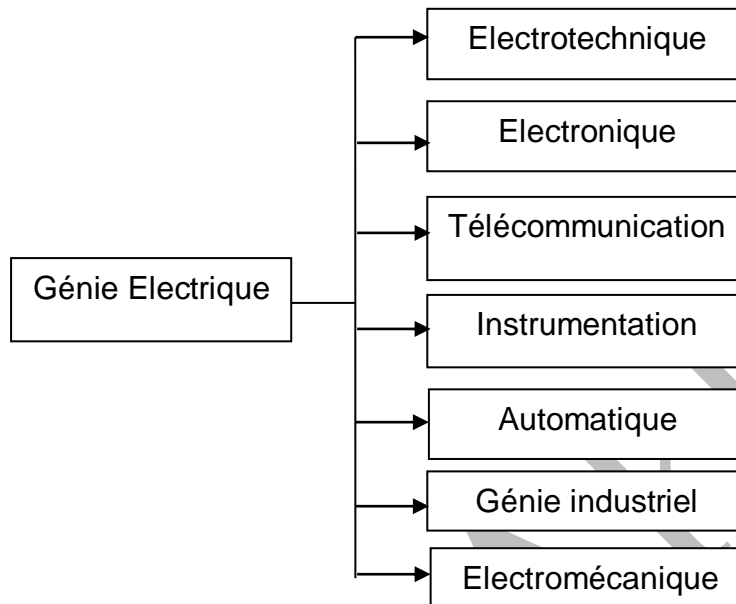


I.1.Introduction: Le génie électrique est une branche de la physique qui traite du domaine de l'électricité et ses applications. Il regroupe les domaines de l'électrotechnique, l'électronique, génie industriel, l'automatique, la télécommunication. L'étude de génie électrique se réalise en physique et l'application se fait dans le domaine industriel.

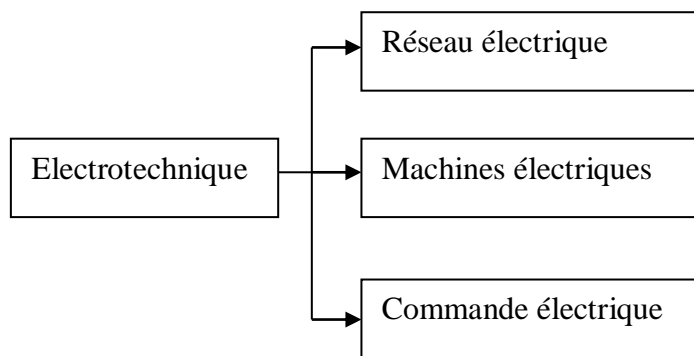
I.2. Les branches de génie électrique :



I.2.1. L'électrotechnique : l'électrotechnique est l'ensemble des applications techniques de production et d'exploitation de l'électricité, ce terme désigne en réalité les disciplines traitant des dispositifs ou des systèmes mettant en jeu de l'énergie sous forme électrique.

On peut citer :

- La production.
- Le transport.
- La distribution.
- Le traitement.
- La transformation.
- La gestion et l'utilisation de l'énergie électrique.
- Circuits Electriques et Magnétiques.
- Mesures Electriques.
- Machines Electriques et transformateur.
- Entraînement Electriques et Système de Commande Automatique.



1. Réseau Electrique:

1.1. Structure générale d'un réseau électrique:

Un réseau électrique est toujours décomposé en quatre grandes parties :

- Production.
- Transport et interconnexion.
- Distribution et Répartition.
- Consommation.

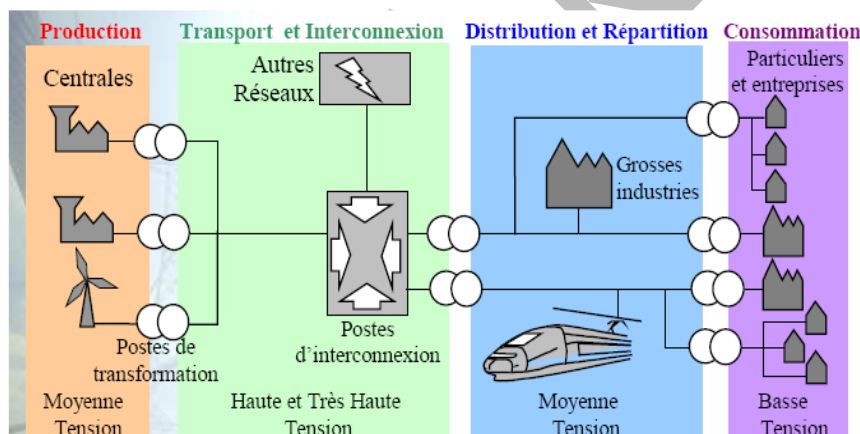


Figure I.1. Structure générale d'un réseau électrique

1.2. Production d'énergie électrique :

C'est la transformation de l'ensemble des énergies convertibles en énergie électrique. A partir des sources d'énergie primaires et naturelles, l'énergie électrique est produite dans des centrales électriques propres à ces formes d'énergie. Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- Les centrales hydroélectriques, (eau)
- Les centrales solaires ou photovoltaïques, (rayonnement solaire)
- Les centrales éoliennes. (Vent)

- Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques,
- Les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques, (uranium)

1.2.1) Eléments indispensables à la production de courant électrique:

- un réservoir d'énergie dite primaire qui sera transformée en énergie mécanique
- Une turbine en mouvement,
- Un alternateur de centrale, constitué d'un stator (partie fixe) et d'un rotor (partie mobile). Le stator comporte un enroulement de fils de cuivre. Le rotor qui tourne à l'intérieur du stator joue le rôle d'aimant qui est entraîné par la turbine et entouré d'une bobine qui produit le courant électrique.

On peut dire que dans l'ensemble turbine-alternateur, on transforme du « mouvement » en « électricité ». La production d'électricité est tout simplement une conversion, une transformation d'énergie mécanique (liée au mouvement) en énergie électrique.

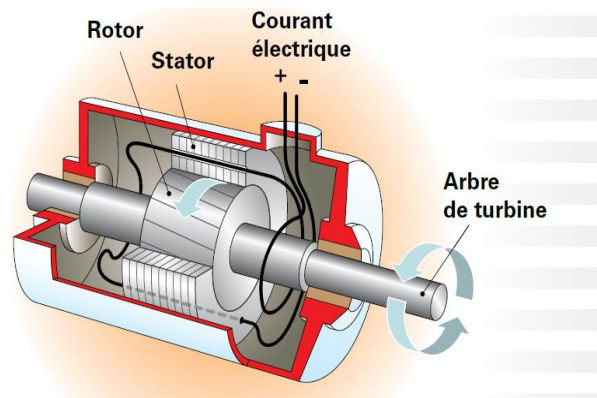


Figure I.2. Schéma de principe d'un alternateur

1.2.2) Centrales Electriques :

1.2.2.1. Les sources d'énergie renouvelables :

Une énergie renouvelable est une énergie provenant de ressources que la nature renouvelle sans cesse. Les sources d'énergie renouvelables sont inépuisables et non polluantes Exemples: eau, vent, soleil.

A. Centrale Hydraulique :

Une centrale hydraulique utilise le mouvement de l'eau pour faire tourner une turbine. L'eau est recueillie au sommet du barrage dans le réservoir. A partir de là, elle s'écoule dans une conduite forcée, qui la transporte vers une turbine hydraulique. La pression de l'eau augmente à mesure qu'elle s'écoule dans la conduite forcée. La pression et le débit de l'eau qui tombe actionnent la turbine qui fait tourner un alternateur, créant ainsi de l'électricité.

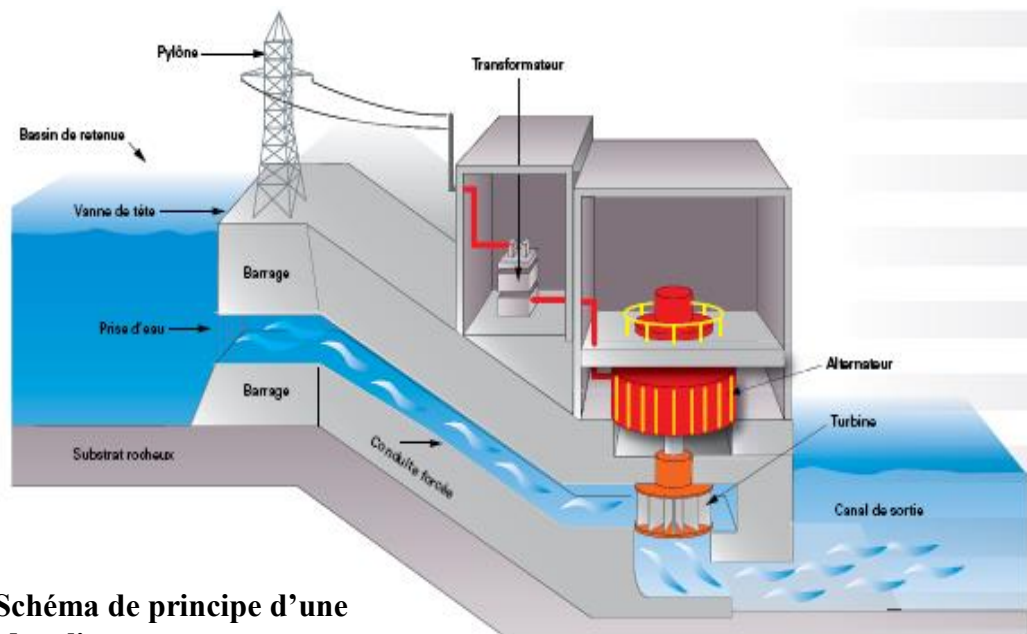


Figure I.3 Schéma de principe d'une centrale hydraulique

B. Centrale Éolienne :

Pour produire de l'électricité, les éoliennes fonctionnent à peu près selon le même principe qu'une centrale hydraulique. L'éolienne utilise l'énergie cinétique de l'air en mouvement pour faire tourner les ailettes de la turbine qui est raccordée à un alternateur.

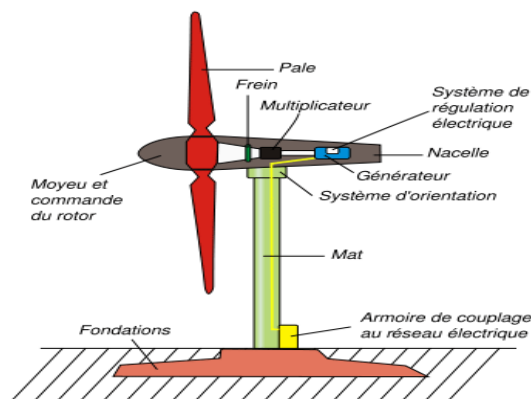


Figure I.4 Schéma de principe d'une centrale éolienne

C. Centrale Photovoltaïque

Les centrales photovoltaïques fonctionnent différemment des autres centrales : elles n'ont pas de turbine. Des panneaux composés de cellules contenant du silicium (un élément chimique semi-conducteur) captent la lumière. Cet élément chimique réagit au contact de la lumière et libère des électrons qui créent un courant continu. On le transforme en courant alternatif grâce à un onduleur. Il peut ensuite être redistribué dans les appareils électriques de la maison, être stocké dans des batteries ou être renvoyé vers des lignes électriques.

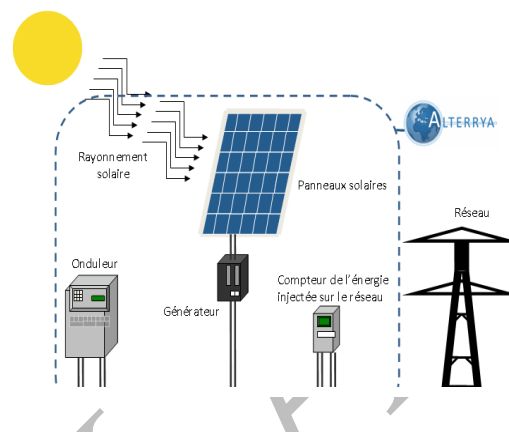


Figure I.5 Schéma de principe d'une centrale photovoltaïque

1.2.2.2. Les sources d'énergie Non renouvelables :

Une énergie non renouvelable est une énergie provenant de ressources dont les stocks sur terre sont limités. Elles sont polluantes.

A) Centrale Thermique :

Les centrales thermiques brûlent du charbon, mazout, gaz naturel pour produire de l'électricité. La chaleur produite dans la chaudière par la combustion du charbon, gaz ou autre, vaporise de l'eau. Cette vapeur d'eau est alors transportée sous haute pression et sous haute température vers une turbine. Sous la pression, les pales de la turbine se mettent à tourner. L'énergie thermique est donc transformée en énergie mécanique, qui sera, par la suite, transformée à son tour en énergie électrique via un alternateur.

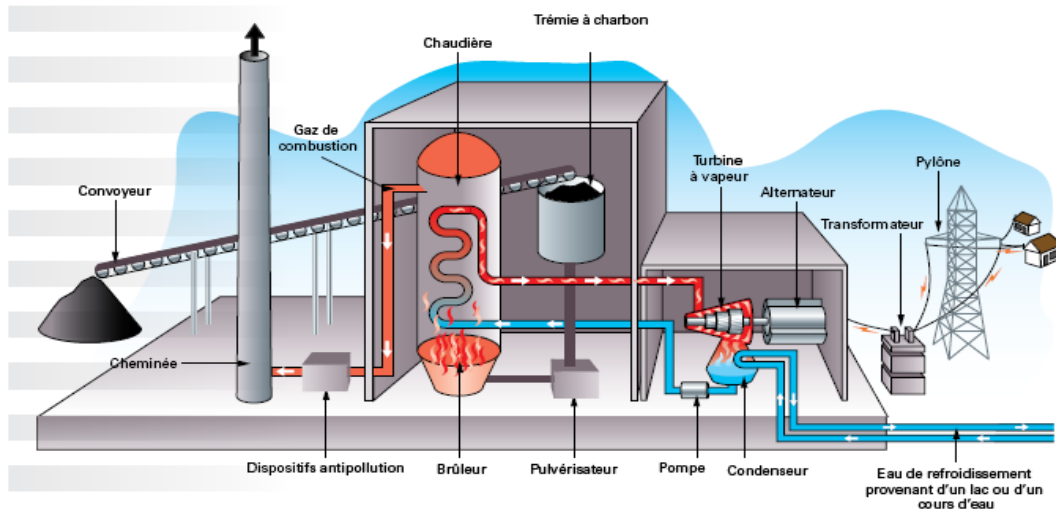


Figure I.6 Schéma de principe d'une centrale thermique

B) Centrale nucléaire :

Le mode de fonctionnement d'une centrale nucléaire est identique au précédent si ce n'est que la chaleur est produite en utilisant de l'uranium qui sert ensuite à faire bouillir de l'eau pour la transformer en vapeur. Quand les particules subatomiques appelées neutrons entrent en contact avec les atomes d'uranium, le noyau se fractionne, libérant alors de l'énergie sous forme de chaleur.

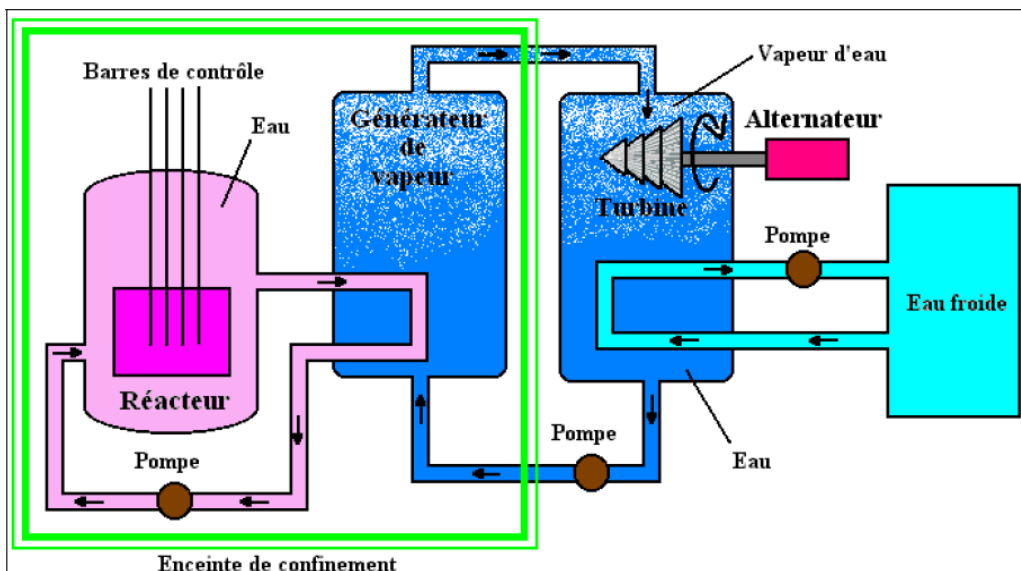


Figure I.7 Schéma de principe d'une centrale nucléaire

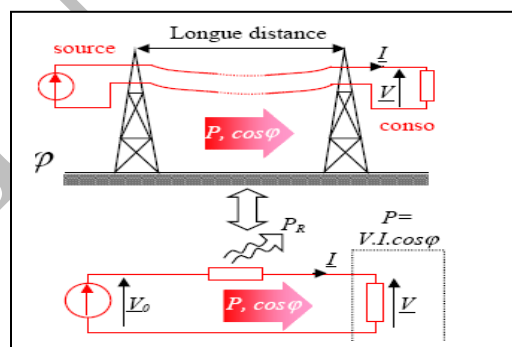
1.3.Transport: Le transport de l'énergie électrique vers des centrales régionales s'effectué en utilisant des lignes aériennes ou des câbles.



Figure I.8. Câble électrique souterrains Figure I.9. Ligne électrique aérienne

➤ **A. Transport en haute tension et facteur de puissance :**

- ❖ Tout conducteur électrique présente une « impédance » dont la partie résistive est notée R .
- ❖ Le transport de l'énergie de la source vers la consommation revient à l'acheminement de la puissance : $P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$
- ❖ La puissance perdue dans la résistance R est : $P_r = RI^2$ Ou $P_L = R \frac{P^2}{V^2 \cos^2\varphi}$



Pour acheminer la puissance P_r avec un minimum de pertes : il faut :

1. La tension V doit être la plus grande possible.
2. le facteur de puissance doit être le plus proche possible de 1.

Solutions :

1. Transformateur Elévateur.
2. Amélioration du $\cos\varphi$ par l'ajout des condensateurs

1.4. Distribution: Elle consiste à conduire la tension produite par des lignes ou des câbles jusque chez les consommateurs tout en réalisant le moins de pertes possibles.

1.5. Consommation : Représente l'ensemble des utilisateurs de l'énergie électrique.

1.6. Nature de la tension, Comparaison continu / alternatif :**1.6.1. Réseau Continu (DC ou =) :**

Une tension continue engendre un courant dont le sens ne change pas au cours du temps. Le seul récepteur existant en régime continu est la Résistance dont le fonctionnement est régi par la loi d'Ohm: $U = R.I$ (en Ohm (Ω)).

A. Avantage:

- ❖ Facilite l'interconnexion des réseaux, il suffit d'avoir partout la même tension.
- ❖ Pas d'effets réactifs, le facteur de puissance est unitaire.

B. Inconvénients :

- ❖ Impossibilité de produire ou d'élever la tension dans les très hautes tensions d'où des pertes importantes sur les lignes.
- ❖ Difficulté de couper les courants continus, d'où des dispositifs de coupure plus performants et plus chers.

1.6.2. Réseau Alternatif (AC ou \sim) :

Une tension alternative engendre un courant alternatif, qui change de sens alternativement au cours du temps.

$$V(t) = V_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

V_{\max} : l'amplitude, ω : la pulsation, $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$, φ est la phase.

A. Avantages du courant alternatif :

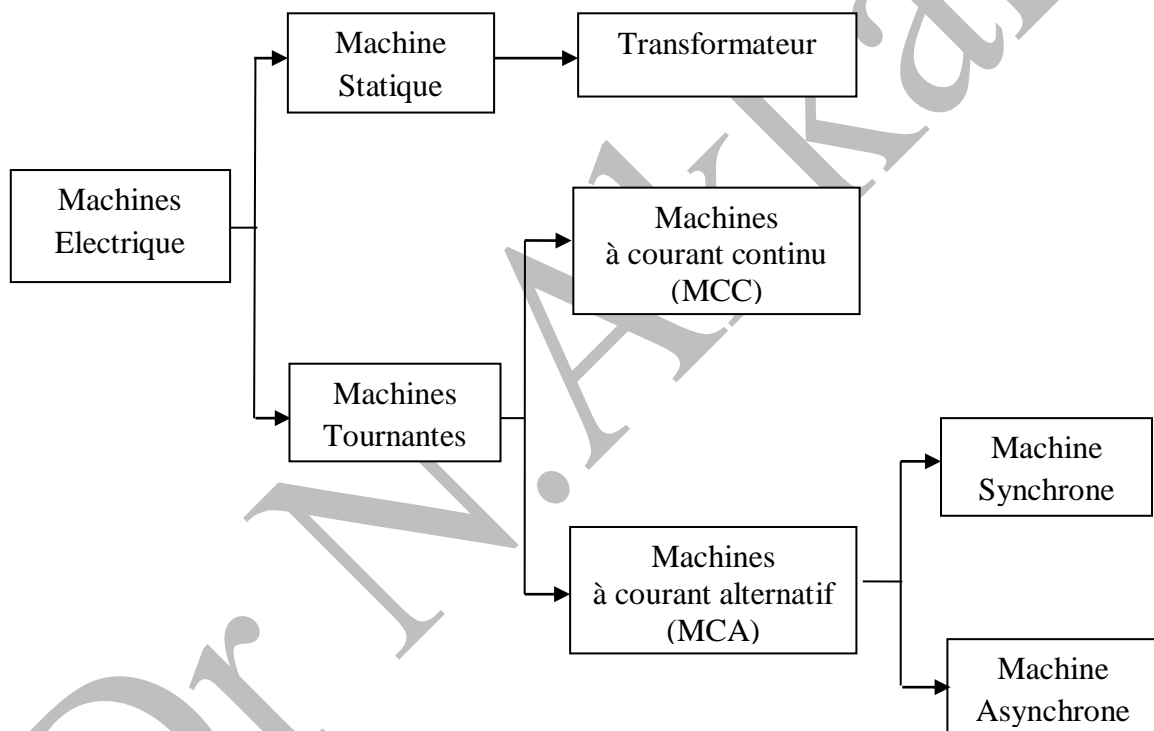
- ❖ Permet l'utilisation des transformateurs pour élever et abaisser les tensions.
- ❖ Production directe par alternateurs.

- ❖ Facilite la coupure des courants par le passage naturel par zéro 2 fois par période c'est à dire 100 fois par seconde.

B. Inconvénients :

- ❖ Difficulté d'interconnexion de plusieurs réseaux (il faut avoir même tension, même fréquence et même phase).
- ❖ Implique des effets inductifs et capacitifs pénalisants pour un certain nombre de raisons (facteur de puissance < 1 principalement).

2. Machines Electriques : Les machines électriques sont classées :



2.2. Machine statique :

2.2.1. Transformateur: Le transformateur c'est un élément statique permettant, en alternatif, la modification de certaines grandeurs (tension, courant) sans changer leur fréquence.

2.2.1.1. Constitution :

Le transformateur est constitué essentiellement de :

- Un circuit magnétique
- Enroulement primaire
- Enroulement secondaire

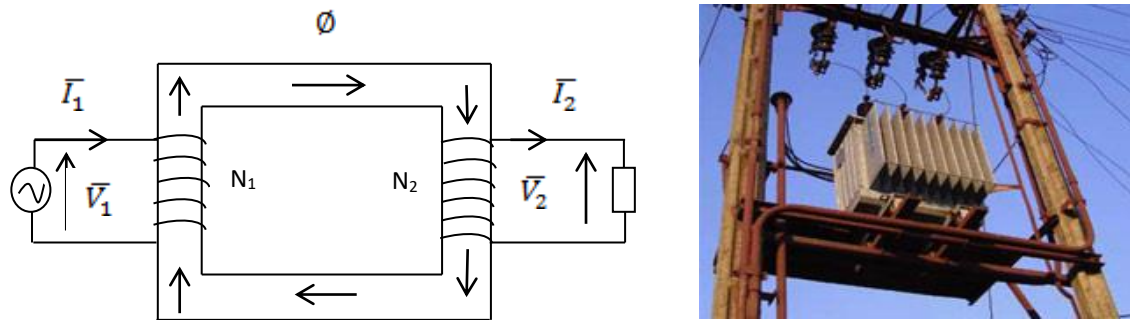


Figure I.10 Schéma d'un Transformateur

2.2.1.2. 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 transformateur est élévateur de tension si $U_2 > U_1$

Le transformateur est abaisseur de tension si $U_2 < U_1$

2.2.1.3. Les différents types de transformateurs :

A) Transformateur de puissance : Leur rôle est essentiel dans le réseau électrique pour permettre de transporter l'électricité sur de longues distances.

B) Autotransformateur : Dans ce type de transformateur particulier, il n'y a pas d'isolation électrique entre le primaire et le secondaire car le secondaire est une partie de l'enroulement primaire. Le courant alimentant le transformateur parcourt le primaire en totalité et une dérivation à un point donné de celui-ci détermine la sortie du secondaire.

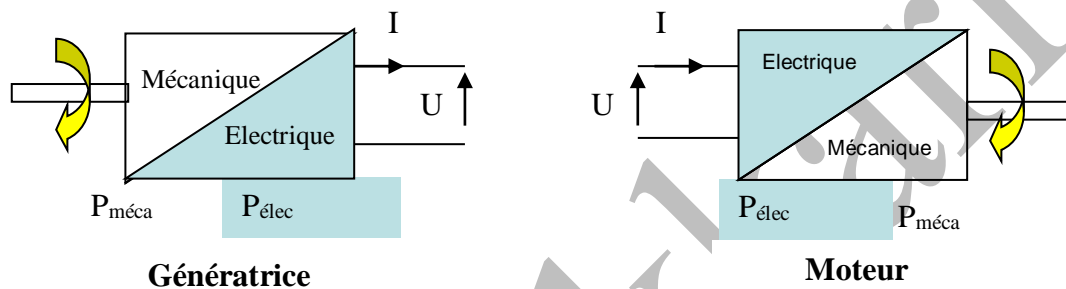
C) Transformateur de mesure : c'est un transformateur destiné à alimenter des appareils de mesure, des compteurs, des relais et autres appareils analogues. Ils sont utilisés pour permettre la mesure de la tension ou du courant quand ceux-ci sont trop élevés pour être mesurés directement. Ils doivent transformer la tension ou le courant de manière proportionnelle et sans déphasage.

D) Transformateur triphasé : Dans le transport et la distribution de l'énergie électrique, on utilise des transformateurs triphasés de grande puissance.

E) Transformateur d'impulsions : Ce type de transformateur est utilisé pour la commande des thyristors, triacs et des transistors.

2.3. Machines tournantes :

2.3.1. Machine à courant continu : La machine à courant continu est un convertisseur d'énergie, totalement réversible, elle peut fonctionner soit en moteur, convertissant de l'énergie électrique en énergie mécanique, soit en génératrice, convertissant de l'énergie mécanique en énergie électrique. Dans les deux cas un champ magnétique est nécessaire aux différentes conversions. Cette machine est donc un convertisseur électromécanique.



Remarque :

L'ensemble des phénomènes qui interviennent en électrotechnique et dans les machines électriques est basé sur trois lois simples, à savoir:

- Loi de BIOT et SAVART et le théorème D'AMPERE
- Loi de LAPLACE et de LORENTZ.
- Loi de FARADY et LENZ.

2.3.1.1. Constitution d'une machine à courant continu :

La machine à courant continu est réversible, c'est-à-dire que la constitution d'une génératrice (G) est identique à celle du moteur (M).

Elle se compose de deux parties :

- * Une partie fixe produisant le flux appelée **INDUCTEUR**
- * Une partie tournante siège de la F.E.M appelée **INDUIT**
- * Les balais et le collecteur jouant le rôle de redresseur

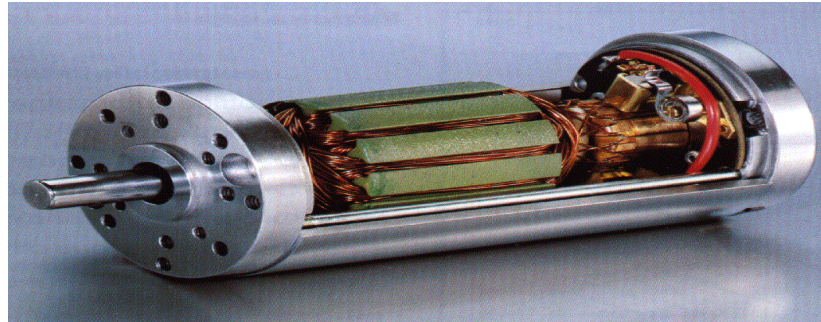
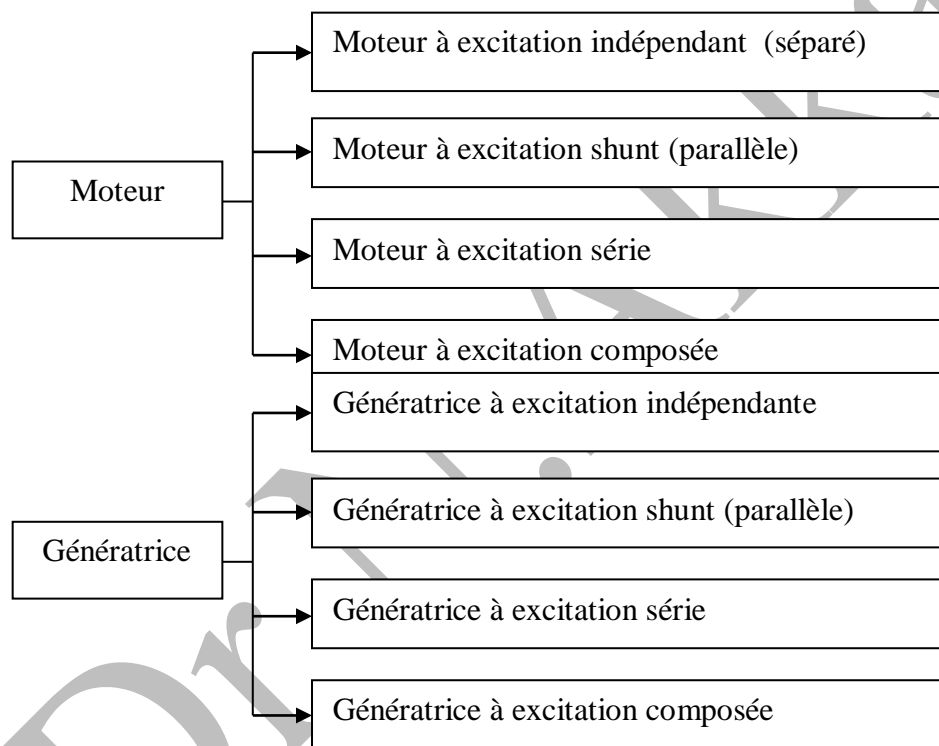


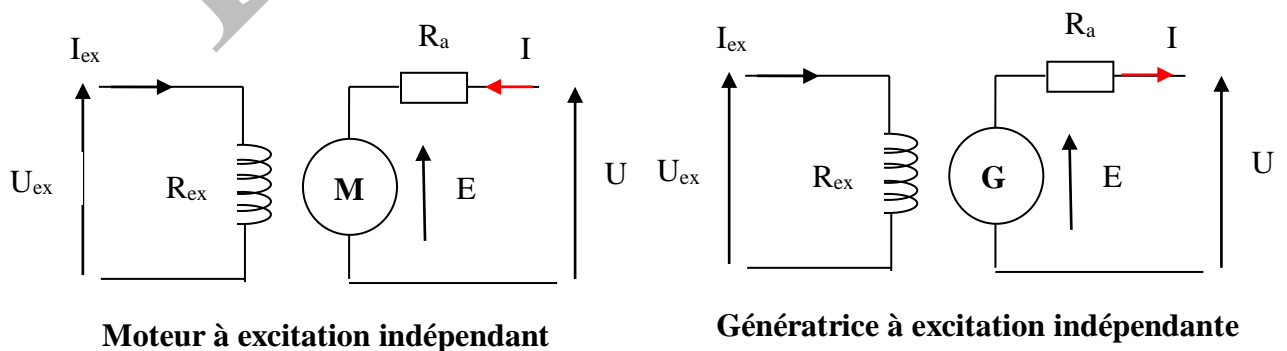
Figure I.11. Structure d'une machine à courant continu

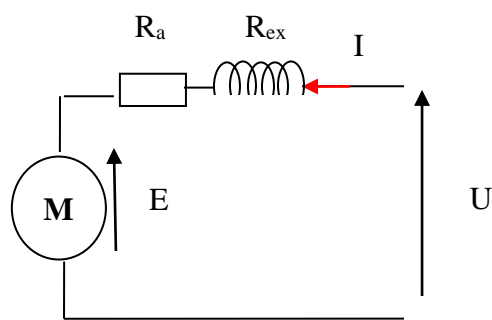
2.3.1.2. Type des machines à courant continu

Suivant l'application, le bobinage de l'inducteur et de l'induit la machine à courant continu peuvent être connectée de manière suivante:

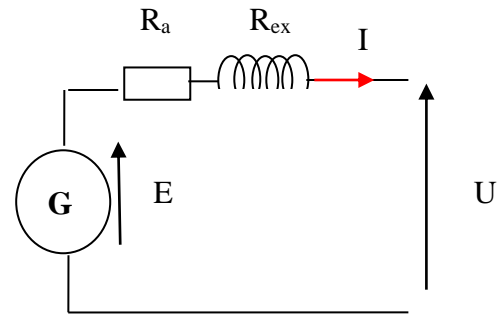


2.3.1.3. Modèle équivalent :

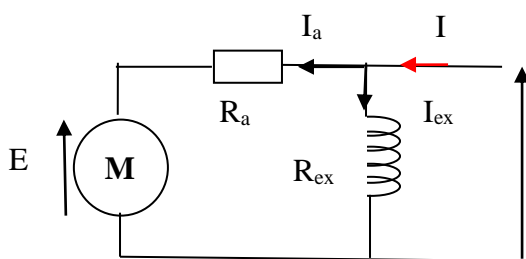




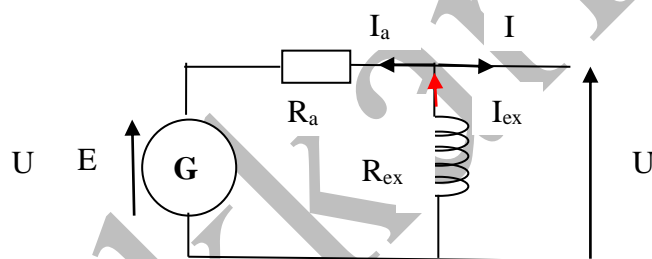
Moteur à excitation série



Génératrice à excitation série



Moteur à excitation shunt



Génératrice à excitation shunt

A) Avantages de la machine à courant continu :

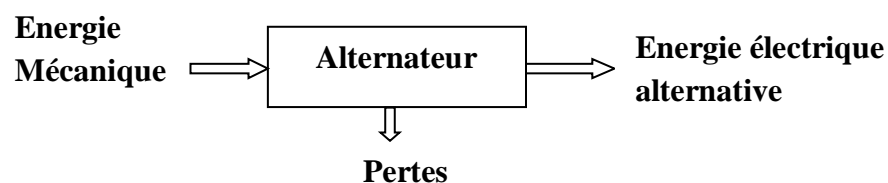
- 1) Fonctionnement facile à renverser (contrôle de la tension d'induit) : génératrice ou moteur.
- 2) Couple au démarrage = important et réglable.
- 3) adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation.

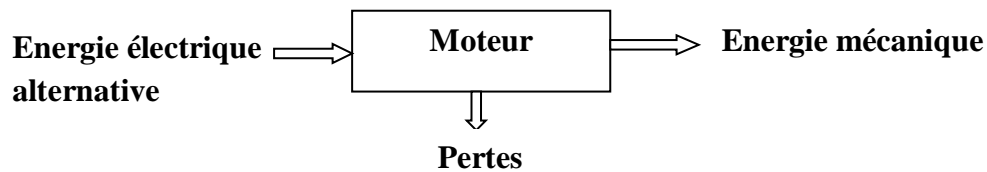
B) Inconvénient de la machine à courant continu :

- 1) Le principal défaut de la machine à courant continu réside dans l'ensemble balais/ collecteur rotatif qui s'use, est complexe à réaliser.
- 2) Nécessité de fournir une tension continue.
- 3) Pour les petites puissances, le moteur est plus cher que le moteur asynchrone.

2.3.2. Machine à courant alternatif:

2.3.2.1. Machine synchrone : La machine synchrone est un convertisseur réversible d'énergie électromagnétique : on peut l'utiliser en moteur ou en générateur.

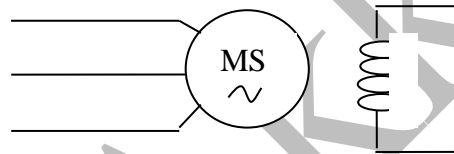




A) Structure :

Comme dans toutes les machines tournantes, on distingue la partie fixe appelée stator, de la partie tournante appelée rotor. Le stator permet de créer un champ tournant alors que le rotor va créer un champ continu qui va tourner lors de la rotation de la machine. Le couplage entre les deux champs nous permettra d'expliquer le fonctionnement du système.

Symbole :



2.3.2.2. Machine asynchrone : Les machines asynchrones sont très utilisées car leur coût est inférieur à celui des autres machines, de plus ces machines sont robustes. Comme les autres machines, la machine asynchrone est réversible.

A) Structure : Une machine asynchrone comprend généralement :

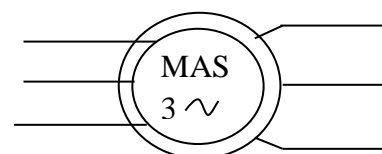
- * **Un stator triphasé** comportant p paires de pôles par phase, identique à celui d'une machine synchrone ;
- * **Un rotor** constitué de conducteurs mis en circuit fermé. On rencontre deux types de rotor.

1. Rotor bobiné : l'enroulement, semblable à celui du stator, comporte p paires de pôles par phase ; les trois paires sont reliées à trois bagues.

2. Rotor à cage : le rotor est constitué de barreaux de cuivre ou d'aluminium reliés aux deux extrémités par deux couronnes conductrices (sans alimentation électrique).



Moteur à rotor à cage



Moteur à rotor Bobiné

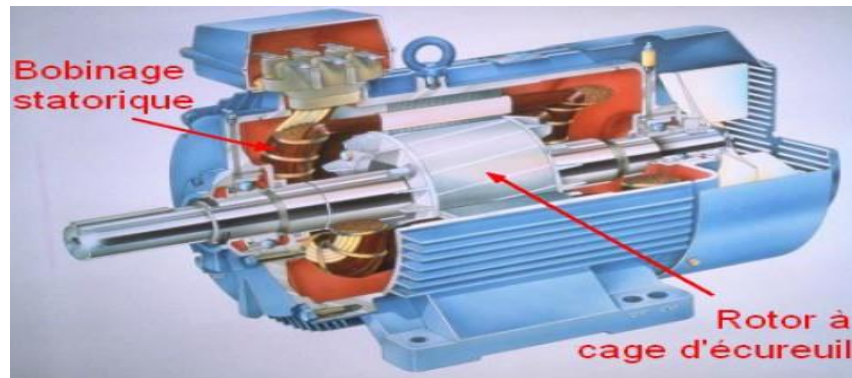


Figure I.12 Structure d'une machine asynchrone à cage

A) Avantages de la machine à courant alternatif :

1. Construction simple et économique.
2. Pas de contact physique entre le rotor et le stator.
3. Entretien réduit au minimum.
4. Possibilité de faire varier la vitesse de rotation.
5. Le moteur asynchrone a l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé.
6. Prix d'achat est moins élevé.
7. La machine asynchrone est robuste.

B) Inconvénient de la machine à courant alternatif :

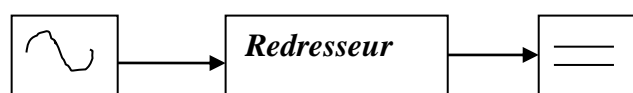
- 1) Tendance à surchauffer à basse vitesse
- 2) Variation de vitesse (nécessité d'un variateur de vitesse)
- 3) La vitesse dépend de la charge.

3. Commande et électronique de puissance :

3.1. L'électronique de puissance : C'est une branche de l'électrotechnique, elle concerne les dispositifs (convertisseur) permettant de changer la forme de l'énergie électrique. Elle comprend l'étude, la réalisation, la maintenance :

- * Des composants électroniques utilisés en forte puissance.
- * Des structures des convertisseurs.
- * De la commande de ces convertisseurs.
- * Des applications industrielles de ces convertisseurs.

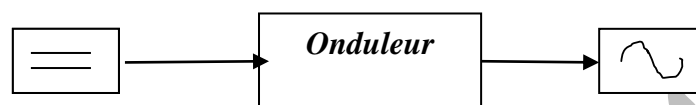
A) Redresseur (alternatif-continu): Les redresseurs sont des convertisseurs statiques permettant, à partir d'une tension alternative, d'obtenir des grandeurs électriques continues.



B) Onduleur(continu-alternatif) : Les onduleurs sont des convertisseurs statiques permettant, à partir d'une tension continue, d'obtenir des grandeurs électriques alternatives. Ils sont utilisés principalement dans deux catégories d'appareils :

* Les alimentations sans coupures (Ex : onduleurs pour l'informatique,.....). La source continue est souvent constituée de batteries. La tension engendrée est souvent d'amplitude fixe.

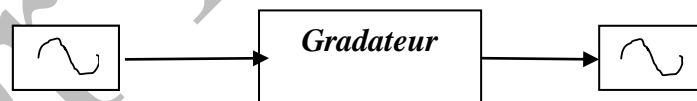
* Les variateurs de vitesse pour machine à courant alternatif. La source continue est obtenue à partir du redressement du réseau. La tension engendrée est de fréquence variable, ce qui fait varier la vitesse des machines à courant alternatif.



C) Hacheur (continu-continu) : est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs électroniques commandés ce qui permet de modifier la valeur de la tension (moyenne) d'une source de tension continue.



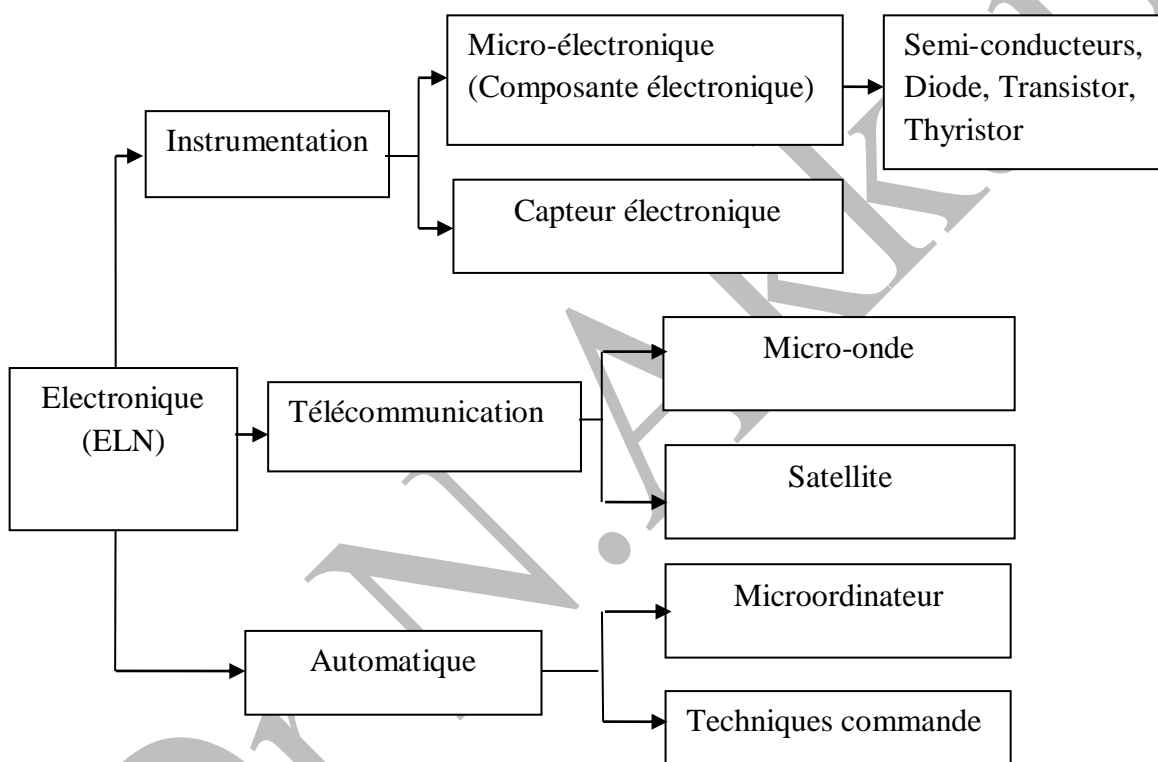
D) Un gradateur (alternatif-alternatif) : C'es un dispositif de l'électronique de puissance, permettant de faire varier la valeur efficace d'une tension alternative tout en conservant la fréquence.



3.2. Commande : La commande ou la régulation automatique est la technique de l'ingénieur offrant les méthodes (outils) nécessaires à la prise de contrôle d'un système physique (installation de production, machines, robot, etc) en vue d'en imposer le comportement. Cette prise de contrôle s'effectue par l'intermédiaire de certains signaux (grandeurs physiques) qu'il est alors nécessaire de mesurer afin de déterminer l'action à entreprendre sur le système. Le contrôle est automatique, aucune intervention humaine n'est nécessaire.

I.2.2. Electronique: L'électronique est une science technique, ou science de l'ingénieur traitant de la mise en forme et de la gestion de signaux électriques, permettant de transmettre ou recevoir des informations. Les applications électroniques peuvent être divisées selon deux groupes :

Le traitement de l'information et la commande. La première regroupe les domaines tel que l'informatique, les télécommunications, les mesures, tandis que la seconde s'occupe de la gestion de l'information, par exemple les microprocesseurs.



1. Lois d'électricité :

A) Courant électrique : C'est un déplacement d'électrons dans un conducteur dont le sens est fixé conventionnellement dans le sens inverse à ce déplacement. L'unité de l'intensité de ce courant est l'**Ampère (A)**.

B) Tension électrique : C'est la différence de potentiel entre deux points. Elle est présente aux bornes d'un récepteur (résistance, lampe, etc.) lorsque celui-ci est traversé par un

courant. Son sens est fixé conventionnellement dans le sens inverse du courant pour un récepteur et dans le sens du courant pour un générateur. L'unité est le **Volt (V)**

C) Générateur : Il permet de fournir une tension fixe (générateur de tension) ou un courant fixe (générateur de courant) à un circuit électrique. En pratique, nous aurons affaire presque tout le temps à des générateurs de tension.

D) Récepteur : C'est un composant qui traversé par le courant électrique produit l'effet pour lequel il est conçu (production de chaleur pour une résistance par exemple).

E) Loi d'Ohm. La Loi d'ohm met en relation 3 éléments: la valeur d'une résistance R (*en ohms*), le courant I qui la traverse (*en Ampère*) et la tension entre ses bornes U (*en Volt*). L'image ci-jointe représente un dipôle (ici une résistance) parcourue par un courant électrique.

La loi d'Ohm est:

$$U=R.I$$

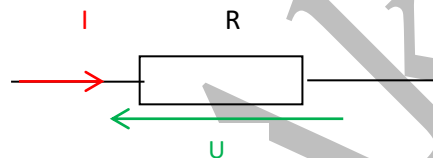


Figure I.13. Loi d'Ohm

Exemple: Pour déterminer la tension aux bornes d'une résistance de $1k\Omega$ qui est traversé par un courant de $12mA$, il faut effectuer le calcul suivant:

$$U=R \times I = 1000 \times 0.012 = 12V$$

La tension aux bornes d'une telle résistance sera donc de $12V$.

F) Loi des Nœuds ou loi d'additivité des courants :

Cette loi permet d'écrire la relation entre les courants en un point (nœud) d'un montage électrique.

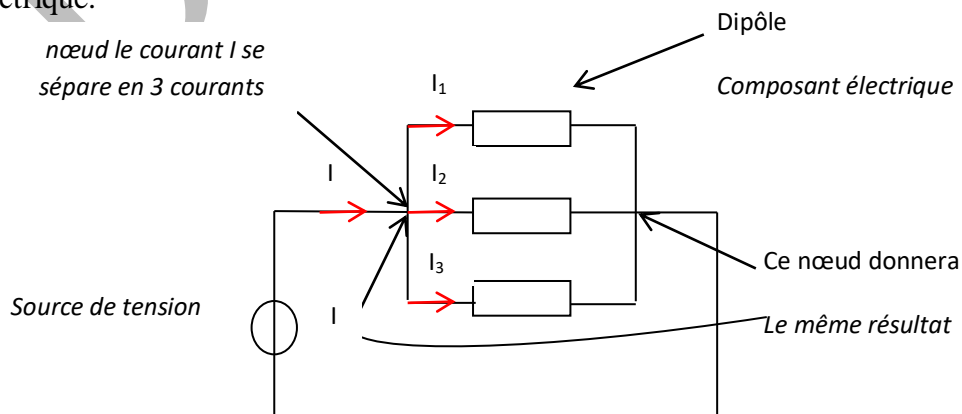


Figure I.14. Loi des nœuds

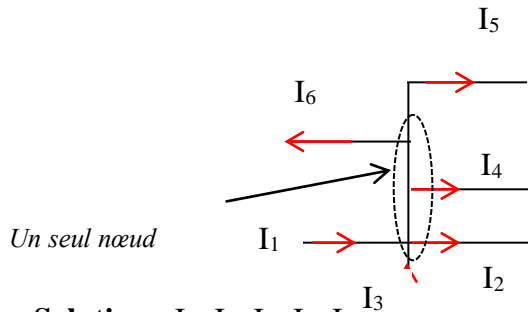
Loi des Nœuds : La somme des courants arrivant sur un nœud est égale à la somme des courants Sortant du nœud.

Si on reprend l'exemple précédent, I arrive sur le nœud, I₁, I₂ et I₃ sortent du nœud.

Donc : $I = I_1 + I_2 + I_3$

Exercice:

On donne; I₁ = 40 mA ; I₂ = 10 mA ; I₃ = 5 mA ; I₄ = 9 mA ; I₆ = 11 mA,
Calculer I₅.



Solution: $I_1 + I_3 = I_6 + I_5 + I_2 + I_4$

Donc $I_5 = I_1 + I_3 - I_6 - I_4 - I_2 = 40 + 5 - 11 - 9 - 10 = 15 \text{ mA}$.

G) Loi des mailles ou loi d'additivité des tensions :

Dans une maille , la somme algébrique des tensions est nulle. Cette loi permet d'écrire la relation entre les tensions d'un circuit électrique.

$U - U_1 - U_2 = 0$

$U = U_1 + U_2$

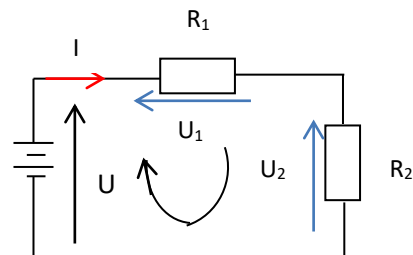


Figure I.15.Loi des mailles

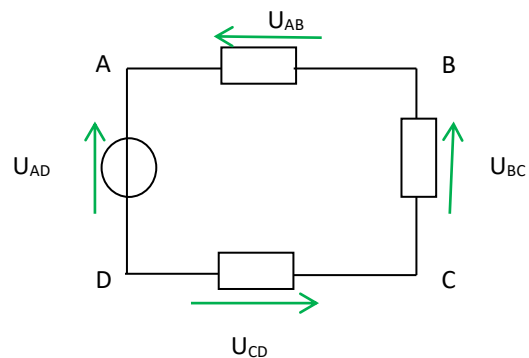
Loi des Mailles : La somme des tensions Dans une maille est nulle.

Exemple: Calculer la tension U_{BC} en utilisant la loi des mailles, On donne U_{AD}=12V,

U_{AB}=2V, U_{CD}=6V

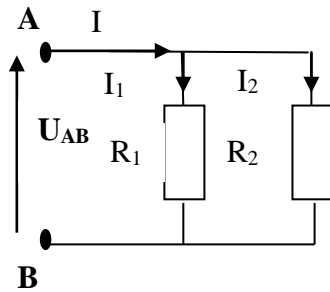
Solution : $U_{AD} - U_{AB} - U_{BC} - U_{CD} = 0$

Donc $U_{BC} = U_{AD} - U_{AB} - U_{CD} = 12 - 2 - 6 = 4 \text{ V}$



H. Diviseur de courant et de tension.

1. Diviseur de courant:

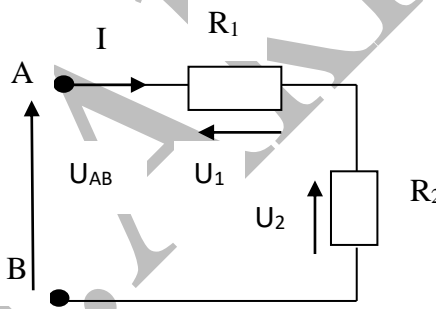


On sait que : $R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Donc on a : $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I$

$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$

2. Diviseur de tension :



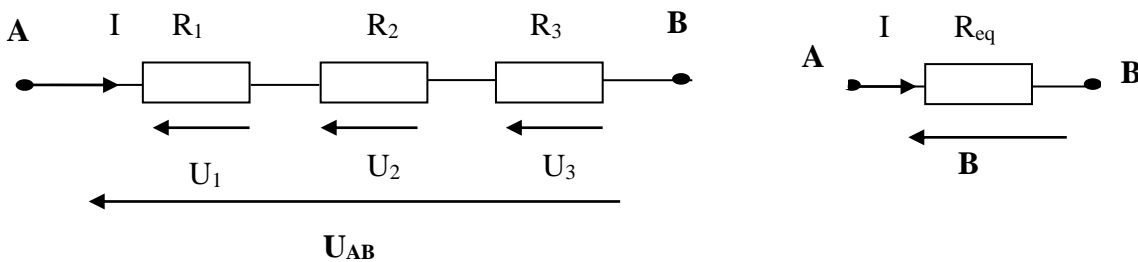
En effet :

$U_1 = R_1 \cdot I = R_1 \cdot \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2}$

$U_2 = R_2 \cdot I = R_2 \cdot \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2}$

I. Couplage des résistances:

1. Couplage en Série : La valeur de la résistance équivalente de plusieurs résistances placées en **série** est égale à la somme des valeurs de chacune des résistances.



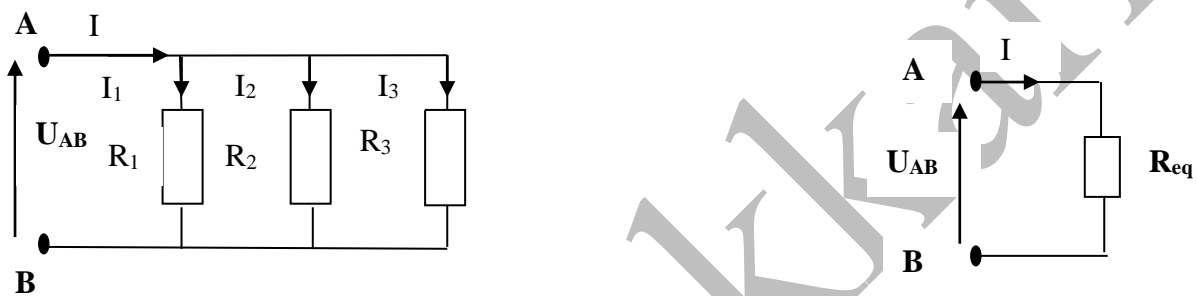
En effet :

$$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3 = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I = R_{eq} \cdot I$$

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

Note : un couplage série est un couplage de deux (ou plus) composant reliés électriquement sans nœuds entre eux (sur la même branche).

2. Couplage en Parallèle : La valeur de la résistance équivalente de plusieurs résistances placées en parallèle est égale à l'inverse de la somme des inverses des valeurs de chacune des résistances.



En effet :

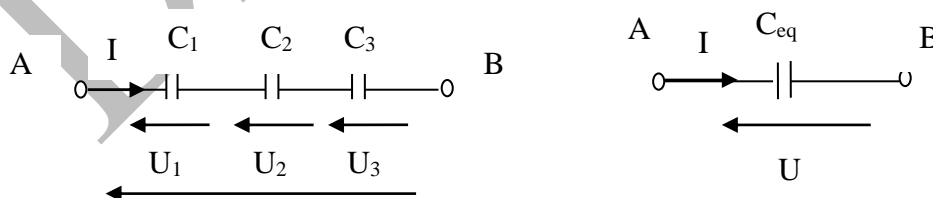
$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} + \frac{U_{AB}}{R_3} \Rightarrow U_{AB} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \cdot I = R_{eq} \cdot I$$

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

Note : un couplage parallèle est un couplage de deux (ou plus) composant reliés à chacune de leurs extrémités aux mêmes potentiels (au mêmes nœuds).

J. Association des condensateurs :

1. Association en série :



$$C = \frac{Q}{U}$$

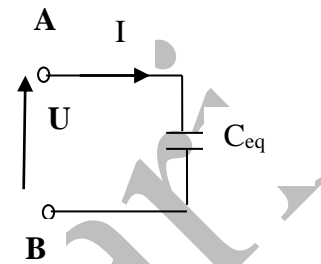
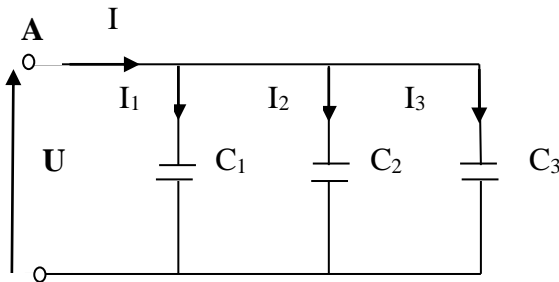
$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$Q = U_1 \cdot C_1 = U_2 \cdot C_2 = U_3 \cdot C_3 \Rightarrow U_1 = \frac{Q}{C_1}, U_2 = \frac{Q}{C_2}, U_3 = \frac{Q}{C_3}$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) = Q \frac{1}{C_{eq}}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

2. Association en parallèle :



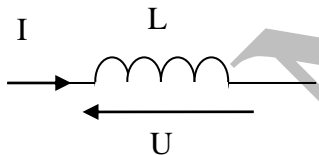
$$I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = U \cdot C_1, Q_2 = U \cdot C_2, Q_3 = U \cdot C_3$$

$$Q = U \cdot C_1 + U \cdot C_2 + U \cdot C_3 \Rightarrow Q = (C_1 + C_2 + C_3) \cdot U = C_{eq} \cdot U$$

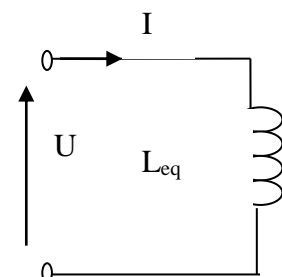
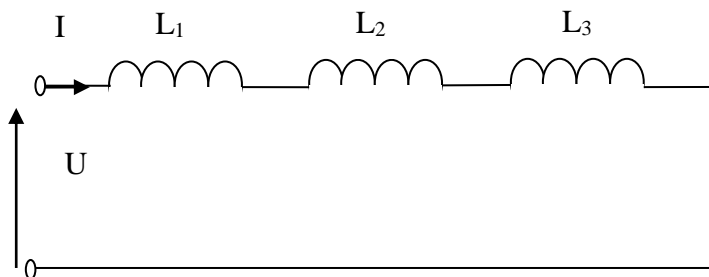
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

J. Association des bobines :



$$U = L \frac{di}{dt}$$

1. Association en série :

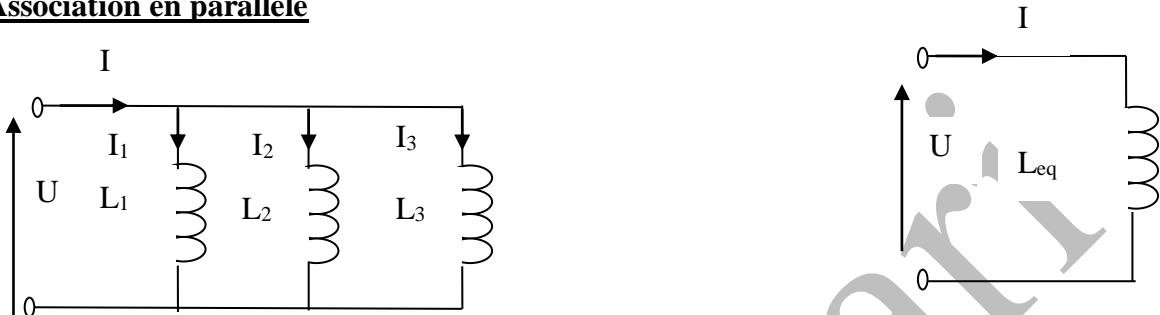


En effet :

$$U = L_{eq} \frac{di}{dt} = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt}$$

$$\Rightarrow L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots L_n$$

2. Association en parallèle



En effet :

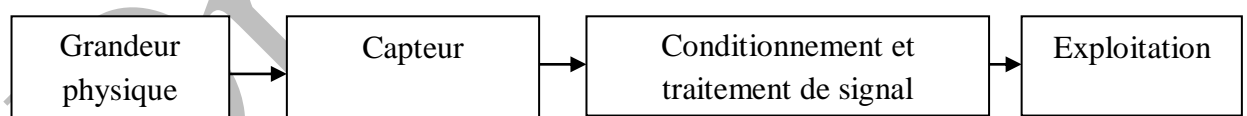
$$I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow \frac{1}{L_{eq}} \int U dt = \frac{1}{L_1} \int U dt + \frac{1}{L_2} \int U dt + \frac{1}{L_3} \int U dt$$

$$\Rightarrow \frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots \frac{1}{L_n}$$

1. Instrumentation : En sciences, l'instrumentation est une technique de mise en œuvre d'instruments de mesure, de capteurs, de régulateurs, en vue de créer un système d'acquisition de données ou de commande.

L'instrumentation est utilisée dans divers domaines et secteurs d'activités (industrie, recherche et développement, universités, etc.).

La chaîne d'instrumentation se constitue de la manière suivante :

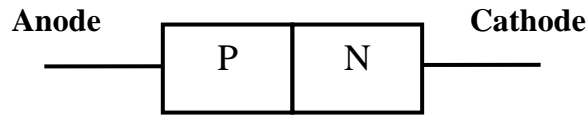


1.2. Les composants électroniques :

1.2.1. Diode à jonction : Une diode à jonction est un cristal de semi-conducteur comportant une jonction PN à laquelle on ajoute deux électrodes respectivement en contact avec chacune des régions. C'est un dipôle électrique unidirectionnel dont les bornes sont l'anode (A) et la cathode (K). Il s'agit d'une jonction PN :

P : désigne un semi-conducteur dopé positivement

N : désigne un semi-conducteur dopé négativement.



Remarque :

On appelle jonction PN la surface de séparation entre deux semi-conducteurs de types N et P accolés.

En polarisation directe c'est-à-dire si $U_A > U_K$ la résistance de la diode est nulle. Elle se comporte alors comme interrupteur fermé.

En polarisation inverse $U_A < U_K$, on a : $R = \infty$. La diode est équivalente à un interrupteur ouvert.

Une diode idéale ne dissipe donc aucune puissance.

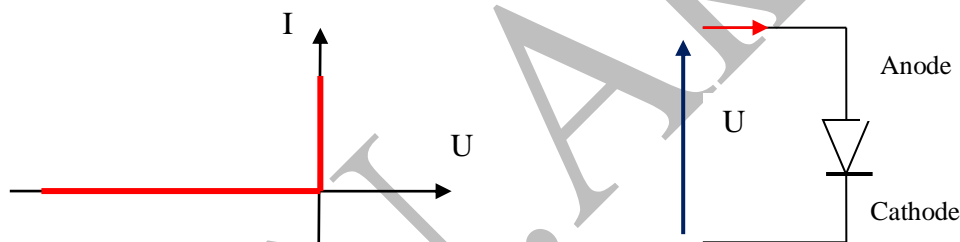
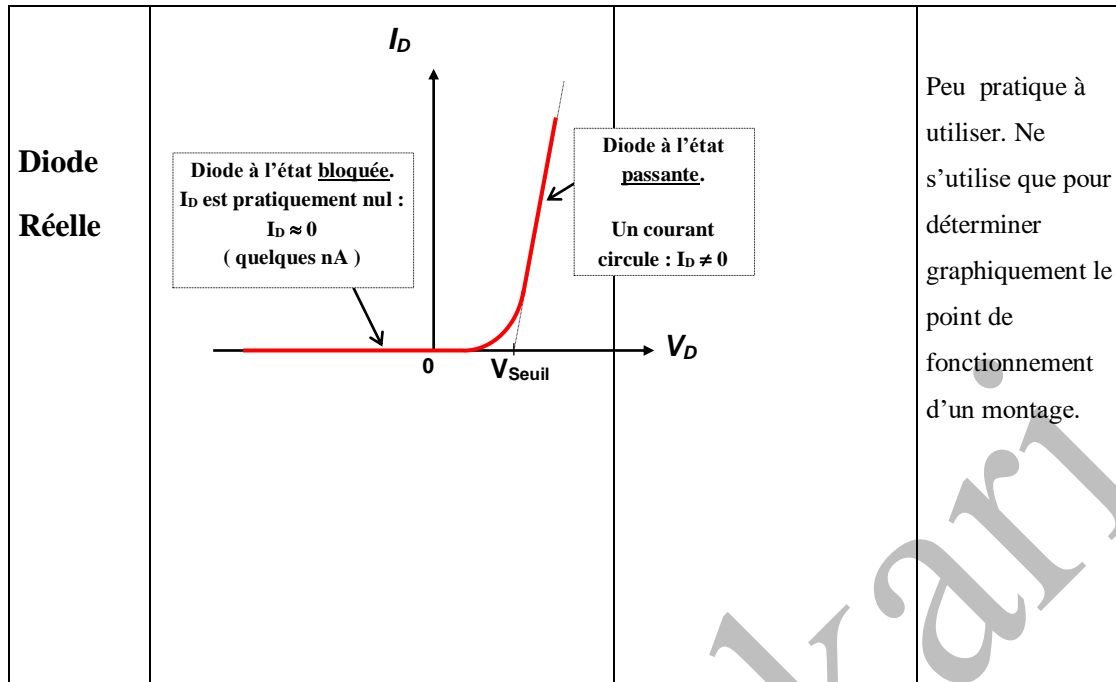


Figure I.16. Diode idéale

<p>Diode Idéale</p>		<p><u>Diode bloquée :</u></p>	<p>Modèle le plus simple à utiliser. La diode est considérée comme idéale :</p>
		<p><u>Diode passante :</u></p>	<p>Si $V_D < 0$: diode bloquée : $I_D = 0$.</p> <p>Si $V_D \geq 0$: diode passante : $I_D \neq 0$.</p>



A) Les différents types des diodes :

La diode	L'utilisation
Diode SCHOTTKY	On l'utilise pour la protection des entrées des composants sensibles aux décharges électrostatiques.
Photodiode	On l'utilise dans le domaine de l'optique (infrarouge notamment)
Diode ZENER	On l'utilise pour la régulation de tension aux bornes d'alimentation
Diode de protection	On l'utilise pour la protection des alimentations contre les surtensions
Diode Electroluminescente :DEL ou LED	On l'utilise pour : flash de téléphones portables, éclairage domestique, éclairage de spectacle, lampe de poche ou frontales...
Diode Varicap (Varator)	Les diodes varicap sont utilisées dans les circuits d'accord des récepteurs radios, des téléviseurs ou encore des oscillateurs contrôlés par tension

Diode Tunnel	Ces diodes sont donc utilisées dans le domaine fréquentiel des micro-ondes
Diode Backward	Ce type est utilisé pour le redressement de signaux de faible amplitude et très haute fréquence (micro-ondes)
Diode signal ou de commutation	Ce type de diode est utilisé surtout en logique, où dans des montages où peu de puissance est mise en jeu
Diode de redressement	Utilisée pour le redressement mono-alternance (une diode) ou bi-alternance (deux ou quatre diodes)

1.2.2. Le thyristor : Le thyristor est composant électronique semi conducteur qui est équivalent à un interrupteur unidirectionnel commandé à la fermeture.

Il comporte 3 broches. Il faut se référer à un catalogue pour connaître l'ordre du brochage.

Symbole :

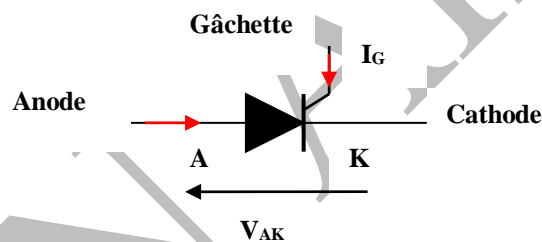


Figure I.17 Symbole de thyristor

* *Pour amorcer un thyristor il faut :*

- Que la tension v_{AK} soit positive ;
- Un courant de gâchette suffisant le temps que i_{AK} s'établisse.

 Le thyristor se comporte comme un interrupteur fermé

**Pour bloquer le thyristor il faut annuler le courant i_{AK} .*

 Le thyristor se comporte comme un interrupteur ouvert

1. 2.3. Transistor bipolaire NPN et PNP :

Un transistor est un composant électronique qui est constitué d'une puce de semi-conducteurs comportant trois zones dopées successivement NPN ou PNP qui permet de

contrôler un courant (ou une tension). Les zones remarquables constitutives de cette puce sont:

La base, Le collecteur, L'émetteur.

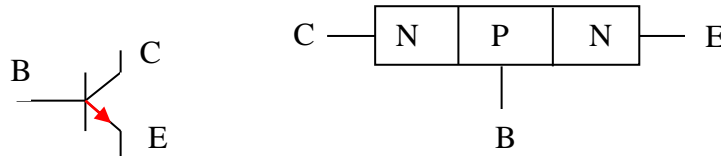


Figure (I.18) Symbole d'un transistor NPN

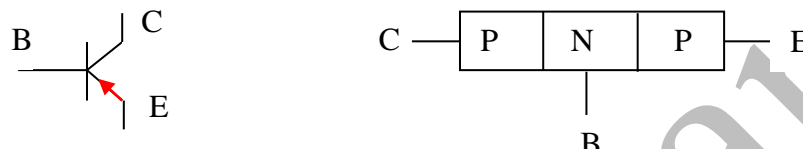


Figure (I.19) Symbole d'un transistor PNP

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

On appelle β le gain du transistor.

I.2.4. Amplificateur opérationnel : Un amplificateur opérationnel (amplificateur différentiel) : c'est un amplificateur électronique qui amplifie une différence de potentiel électrique présente à ses entrées, qui muni de deux entrées, l'une dite non inverseuse (V_+) et l'autre inverseuse (V_-), et d'une sortie (s). Ils permettaient d'implémenter facilement les opérations mathématiques de base comme l'addition, la soustraction, l'intégration, la dérivation et d'autres.

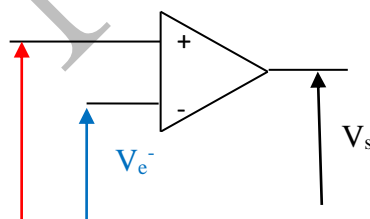
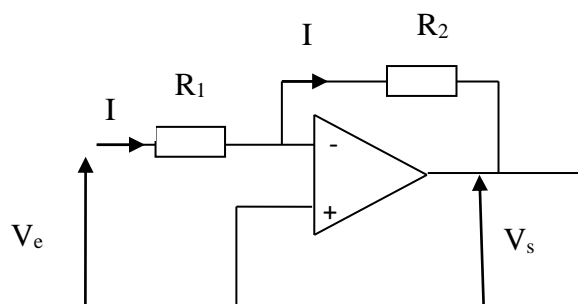


Figure (I.20) Symbole d'un amplificateur opérationnel

A. Amplification :

1. Amplificateur inverseur :

Figure I. 21 Amplificateur inverseur.



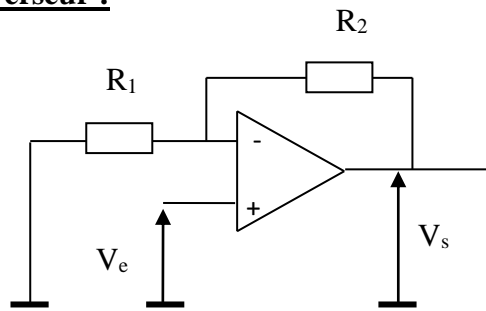
1. Amplificateur non inverseur :

Figure I 22 Amplificateur non inverseur.

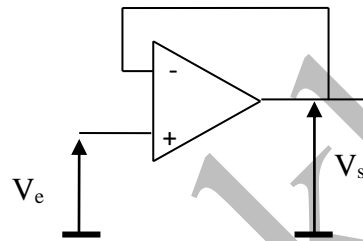
4. Montage suiveur :

Figure I. 23 Amplificateur suiveur.

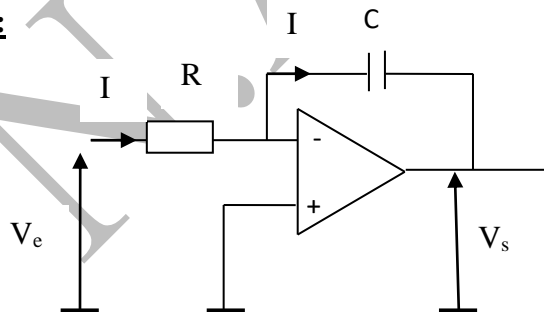
5. Montage intégrateur :

Figure. 24 Montage intégrateur.

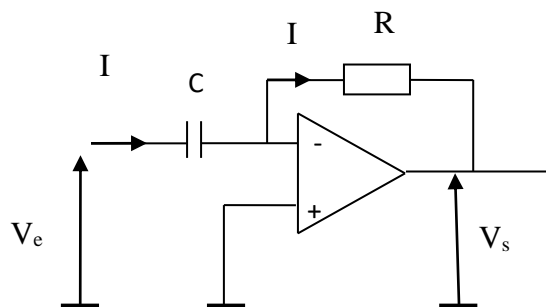
6. Montage dérivateur

Figure I. 25. Montage dérivateur.

1.2.5. Capteurs : Un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité ou la déviation d'une aiguille. On distingue deux grandes familles de capteurs : passifs et actifs. Selon la famille, le conditionnement va être différent.

Exemple :

- 1) Un **capteur photographique** est un composant électronique photosensible servant à convertir un rayonnement électromagnétique en un signal électrique analogique. Ce signal est ensuite amplifié, puis numérisé par un convertisseur analogique-numérique et enfin traité pour obtenir une image numérique. Le capteur est donc le composant de base des appareils photo et des caméras numériques, l'équivalent du film (ou pellicule) en photographie argentique.
- 2) **Les capteurs de vitesse** intègrent la détection de vitesses de rotation et la surveillance dans un seul appareil. La tête du capteur travaille selon le principe du détecteur de proximité inductif. Le détecteur détecte des cames sur une machine en rotation. L'évaluation intégrée convertit cette information en une vitesse de rotation. Si la vitesse de rotation limite réglée est dépassée ou non atteinte, la sortie électronique commute. Les capteurs de vitesse sont adaptés à de nombreuses applications industrielles : pour turbines, pompes ou compresseurs.

2. Télécommunication : Les télécommunications se définissent comme l'ensemble des moyens de communication à distance. Les notions fondamentales associées à ce domaine, la concentration couvre trois aspects : les réseaux (performances, protocoles et structures), le matériel (électronique, micro-onde et optoélectronique) et les systèmes (sans fil, câblés et optiques). Cette concentration permet donc à l'étudiant de se spécialiser dans un domaine innovateur en pleine évolution.

2.1. Satellite : Un satellite artificiel est un objet fabriqué par l'être humain envoyé dans l'espace qui tourne autour de la terre ou d'une autre planète. Il peut avoir différents objectifs comme la météo, le renseignement ou la communication. La trajectoire décrite périodiquement par le satellite est appelée orbite.

Actuellement les satellites touchent un grand nombre d'activités et de domaines qui sont par exemple :

- 3) Diffusion de canaux de télévision, Multimédia, Téléphonie, Transmission des données informatique, Transmission des données de positionsect

2.1.1. Les différents types des satellites :

- a) **Satellite scientifique:** Un satellite scientifique est destiné à des études scientifiques depuis l'espace. Cela peut concerner la géodésie, la géodynamique, la médecine, etc. L'observation de l'univers se fait avec des satellites d'astronomie.
- b) **Satellite d'astronomie :** Les satellites d'astronomie, qui sont des télescopes en orbite, permettent d'observer l'espace.
- c) **Satellite de télécommunications:** Ces satellites sont utilisés pour transmettre des informations d'un point à l'autre de la Terre, notamment les communications téléphoniques, les communications satellitaires et les programmes télévisés.
- d) **Satellite d'observation :** Les satellites de télédétection observent la Terre, dans un but scientifique (température de la mer, manteau neigeux, sécheresse, ...), économique (ressources naturelles, agriculture, etc.) ou militaire (rôle majeur dans les guerres).
- e) **Satellite de positionnement (localisation et de navigation) :** Ces satellites permettent de connaître la position d'objets à la surface de la Terre, dans les airs (avions, missiles) et dans l'espace.

2.2. Micro-onde : Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques de longueur d'onde intermédiaire entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion. Le terme de micro-onde provient du fait que ces ondes ont une longueur d'onde plus courte que celles de la bande VHF, utilisée par les radars.

Exemple d'utilisation :

- 1) Des micro-ondes sont également employées dans les transmissions par satellite parce que cette fréquence traverse facilement ;
- 2) Les radars emploient également le rayonnement micro-onde pour détecter la distance, la vitesse et d'autres caractéristiques des objets éloignés ;
- 3) Les protocoles de transmission sans fil pour réseaux locaux tels que Wi-Fi, Bluetooth emploient également des micro-ondes dans la bande de 2,4 et 1,9 gigahertz respectivement, bien que quelques variantes emploient une bande de 5 gigahertz pour la communication ;

- 4) La télévision par câble et l'accès Internet par câble coaxial ainsi que la diffusion des émissions de télévision emploient certaines des fréquences micro-ondes inférieures ;
- 5) La téléphonie mobile repose sur les micro-ondes ;
- 6) Un four à micro-ondes utilise un magnétron comme générateur de micro-ondes à une fréquence approximative de 2,4 gigahertz afin de chauffer les aliments.

3. L'automatique : L'automatique est définie comme la science de l'analyse et de la commande des systèmes dynamiques. Elle est axée sur les points suivants :

- * Apprentissage et maîtrise des concepts et outils mathématiques pour l'analyse des systèmes physique (modélisation, analogie des systèmes physiques) et des systèmes de commande (fonction de transfert, transformée de Laplace, analyse temporelle etc.)
- * Introduction aux méthodes de modélisation et d'identification.
- * Présentation des principes de l'automatique continue (asservissement et régulation).
- * Initiation à la commande pilotée par ordinateur numérique et à la conception des microcontrôleurs et leurs applications dans la commande en temps réel.

3.1. Définition d'un système :

Un système est un ensemble d'éléments matériels agissant et réagissant les uns sur les autres, sous l'effet de leur propre fonctionnement et des actions extérieures. Ces actions peuvent être :

- De commande
- De perturbation

$x_1(t) \dots x_n(t)$ pour les signaux d'entrée de commande.

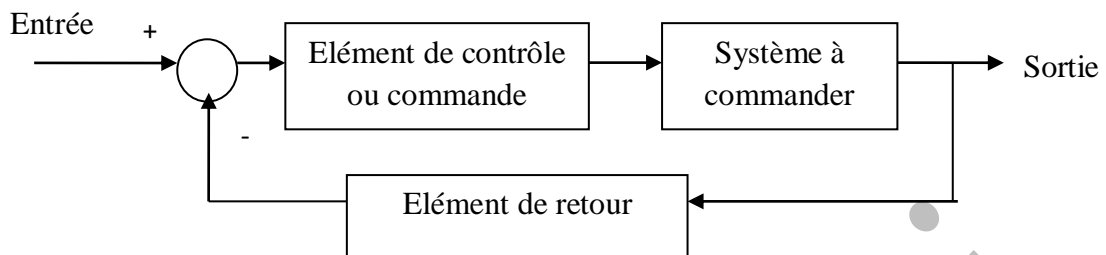
$y_1(t) \dots y_m(t)$ pour les signaux de sortie.

Il existe deux types des systèmes : système mono variable et système multi variable

3.2. Classification des systèmes :

1. Systèmes linéaire
2. Système continu
3. Système discret
4. Systèmes non linéaires

3.3. Systèmes asservis linéaire : Un système asservis est un système bouclé dans lequel la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal, appelé écart.



Exemples de systèmes asservis : pilotage automatique des avions et des bateaux, contrôle de température dans les salles et les fours, régulation de vitesse des moteurs.

3.4. Circuit du premier ordre :

On appelle circuit du premier ordre un circuit dont la réponse (charge, tension ou courant électrique) $s(t)$ à un signal d'entrée $e(t)$ également électrique, mais pas obligatoirement de même nature, est solution d'une équation différentielle du premier ordre:

$$\tau \frac{ds}{dt} + s(t) = [e(t)]$$

La constante τ est appelée constante de temps du circuit est exprimée en secondes.

A) Régime stationnaire: Un régime stationnaire est caractérisé par des grandeurs indépendantes du temps. Un circuit en courant continu est donc en régime stationnaire.

B) Régime variable : Régime dans lequel ces grandeurs dépendent du temps; elles sont notées par des lettres minuscules $v(t)$, $i(t)$...

Elles désignent la valeur à l'instant t ou encore la valeur instantanée de ces grandeurs.

C) Régime permanent : Régime dans lequel ces grandeurs peuvent dépendre du temps, les variations étant permanentes au cours du temps; exemple : régime permanent sinusoïdal.

D) Régime transitoire : Généralement régime qui précède l'établissement du régime permanent dans un circuit électrique. Il décrit l'état intermédiaire d'un circuit électrique évoluant entre deux états permanents stables.

Par exemple, on applique ce qu'on appelle un échelon unité: une brusque variation de signal d'entrée :

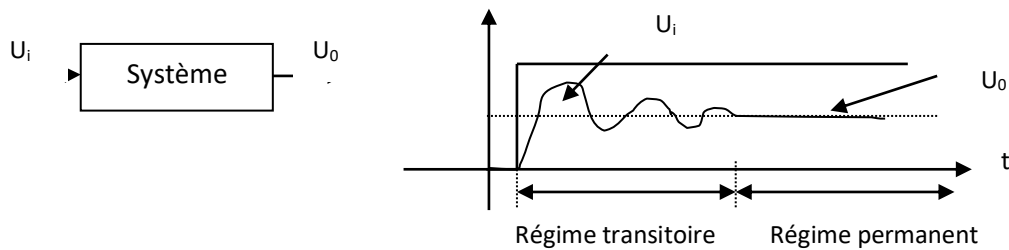


Figure I.26 Repense d'un système

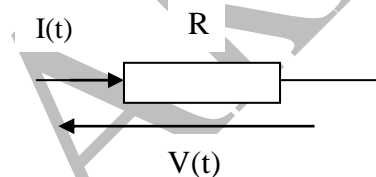
3.3.1. Mise en équations des régimes transitoires :

L'étude du comportement en régime transitoire s'effectue en appliquant au circuit une excitation (entrée). En utilisant les lois de Kirchhoff pour ces circuits, on aura en général des équations différentielles linéaires à coefficients constants.

1) Dipôle purement résistif :

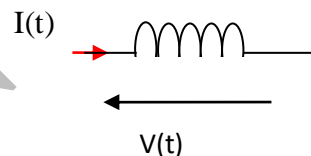
On considère le dipôle purement résistif suivant :

A chaque instant, on peut écrire :



2) Dipôle purement inductif :

On considère le dipôle purement inductif suivant :



2.1. Équation fondamentale :

A chaque instant, la tension aux bornes de l'inductance est :

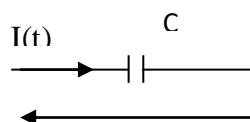
$$V_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

L'intensité qui traverse l'inductance est :

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t V(t) dt + i(0)$$

3. Dipôle purement capacitif :

On considère le dipôle purement capacitif suivant :



A chaque instant, l'intensité qui traverse la capacité est :

$$i(t) = c \frac{dV(t)}{dt}$$

La tension aux bornes de la capacité est :

$$V(t) = \frac{1}{c} \int_0^t i(t) dt + V(0)$$

3.3.2. Réponse des circuits du premier ordre :

Un circuit du premier ordre est régi par une équation différentielle du premier ordre du type :

$$\tau \frac{ds}{dt} + s(t) = e(t)$$

$e(t)$ est le signal appliqué au circuit électrique. Il est aussi le second membre de l'équation différentielle. $s(t)$ est la réponse en tension ou en courant du circuit au signal appliqué.

Remarque :

La solution générale de l'équation différentielle complète s'écrit : $s(t) = S_h + S_p$, où S_h est la solution de l'équation homogène qui correspond à la réponse du système sans excitation et S_p est une solution particulière de l'équation complète. Si l'excitation est continue, la réponse particulière est continue.

3.3.2.1. Circuit RC :

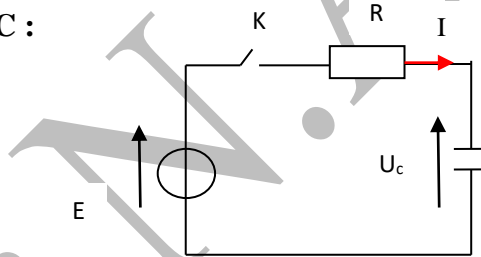


Figure (I.27) Circuit RC

A l'instant $t=0$ on ferme l'interrupteur K. Le condensateur se charge jusqu'à ce que sa tension atteigne la tension d'alimentation E.

Alors que la tension d'alimentation du circuit passe subitement (échelon) d'un état à l'autre (à la fermeture de K), la tension U_c ne subit pas de discontinuité.

L'application des lois de Kirchhoff et des relations constitutives des éléments R et C nous procure l'équation différentielle suivante :

$$E = Ri + \frac{1}{c} \int i(t) dt$$

Sachant que :

$$q(t) = \int i(t) dt$$

Alors :

$$E = R\dot{q}(t) + \frac{1}{c}q(t)$$

$$q(0) = 0$$

$q(t)$: charge circulant dans le circuit

La solution générale de l'équation homogène est :

$$R\dot{q}(t) + \frac{1}{c}q(t) = 0$$

$$q_h(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + q(0)$$

La solution particulière est :

$$q_p(t) = C \cdot E$$

La solution générale est :

$$q(t) = C \cdot E - CE \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Régime transitoire

Régime permanent

$$Uc(t) = \frac{1}{c} \int i(t) dt = \frac{1}{c} q(t)$$

Alors:

$$Uc(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$i(t) = c \frac{dU_c}{dt} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

Constante de temps $\tau = RC$

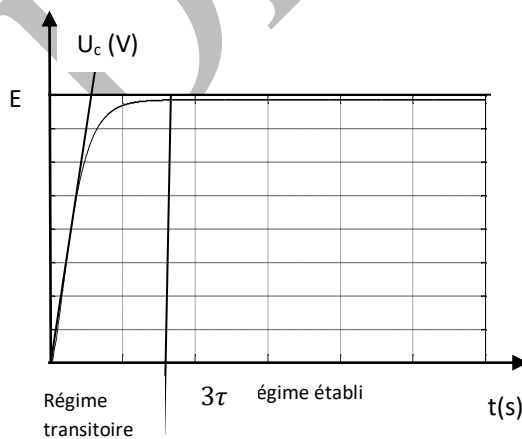


Figure (I.28) tension aux bornes de la capacité

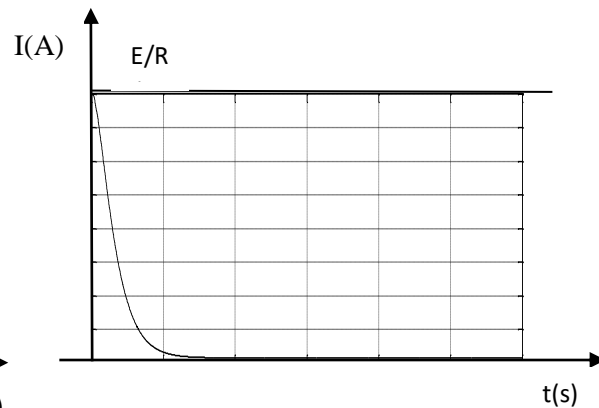
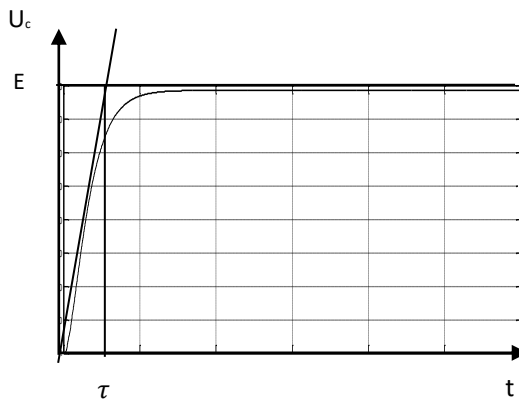


Figure (I.29) courant qui traverse la capacité

Le régime transitoire est considéré comme fini lorsque le signal atteint 95% de sa valeur maximale, ce qui revient à : $t_{transitoire} = 3\tau$

Relevé de la constante de temps

Méthode 1: on trace la tangente au début de la charge.



Méthode 2: τ est le temps que met la tension U_c pour atteindre 63% de sa valeur maximum.

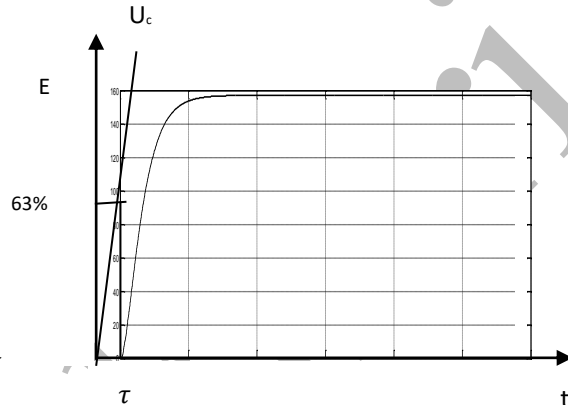


Figure (I.30) Les deux méthodes pour le calcul de constante de temps

3.3.2.2. Circuit RL :

A l'instant $t=0$ on ferme l'interrupteur K. Les mêmes observations que celles pour la charge du condensateur s'appliquent à l'inductance.

Le courant augmente jusqu'à la valeur maximum que l'on aurait sans l'inductance, à savoir E/R .

Alors que la tension d'alimentation du circuit passe subitement (échelon) d'un état à l'autre (à la fermeture de K), le courant I ne subit pas de discontinuité. Le temps de mise en conduction dépend de R et L mais pas de E.

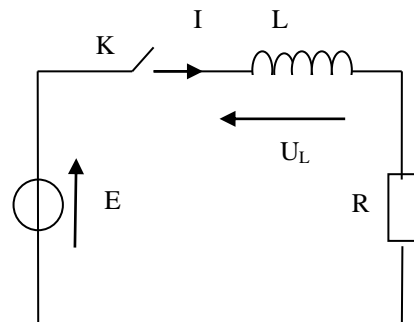


Figure (I.31) Circuit RL

Constante de temps : $\tau = \frac{L}{R}$

$$U_L = L \frac{dI}{dt} = E e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Durée du régime transitoire : $t_{transitoire} = 3\tau$

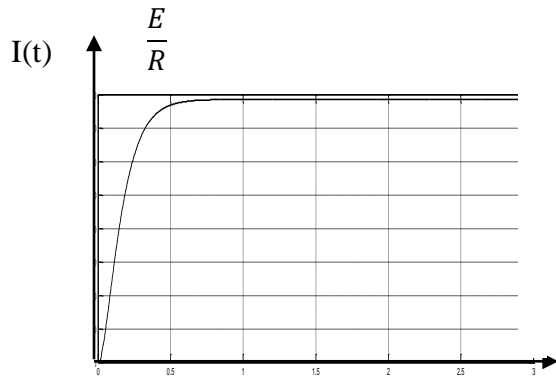


Figure (I.32) Courant qui traverse l'inductance

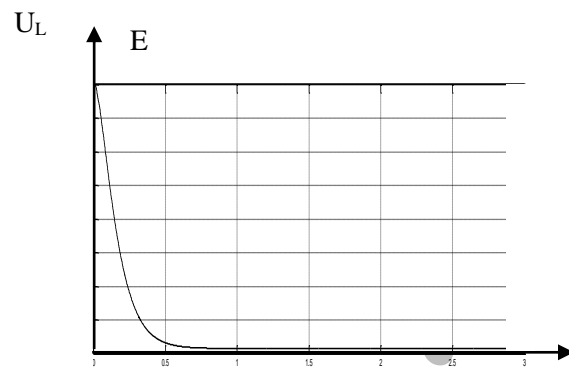


Figure (I.33) tension aux bornes de l'inductance

I.2.3. Electromécanique : L'électromécanique est une science technique ou science de l'ingénieur qui s'intéresse à l'association des techniques de l'électricité et de la mécanique. L'électromécanicien est chargé d'installer des machines sur un lieu de production industriel ou sur un chantier. Son rôle consiste surtout ensuite à en assurer l'entretien et la maintenance. Électricité, mécanique.

I.2.4. Génie industriel :

L'objectif de la formation génie industriel est d'offrir aux différents secteurs de l'économie (production, petites et moyennes entreprises, services, bureaux d'études, banques...) des ingénieurs capables de concevoir, gérer, organiser et optimiser le fonctionnement des systèmes complexes de production de biens ou de services, systèmes qui intègrent à la fois les ressources humaines, financières, immatérielles et les flux de matières, matériaux, énergies et informations... Afin d'assurer cette mission, la formation en génie industriel associe une bonne maîtrise de la science et de la technologie et la compétence en matière de gestion et d'économie d'entreprise, grâce à une bonne connaissance des outils mathématiques et informatiques permettant d'appréhender les différents aspects et les composantes d'un projet ou d'un système industriel.