚ Niveau A-0 (A moins zéro)

Il définit la fonction globale du système qui permet d'apporter de la valeur ajoutée à la matière d'œuvre.



L'outil SADT permet de réaliser une "analyse descendante" des systèmes. On va du plus général au plus détaillé, en s'intéressant aux **activités du système** [60].

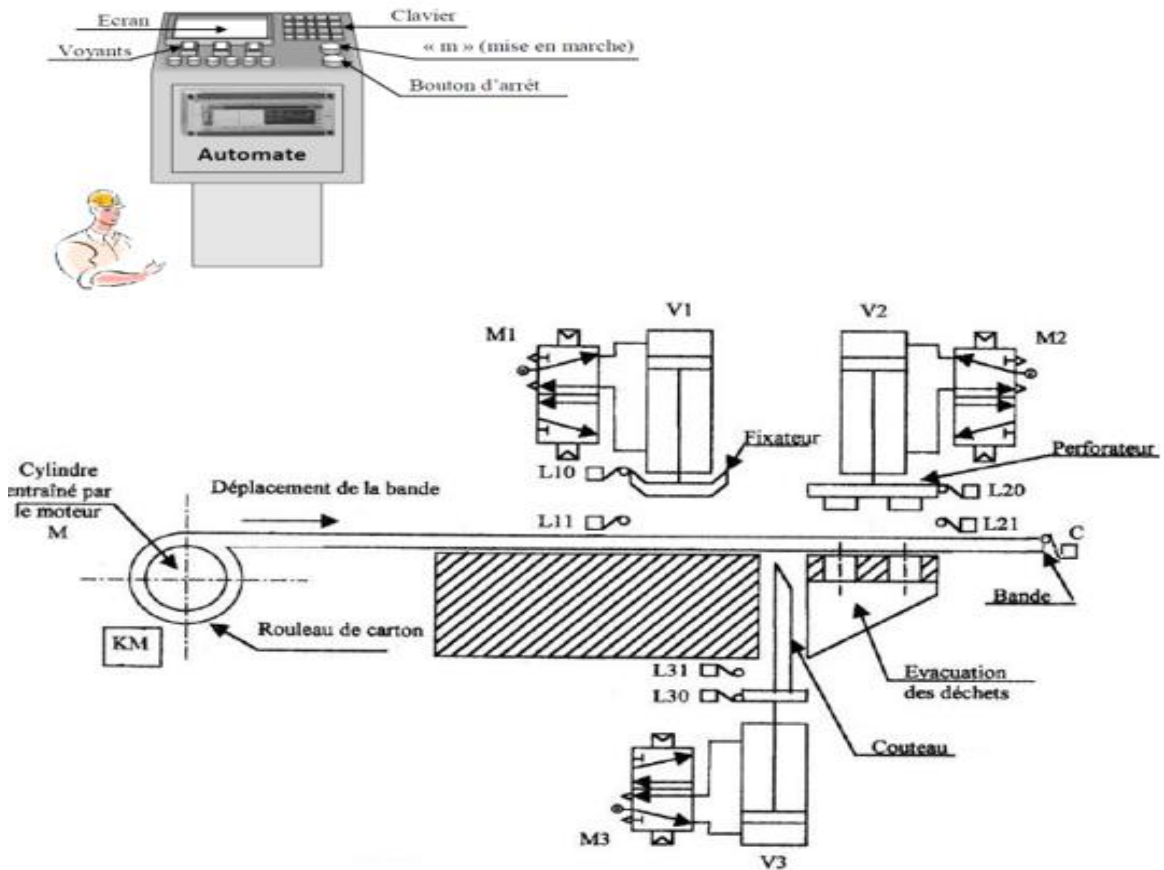


III.4. Exercices

Exercice 01 :

1. **Objectif :** Ce système vise à perforer et à découper des rubans en carton.

2. **Structuration du système :**



3. **Fonctionnement :** Le rouleau de carton est placé manuellement autour du cylindre entraîné par le moteur. En appuyant sur le bouton de démarrage m, le cycle de travail suivant est exécuté :

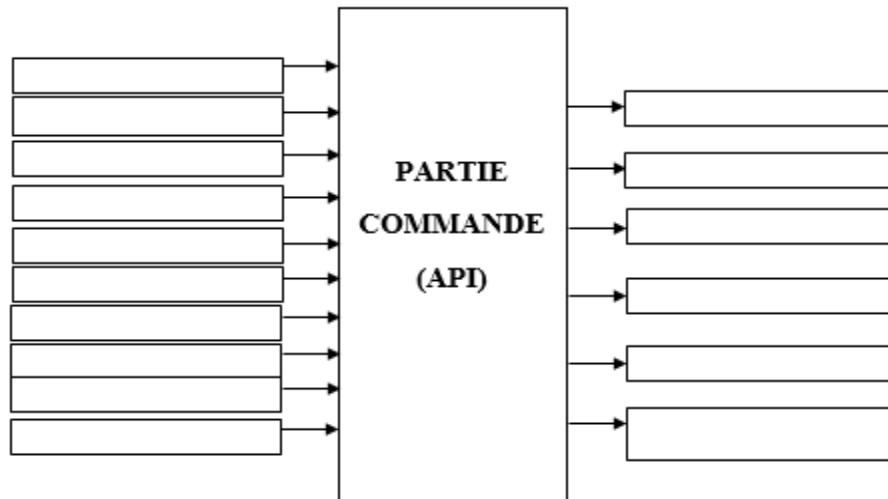
- ✚ Transmission de la bande de carton par le Cylindre entraîné par le moteur M jusqu'à ce que le capteur c la capte.
- ✚ Fixation du ruban avec le Fixateur qui est portée par le vérin V1.
- ✚ Perforation du ruban carton avec le Perforateur porté par le vérin V2.
- ✚ Couper le morceau du ruban carton perforé par le Couteau portée par le vérin V3.

4. **Travail demandé :**

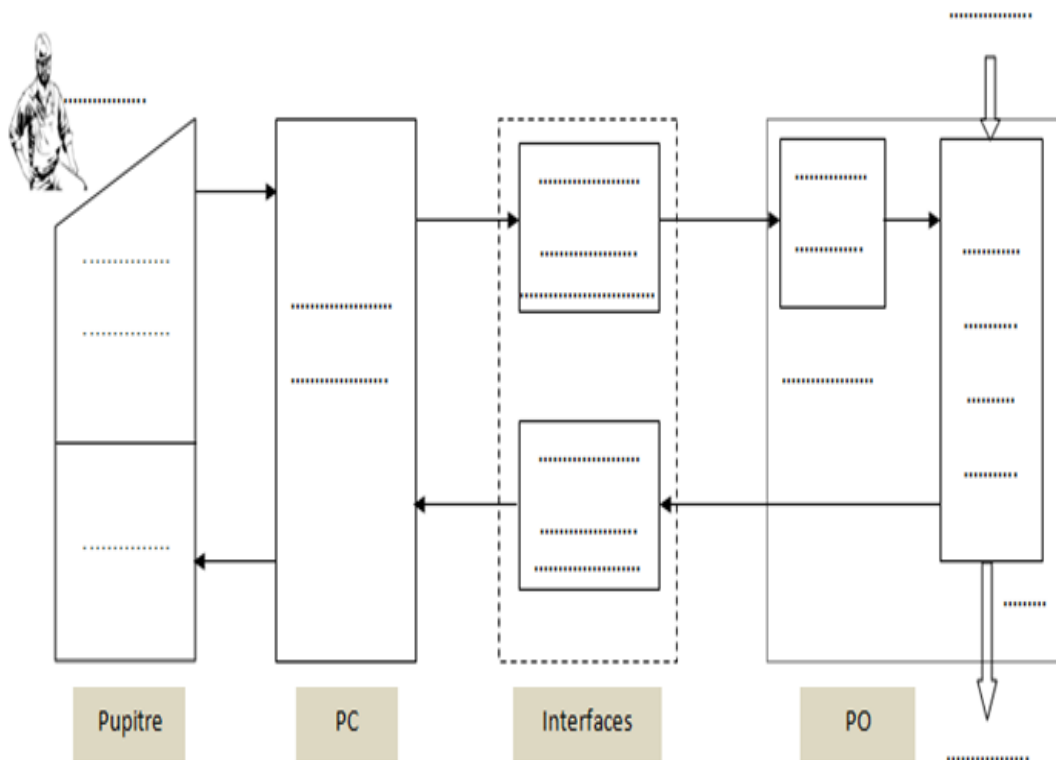
1. Quelle est partie commande du système automatisé ?
2. Compléter le tableau suivant :

Partie opérative		Eléments d'interfaces	
Actionneurs	Effecteurs	Capteurs	Pré-actionneurs

3. Classer les entrées et sorties de la partie commande selon la figure suivante :



4. Compléter la chaîne fonctionnelle de ce système :



5. Complétez le tableau suivant :

M.O.E: la matière d'œuvre entrante	
M.O.S: la matière d'œuvre sortante	
VA : la Valeur Ajoutée	
FG: <i>La Fonction Globale</i>	

6. Indiquer par une croix la nature de la matière d'œuvre :

- Information ;
- Matière ;
- Energie.

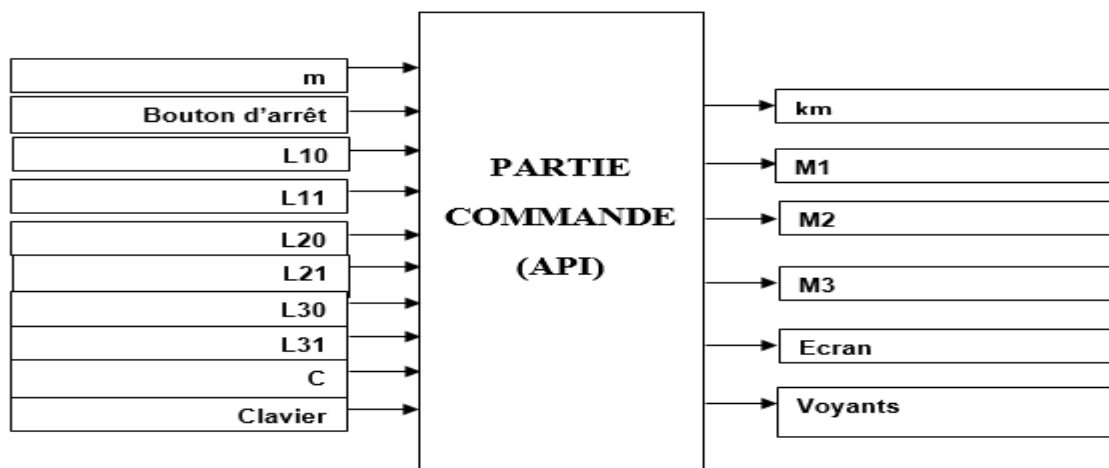
7. Quels sont les types d'énergies utilisées dans ce système ?

Correction exercice 01 :

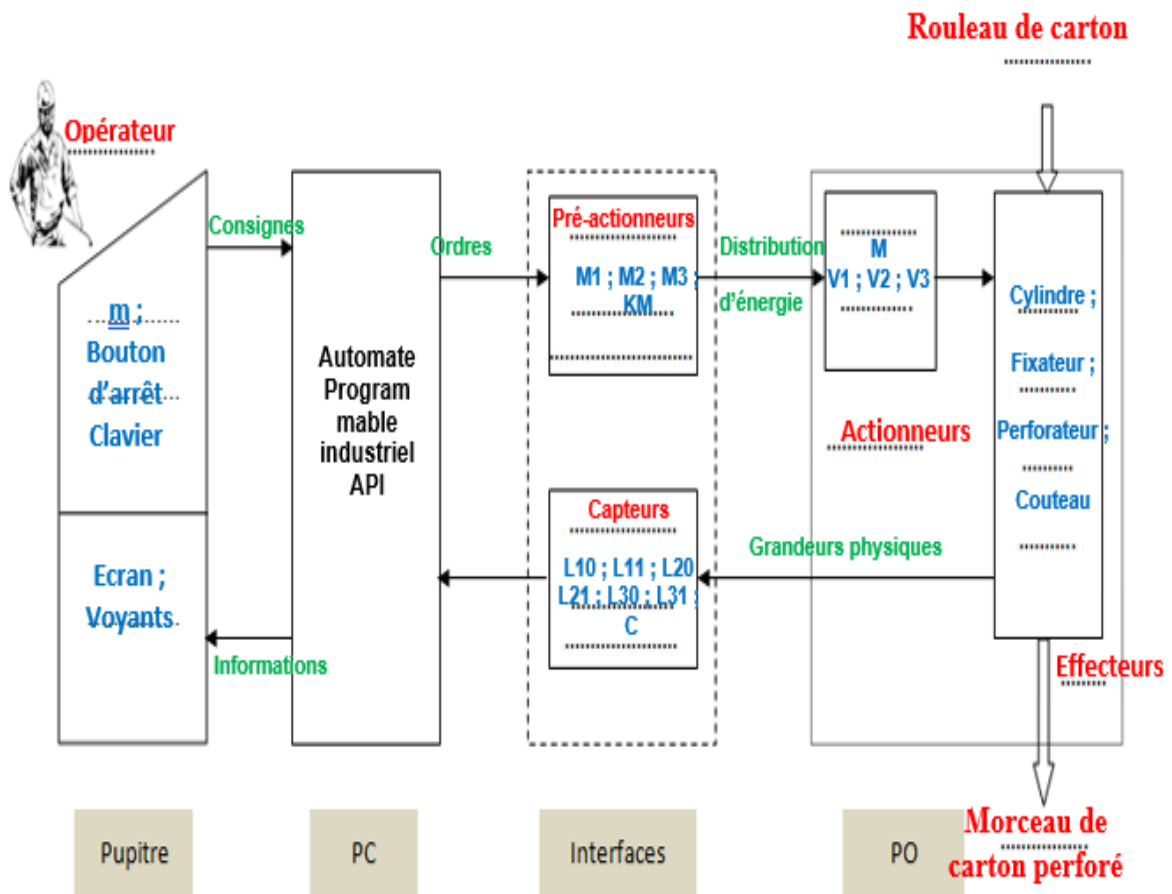
1. Quelle est partie commande du système automatisé ? Automate programmable industriel « API ».
2. Compléter le tableau suivant :

Partie opérative		Eléments d'interfaces	
Actionneurs	Effecteurs	Capteurs	Pré-actionneurs
Le moteur M ; Les vérins : V1 ; V2 et V3.	Cylindre ; Fixateur ; Perforateur ; Couteau.	C ; L10 ; L11 ; L20 ; L21 ; L30 ; L31	Les distributeurs : M1 ; M2 et M3. Le contacteur KM.

3. Classer les entrées et sorties de la partie commande selon la figure suivante :



4. Compléter la chaîne fonctionnelle de ce système :



5. Complétez le tableau suivant :

M.O.E: la matière d'œuvre entrante	Rouleau de carton
M.O.S: la matière d'œuvre sortante	Morceau de carton perforé
VA : la Valeur Ajoutée	Perforation et découpage
FG: La Fonction Globale	Perforer et découper des rubans en carton.

6. Indiquer par une croix la nature de la matière d'œuvre :

- Information ;
- Matière ;
- Energie.

7. Quels sont les types d'énergies utilisées dans ce système ?
électrique et l'énergie pneumatique.

Exercice 02 :

PERÇAGE DES PIÈCES :

Soit le système "Perceuse électrique".

<p>Mise en situation : Pour percer des pièces métalliques on a utilisé une perceuse électrique d'atelier.</p> <p>Description : L'ensemble représenté ci-contre est :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une perceuse électrique d'atelier permet des perçages plus précis et plus importants que la chignole. - La pièce métallique à percer. 	
---	--

Travail demandé :

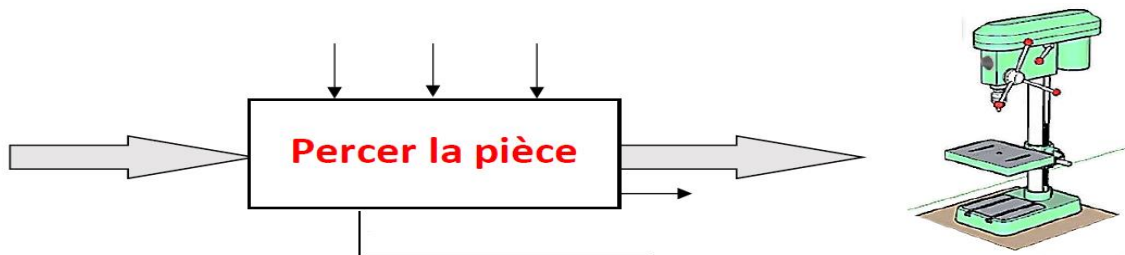
- Donner la signification des lettres ci-dessous : (exemple : V.A : Valeur Ajoutée).

Lettre	Signification	Lettre	Signification
F.G		E	
M.O.E		R	
M.O.S		C	
W		D.C	

- Quelles sont les matières d'œuvre entrante (M.O.E) et sortante (M.O.S) du système ?

+ M.O.E :
+ M.O.S :

- Compléter le modèle fonctionnel de ce système :



- Quelle est la valeur ajoutée (V.A) apportée par ce système à la matière d'œuvre principale ?
- Quel est le type d'énergie utilisé par ce système ?
- Indiquer la nature de la matière d'œuvre ?

Correction exercice N°02 :

PERÇAGE DES PIÈCES :

Travail demandé :

- Donner la signification des lettres ci-dessous : (exemple : V.A : Valeur Ajoutée).

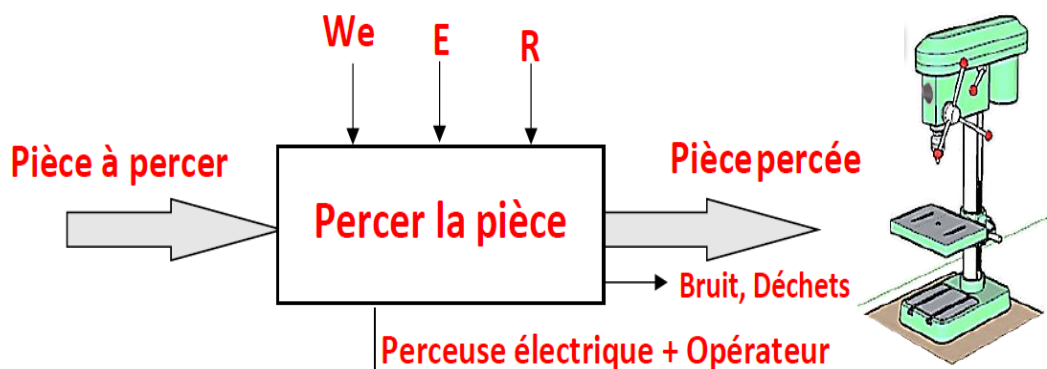
Lettre	Signification	Lettre	Signification
F.G	Fonction Globale	E	Exploitation (mise en marche)
M.O.E	Matière d'œuvre d'entrée	R	Réglage
M.O.S	Matière d'œuvre de sortie	C	Configuration (programme)
W	Energie	D.C	Données de Contrôle

- Quelles sont les matières d'œuvre entrante (M.O.E) et sortante (M.O.S) du système ?

✚ M.O.E :Pièce à percer

✚ M.O.S : Pièce percée

- Compléter le modèle fonctionnel de ce système :



- Quelle est la valeur ajoutée (V.A) apportée par ce système à la matière d'œuvre principale ?..... Perçage des pièces

- Quel est le type d'énergie utilisé par ce système ? ...Energie Electrique.....

- Indiquer la nature de la matière d'œuvre :Matière.....

Chapitre IV :

Télécommunications

Chapitre IV : Télécommunications

IV.1. Introduction

Les télécommunications sont aujourd'hui définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens électroniques. Les télécommunications se distinguent ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique. Le mot « télécommunication » vient du préfixe grec « tele » signifiant « loin » et du latin « communicare » qui signifie « partager ».

De nos jours, la télécommunication est caractérisée comme suit : « l'émission, transmission à distance et réception d'informations de toute nature par fil, radioélectricité, système optique ou électromagnétique ». Autrement dit, la télécommunication est d'abord et avant tout un échange d'information dans n'importe quel espace donné.

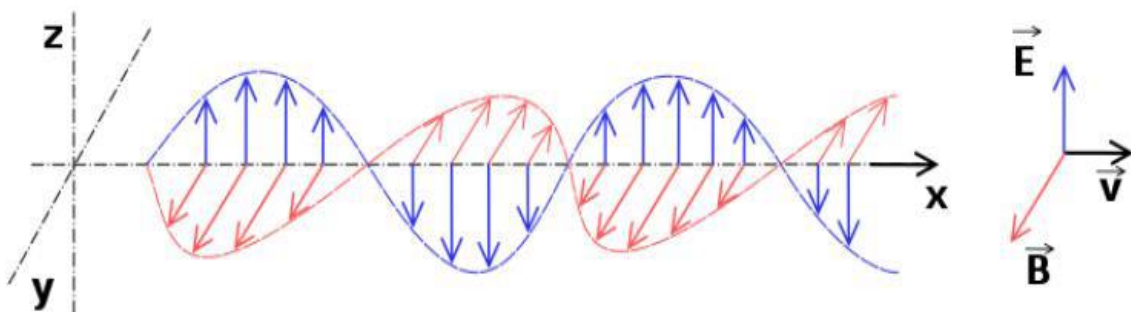
La spécificité de la télécommunication, contrairement à une communication ordinaire, est que l'information est véhiculée à l'aide d'un support (matériel ou non), lui permettant d'être transmise sur de longues distances [61].

IV.2. Généralités

- La communication correspond à l'échange d'informations, sous forme d'un signal, entre un émetteur et un récepteur.
- L'information échangée peut être une vidéo, une image, une information audio, etc.
- Le signal utilisé correspond à une onde électromagnétique.

IV.3. L'onde électromagnétique

C'est des oscillations couplées d'un champ électrique perpendiculaire avec un champ magnétique, dont les amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps.



Elle peut se déplacer dans un milieu de propagation comme le vide ou l'air, avec une vitesse proche de celle de la lumière [62].

Une onde électromagnétique est caractérisée par plusieurs grandeurs physiques [63]:

▪ **La longueur d'onde (λ)** : elle exprime le caractère oscillatoire périodique de l'onde dans l'espace. C'est la longueur d'un cycle d'une onde, la distance séparant deux crêtes successives. Elle est mesurée en mètre ou en l'un de ses sous-multiples, les ondes électromagnétiques utilisées en télédétection spatiale ayant des longueurs d'onde relativement courtes :

Le nanomètre => 1 nm = 10^{-9} mètre

Le micromètre => 1 μm = 10^{-6} mètre

Le centimètre => 1 cm = 10^{-2} mètre.

▪ **La période (T)** : elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde.

▪ **La fréquence (ν)** : inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps. Elle s'exprime en Hertz (Hz) - un Hz équivaut à une oscillation par seconde - ou en multiples du Hertz, les ondes électromagnétiques utilisées en télédétection spatiale ayant des fréquences très élevées :

Le kilohertz => 1 kHz = 10^3 Hz

Le mégahertz => 1 MHz = 10^6 Hz

Le gigahertz => 1 GHz = 10^9 Hz

Longueur d'onde et fréquence sont inversement proportionnelles et unies par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (\text{IV.1})$$

Où :

- λ : longueur d'onde de l'onde électromagnétique

- c : vitesse de la lumière ($3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

- ν : la fréquence de l'onde

Par conséquent, plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et réciproquement.

IV. 4. Bandes de fréquences

Les bandes de fréquences désignent la gamme de fréquences utilisées à des fins de communication, notamment pour la radio, la télévision et les réseaux de téléphonie mobile. Ces fréquences sont généralement divisées en un certain nombre de bandes, chacune d'entre elles étant affectée à une utilisation spécifique.

a. Basses fréquences (LF)

Dans le domaine LF (*Low Frequencies*) la fréquence est comprise entre **30KHz à 300KHz** [64].

Applications :

- Radio diffusion *Grandes Ondes* (LW Long Wave) .
- Transmission audio.
- Navigation aérienne

b. Moyennes fréquences (MF)

Dans ce cas la fréquence varie de **300KHz à 3000KHz** [64].

Applications :

- Radio diffusion *Petites Ondes* (MW Medium Wave)
- Maritime

c. Hautes fréquences (HF)

Dans ce domaine (*High Frequencies*) la fréquence varie de **3MHz à 30MHz** [64].

Applications :

- Aéronautique
- Radiolocalisation

d. Très hautes fréquences (VHF)

Dans ce domaine VHF (*Very High Frequencies*) la fréquence varie de **30MHz à 300MHz** [64].

Applications :

- Télévision terrestre ;
- Aéronautique militaire ;

e. Ultra hautes fréquences (UHF)

Dans le domaine des UHF (*Ultra High Frequencies*) la fréquence varie de **300MHz à 3000MHz** [64].

Applications :

- Télévision
- Radio navigation par satellite
- GSM, UMTS, LTE (téléphonie mobile)

f. Super hautes fréquences (SHF)

Dans ce cas (*Super High Frequencies*) la fréquence varie **3GHz à 30GHz** [64].

Applications :

- Satellites télévisions
- Radionavigation par effet Doppler
- Radars côtiers radio navigation maritime

IV.5. Chaîne de transmission d'informations

La communication correspond à l'échange d'information (sous forme de signal) entre un émetteur et un récepteur à l'aide d'un canal de transmission [62].

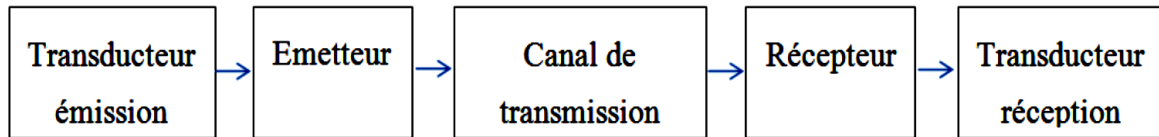


Figure IV.1. Chaîne de transmission d'informations [62].

- ✚ **Transducteur à l'émission** : microphone, clavier, camera, ...etc.
- ✚ **Emetteur** : codage, modulation, amplification
- ✚ **Canal de transmission** : câbles, fibres optiques, ondes radio,
- ✚ **Récepteur** : filtrage, démodulation, décodage, amplification
- ✚ **Transducteur à la réception** : Haut-parleur, écran, ...etc.

a. Transducteur à l'émission

Il permet de convertir le signal original (voix, image, etc.) en un signal électrique utile pour l'émetteur.

Exemples :

Transducteur	Signal original
Microphone	Voix humaine
Clavier	Touche pressée
Capteur CCD	Mouvement objet
Thermocouple	Mesure de température

b. L'émetteur

Il permet d'adapter le signal issu du transducteur pour le transmettre au canal de transmission.

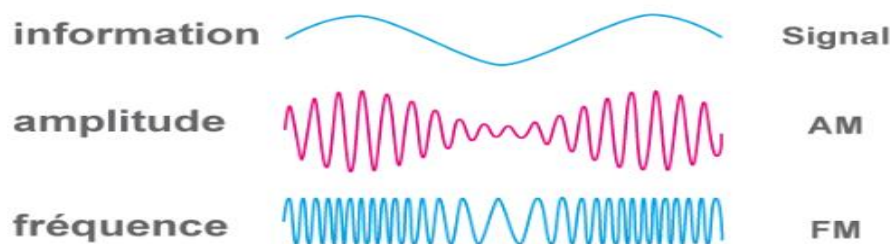
Il remplit plusieurs fonctions :

- **Codage du signal** issu du transducteur (tension) en nombres, dans le cas d'une conversion analogique numérique ou/et de chiffage.
- **Modulation ;**
- **Amplification ;**

Cet émetteur peut être un émetteur analogique (exemple : émetteur radio FM) ou encore un modem ADSL utilisé pour Internet dans le cadre d'une information numérique [62].

✚ La modulation

- ❖ L'information est une onde de BF, elle est très sensible aux différentes sources de perturbation appelés "bruit".
- ❖ Pour cela, nous utilisons une onde porteuse HF qui sera adaptée au milieu de transmission. Cette porteuse sera modulée en amplitude (AM), en phase (PM) ou en fréquence (FM), et cela en fonction de l'information elle-même.
- ❖ Dans la modulation AM, l'amplitude de la porteuse varie de manière linéaire en fonction de l'information à transmettre.
- ❖ Dans la modulation FM, la fréquence de la porteuse varie de manière linéaire en fonction de l'information à transmettre.



c. Le canal de transmission

Il permet au récepteur de recevoir l'information envoyé par l'émetteur.

Deux types de supports sont utilisés :

- **Les supports avec guide physique :**

Les fibres optiques, les câbles bifilaires, les câbles coaxiaux, etc.

- **Les supports sans guide physique :**

Les ondes électromagnétiques, ondes lumineuses, etc.

Ils sont choisis en prenant en compte : le débit d'information à transmettre, les caractéristiques du signal (bande passante, codage...), etc.

d. Le récepteur

Il permet de recevoir le signal émis ainsi que de le rendre compatible avec le transducteur.

Les actions réalisées par le récepteur :

- **Filtrage du signal reçu**, éliminer la partie inutile du signal reçu pour garder uniquement l'information ;

- **Décodage**

Soit en réalisant une **conversion numérique analogique** ;

Soit un **déchiffrage** ;

- **Démodulation**, consiste à extraire l'information à partir du signal modulé.

- **Amplification** du signal pour le rendre utilisable par le transducteur de sortie.

Ex. : Modem ADSL

e. Le transducteur à la réception

Il permet de fournir une information exploitable pour l'utilisateur.

Exemples :

Transducteur	Signal original
Haut-parleur	Voix
Ecran	Images
Signal de commande	Commande actionneur (vanne, pompe)

IV.6. Supports de transmission

Les supports de transmission sont nombreux. Parmi ceux-ci, on distingue : les supports matériels (les supports métalliques et non-métalliques) et immatériels. Les supports matériels, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens et les plus largement utilisés ; ils transportent des courants électriques. Les supports de verre ou de plastique, comme les fibres optiques, transmettent la lumière, et les guides d'onde propagent des ondes électromagnétiques, tandis que les supports immatériels pour des communications sans fil propagent des ondes électromagnétiques dans l'air et sont en plein essor [61].

IV.6.1. La ligne bifilaire

Une ligne bifilaire se compose de deux fils de cuivre isolés disposés en torsade. Le matériau isolant est généralement du polyéthylène. Une paire de fils réalise une liaison de communication. En pratique, plusieurs paires sont regroupées ensemble et enveloppées dans une gaine de protection, pour former un câble de télécommunications [65].

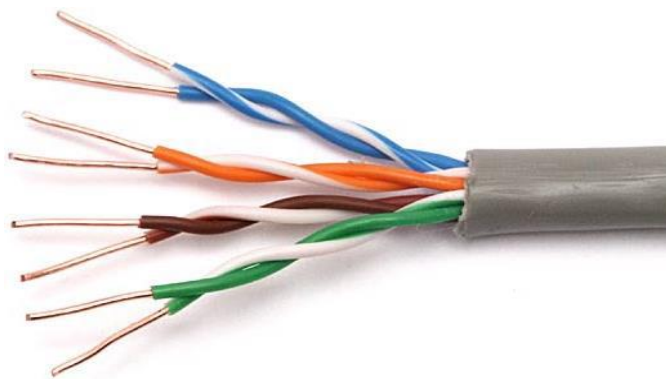


Figure IV.2. Ligne bifilaire à paires torsadées [66].

La ligne bifilaire convient pour les fréquences les plus basses. La ligne bifilaire se comporte comme une antenne : l'onde n'est plus entièrement guidée car une partie est perdue par radiation vers l'extérieur de la ligne. Le but de la torsade est de confiner cette radiation parasite entre les deux fils. D'autre part ce type de ligne possède une capacité parallèle équivalente non négligeable proportionnelle à sa longueur, qui réduit la ligne à un court-circuit aux très hautes fréquences [66].

IV.6.2. Le câble coaxial

Le câble coaxial est constitué d'une tresse cylindrique externe en cuivre qui représente la masse du signal et agit comme un écran à l'onde guidée, un fil de cuivre appelé âme, situé sur l'axe du câble, transporte le signal. L'isolant qui les sépare est constitué d'une matière (le polyéthylène) conçue pour minimiser l'atténuation de l'onde guidée [65].

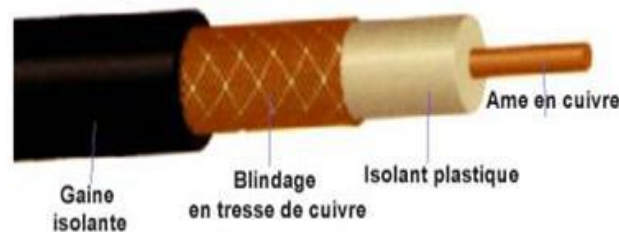


Figure IV.3. Câble coaxiale [66].

Les fuites par radiations sont énormément réduites.

Le câble coaxial est utilisé pour des fréquences allant jusqu'à 1 GHz.

Il existe deux standards d'impédance caractéristique : 50Ω et 75Ω.

Le câble coaxial est énormément utilisé en télécommunication.

IV.6.3. La fibre optique

Une fibre optique est constituée d'un matériau isolant flexible, la silice SiO₂, de forme cylindrique. Sa section transversale est divisée en une partie centrale appelée **cœur**, qui est entouré d'une **gaine** d'indice de réfraction légèrement plus élevé, le tout est protégé par une couche plastique extérieure. Le diamètre extérieur de la fibre est inférieur au millimètre [66].

Un rayon de lumière introduit dans le cœur est réfléchi de façon successive à la surface intérieure de la gaine par réflexion totale interne, la lumière est guidée le long de la fibre et permet de transmettre l'information.

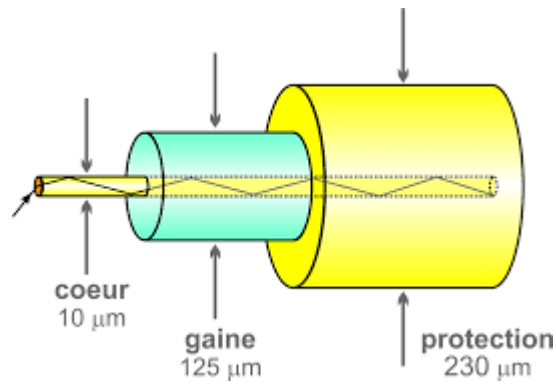


Figure IV.4. Construction de la fibre optique [67].

En pratique, plusieurs fibres optiques sont rassemblées dans un câble à l'intérieur d'une gaine blindée pour la protection mécanique.



Figure IV.5. Fibre optique [66].

IV.6.4. Le guide d'onde métallique

Ce support est utilisé en télécommunications aux hyperfréquences (3GHz à 300GHz) pour la transmission sur courte distance de signaux à très haute puissance, par exemple comme tronçon final de connexion d'une antenne radar. Il est constitué d'un seul conducteur dont la section transversale est creuse, de forme rectangulaire ou circulaire. Le laiton, qui est un alliage Cu-Zn, est le métal conducteur le plus utilisé [66].



Figure IV.6. Guide d'ondes [66].

Une onde électromagnétique est guidée le long du vide intérieur de la structure.

IV.6.5. La ligne imprimée

C'est un support de transmission miniature utilisé en hyperfréquence au sein d'un même dispositif où sont intégrés l'émetteur et le récepteur que cette ligne relie. La ligne imprimée est constituée de deux conducteurs plans séparés par une couche isolante appelée *substrat diélectrique* sur laquelle ils sont déposés. Il existe diverses configurations géométriques de conducteurs, mais la ligne micro-ruban est la plus représentative [66].

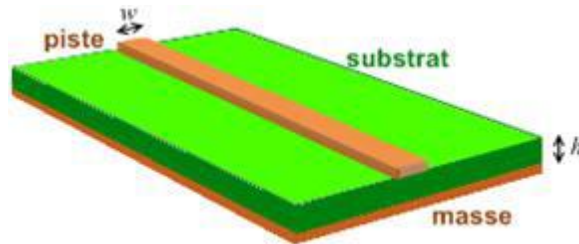


Figure IV.7. Ligne micro ruban [66].

Une couche de cuivre recouvre entièrement une face du substrat et forme la masse du signal. Une piste en cuivre sur la face opposée (le micro-ruban), guide le signal électrique.

L'impédance caractéristique de la ligne micro-ruban dépend de la permittivité du substrat et du rapport largeur w du ruban sur épaisseur h du substrat. Dans le cas où le substrat est de l'Epoxy, $w/h = 2$ donne une impédance caractéristique de 50Ω [66].

Chapitre V :
Impact du génie électrique sur le
développement de la société

Chapitre V : Impact du génie électrique sur le développement de la société

V.1. Introduction

Grâce à ses développements fulgurants des dernières années, le génie électrique est présent partout, aussi bien dans l'industrie que dans la vie quotidienne. Ses applications sont nombreuses, des systèmes de communication ultrasophistiqués aux centrales d'énergie renouvelable en passant par les usines de fabrication automatisée. Dans la vie quotidienne, le génie électrique contribue à l'amélioration du confort domestique, au développement d'équipements de loisirs et à l'avancement de la médecine moderne.

Le génie électrique permet de contribuer directement au développement de la société technologique du futur.

V.2. Mutation sociale

Malgré le fait que l'histoire du génie électrique est relativement courte si on la compare avec les autres branches du génie, on doit reconnaître que son impact social est considérablement plus important. Depuis la découverte de l'électricité au 18^{ème} siècle et le développement des premiers réseaux de génération et de distribution de l'électricité à grande échelle vers la fin du 19^{ème} siècle, et jusqu'à au développement des systèmes électroniques et informatiques modernes, le génie électrique n'a pas cessé de révolutionner notre vie quotidienne. Il a eu un impact sans précédent sur tous les aspects de notre société. Il a profondément transformé nos méthodes de communication, nos façons de travail, et même nos habitudes et nos manières de penser (November, 1990).

Le génie électrique n'est donc pas seulement un champ scientifique qui a donné lieu à un 6 ensemble d'inventions techniques, c'est selon Johnston, une dimension centrale de toute notre culture moderne (Johnston, 2000).

V.3. Téléphone

L'impact du génie électrique sur la société s'est vite aperçu dès l'invention de la première application à grande échelle de l'électricité ; le télégraphe électrique. La possibilité de transmettre des messages sur de grandes distances a favorisé les échanges d'informations. C'est grâce au télégraphe que les agences de presse apparaissent au milieu du 19^{ème} siècle. Quatre décennies après le télégraphe, la transmission de la voix devient possible grâce à l'invention du téléphone, qui est considéré l'une des plus importantes inventions de notre histoire (Ithiel, 1977). Malgré le fait qu'au début le téléphone a rencontré une certaine résistance, au fil du temps il est devenu un équipement pratiquement obligatoire dans chaque foyer et chaque bureau. Aujourd'hui le téléphone joue un rôle primordial dans le maintien de nos relations sociales et professionnelles, et constitue une nécessité pour toutes les activités de notre vie quotidienne. La réinvention de la technologie de la téléphonie mobile vient renforcer nos liens de dépendance vis-à-vis du téléphone. Comme la plupart des jeunes technologies, la téléphonie mobile connaît sa part de difficultés, y compris des préoccupations au sujet de son impact sur notre environnement, notre santé et notre sécurité. Quelques-uns de ces impacts seront discutés plus loin dans cet article. Par ailleurs, on voit partout les changements sociaux provoqués par cette technologie qui a un profond impact sur nos habitudes et sur nos interactions interpersonnelles.

L'adoption du téléphone portable par les adolescents depuis la fin des années 1990 s'est révélée être un véritable coup de foudre. Conçu à l'origine comme un outil de communication vocale réservé aux professionnels, le portable s'est vite transformé en un gadget de mode qui sert à envoyer des messages, à écouter de la musique, à surfer l'internet, à échanger des documents et, depuis peu, à regarder la télévision.

V.4. Radio et télévision

Après l'âge d'or de la presse écrite entre 1870 et 1914 [68], il ne faudra pas attendre trop longtemps après l'apparition de la radio en 1906 [68], et la télévision en 1930 [68], pour que leur impact dépasse très vite celui des journaux. Ces médias de masse deviennent des sources d'informations, des moyens de divertissement et d'éducation, et même des outils de diffusion de propagandes et de manipulation de l'opinion publique. La télévision et la radio vont jouer un rôle important à partir des années 1950 partout dans le monde. Elles deviendront les deux médias les plus influents puisqu'elles sont facilement accessibles à toutes les classes sociales (Vipond, 2000). Leur influence devient encore plus importante avec l'apparition du câble et du satellite et plus récemment la diffusion sur internet. Avec le temps, la télévision et la radio sont devenues une force de cohésion sociale capable d'orienter l'opinion publique. Elles peuvent avoir une influence à la fois positive et négative sur les valeurs morales de la société. 8 Aujourd'hui, nous constatons que la télévision et la radio consacrent beaucoup de temps au divertissement pour répondre aux besoins du public, mais elles fonctionnent surtout selon une logique commerciale concurrente qui demande d'avoir le plus possible d'audience en utilisant à cet effet des techniques publicitaires et de marketing. Il semble que les médias de la télévision et la radio ne sont plus un moyen d'éducation et d'information au service du public, mais plutôt un outil de propagande et de marketing au service d'une minorité opportuniste.

V.5. Technologies de l'information et de communication

Depuis le début de la révolution de l'électronique numérique avec l'invention de l'ordinateur personnel vers la fin des années 1960 [68], et l'ouverture du réseau d'internet au public au début des années 1980 [68], les technologies de l'information et de communication ont connu une évolution très rapide. Aujourd'hui ces technologies font de plus en plus partie intégrante de la vie quotidienne des personnes et des activités journalières des entreprises. Les technologies de l'information modernes sont devenues des moyens de communication très puissants dont on n'a pas encore mesuré tous les impacts sociaux. L'arrivée des technologies de l'information, en particulier l'internet, a permis une démocratisation des moyens de communication en éliminant le contrôle et le monopole des gouvernements sur les sources de l'information, ce qui n'était pas possible avec la télévision et la radio.

L'internet est devenu aujourd'hui un moyen d'expression qui est relativement libre et accessible à tous les membres de la société. L'impact de l'internet sur le développement des connaissances et leur dissémination rapide partout dans le 9 monde est entrain de provoquer des mutations culturelles, sociales et économiques jamais vues dans l'histoire de l'humanité. Les impacts négatifs qui émergent avec ces technologies sont certes non négligeables. Un grand débat oppose actuellement ceux qui voient dans les technologies de l'information une solution aux problèmes d'éducation, de société, de chômage, etc., et ceux qui voient dans celle-ci un danger réel pour nos cultures, nos croyances et nos relations sociales (November, 1990).

Références bibliographiques

- [1] <https://facsci.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2013/07/Etat-de-l-Art.pdf>
- [2] <http://elearning.centre-univ-mila.dz/course/view.php?id=2230>
- [3] http://elearning.univ-biskra.dz/moodle2020/pluginfile.php/297633/mod_resource/content/1/EAG_Chapitre01_Electronique.pdf
- [4] Dr AITOUCHE SAMIA, SUPPORT DE COURS DECOUVERTE ETAT DE L'ART GENIE ELECTRIQUE, UNIVERSITE BATNA 2 FACULTE DES TECHNOLOGIES, 2022.
- [5] <http://pccollege.fr/quatrieme-2/electricite-les-lois-du-courant-continu/chapitre-iv-les-resistances-electriques/utilisation-dun-ohmmetre/>
- [6] <https://www.abcclim.net/loi-dohm.html>
- [7] http://sciences-physiques-moodle.ac-orleans-tours.fr/moodle/pluginfile.php/2239/mod_resource/content/2/Chap3-resistanceelectrique/Q-03/reponse01.htm
- [8] http://oemorine.free.fr/Ressources/Cours_Physique/PuissanceElectrique.pdf
- [9] http://www.chicoree.fr/w/Effet_Joule
- [10] <http://www.elektronique.fr/cours/lois-de-kirchhoff.php>
- [11] https://www.univ-sba.dz/ft/images/Polycopie/Introduction_%C3%A0_lart_du_G%C3%A9nie_Electrique-converti.pdf
- [12] <https://www.apprendre-en-ligne.net/info/codage/ohm.html>
- [13] <http://educypedia.karadimov.info/library/resistifsreactifs.pdf>
- [14] http://electroacoustique.univ-lemans.fr/cours/Grain2.1/co/grain_20.html
- [14] <http://www.composelec.com/resistance.php>
- [15] <https://www.annabac.com/revision-bac/capacite-d-un-condensateur>
- [16] <http://www.composelec.com/condensateurs.php>
- [17] https://www.lte.com.tw/fr/category/CAT-Power-Inductors_Coil.html
- [18] https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_diode.html
- [19] [http://meteosat.pessac.free.fr/Cd_elect/dictionnaire/electronique.htm
- [20] https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_diode.html
- [21] <http://www.composelec.com/diodes.php>
- [22] <http://www.composelec.com/transistors.php>
- [23] http://www.composelec.com/portes_logiques.php
- [24] https://fr.wikibooks.org/wiki/%C3%89lectronique/Les_amplificateurs_op%C3%A9rationnels
- [25] <http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Capteurs1/index.html?Introduction.html>
- [26] <http://c.herblot.free.fr/cours42009/portail/capteur/capteurs.htm>

- [27] https://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_int%C3%A9gr%C3%A9
- [28] <https://www.universalis.fr/index/robert-noyce/>
- [29] <https://electrosttissemsilt.files.wordpress.com/2017/04/technologie-et-fabrication-des-circuits-intc3a9grc3a9s-partie-01.pdf>
- [30] <https://www.camerecole.org/classes/1888-le-circuit-rlc.html>
- [31] http://sc-st.univ-batna2.dz/sites/default/files/sc_st/files/cours_d1-elt_-2020-converted.pdf
- [32] https://foad.ensicaen.fr/pluginfile.php/34055/mod_resource/content/1/ReseauElectrique.pdf
- [33] https://ww2.ac-poitiers.fr/electrotechnique/IMG/pdf/production_electrique_eleve.pdf
- [34] <https://www.maxicours.com/se/cours/les-centrales-electriques/>
- [35] <file:///C:/Users/User/Downloads/MASTER22014-2015.pdf>
- [36] <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=jxB895AbgLU>
- [37] <https://www.aner.sn/quest-ce-que-lenergie-eolienne/>
- [38] <https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=11077>
- [39] https://ressources.unisciel.fr/tp_virtuels/transformateur_serveur_IUT/transformateur%20monophasé_papier_site_web.pdf
- [40] <https://i.pinimg.com/564x/fb/09/51/fb095132880df007c6ee00ae5b4ca7b3.jpg>
- [41] <https://www.monolithicpower.com/en/brushless-vs-brushed-dc-motors>
- [42] <https://slideplayer.fr/slide/2933021/10/images/9/Moteur+courant+continu.jpg>
- [43] <http://www.rvb15.fr/ressources/moteurs/moteurPasAPas.html#1>
- [44] <https://gootrio.com/moteur-asynchrone-principe-de-fonctionnement-et-technologie/>
- [45] https://www.pdfprof.com/PDF_Image.php?id=18004&t=38
- [46] https://www.researchgate.net/publication/349641743_Polycopie_pedagogique_Architecture_des_Systemes_Automatisees/figures?lo=1
- [47] http://pedagogie.ac-limoges.fr/sti_si/accueil/FichesConnaissances/Sequence3SSi/co/S3B22_Association_modele_composant_32.html
- [48] <https://www.techno-science.net/definition/5736.html>
- [49] http://technologieaucollege.free.fr/ressources_web/ressources2.techno.free.fr/mecanique/systemes/actionneur.htm
- [50] http://elearning.univ-biskra.dz/moodle2020/pluginfile.php/305028/mod_resource/content/1/Chapitre%2003%20automatique.pdf
- [51] <http://c.herblot.free.fr/cours42009/portail/capteur/capteurs.htm>
- [52] http://sii-tannarelli.com/contenus_opale/chaine_fonctionnelle_gen_auroraW/co/famille_preactionneur.html
- [53] https://perso.crans.org/laguionie/TP/PSIetoile/Etudeysteme/Capsuleuse/co/Module_Sujets_de_TP_ES_capsuleuse_4.html

- [54] <http://dspace.univ-ghardaia.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3265/Polycopi%C3%A9%20p%C3%A9dagogique%20ASA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [55] https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/120232/mod_resource/content/2/Chapitre%20III.pdf
- [56] <https://scietech.fr/architectures-des-automates-programmables-industriels-scietech/>
- [57] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRgeK36Lfk7yN9OhGaJ481Cukb9KDJyT-CqfbUi3TYCkYkdxijgtwXuNbOKnRPGesIGDwQ&usqp=CAU>
- [58] https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/109807/mod_resource/content/1/Chapitre%205.pdf
- [59] https://v-assets.cdns.w.com/fs/cahier/behpc-cahier_de_technologie_1er_sec_couleur_2014.pdf
- [60] <http://jackadit.com/index.php?p=ecoconception3>
- [61] <https://www.univ-chlef.dz/ft/wp-content/uploads/2020/04/telecom-fondamentales.pdf>
- [62] http://elearning.univ-biskra.dz/moodle2020/pluginfile.php/305032/mod_resource/content/1/Chapitre%2004%20t%C3%A9lecommunication%20%20.pdf
- [63] <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvded/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html>
- [64] <http://elearning.centre-univ-mila.dz/course/view.php?id=2230&lang=ar>
- [65] https://fad.umi.ac.ma/pluginfile.php/178969/mod_folder/content/0/Support%20de%20Cours_r%C3%A9seau_Fst_Chp4.pdf?forcedownload=1
- [66] <https://www.umc.edu.dz/images/UEF2.2.1.pdf>
- [67] <http://for-ge.blogspot.com/2015/05/fibre-optique.html>
- [68] https://www.researchgate.net/publication/327388814_Revue_de_l'Histoire_de_Genie_Electrique_et_son_Impact_sur_la_Societe_l'Economie_et_l'Environnement/link/5b8c152092851c1e124324c5/download?_tp=yJjb250ZXh0Ijp7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVsbH19