

1. Introduction :

C'est quoi un réseau électrique ?

Un réseau électrique c'est l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation (consommateurs) de l'électricité depuis la centrale de production jusqu'aux clients soit en basse tension (BT), soit en moyenne tension (MT), soit en haute tension (HT).

1.1 Production de l'énergie électrique :

L'énergie électrique est produite dans des centrales qui disposent d'éléments indispensables à la génération de courant électrique qui sont :

- Une turbine en mouvement.
- Un alternateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

1.1.1 Types de centrales électriques :

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- 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.
- Les centrales hydroélectriques.
- Les centrales solaires (photovoltaïques, thermique).
- Les centrales éoliennes.

1.1.2 La centrale thermique :

Les centrales électriques les plus répandues et qui produisent la plus grosse part de l'énergie électrique sont les centrales thermiques :

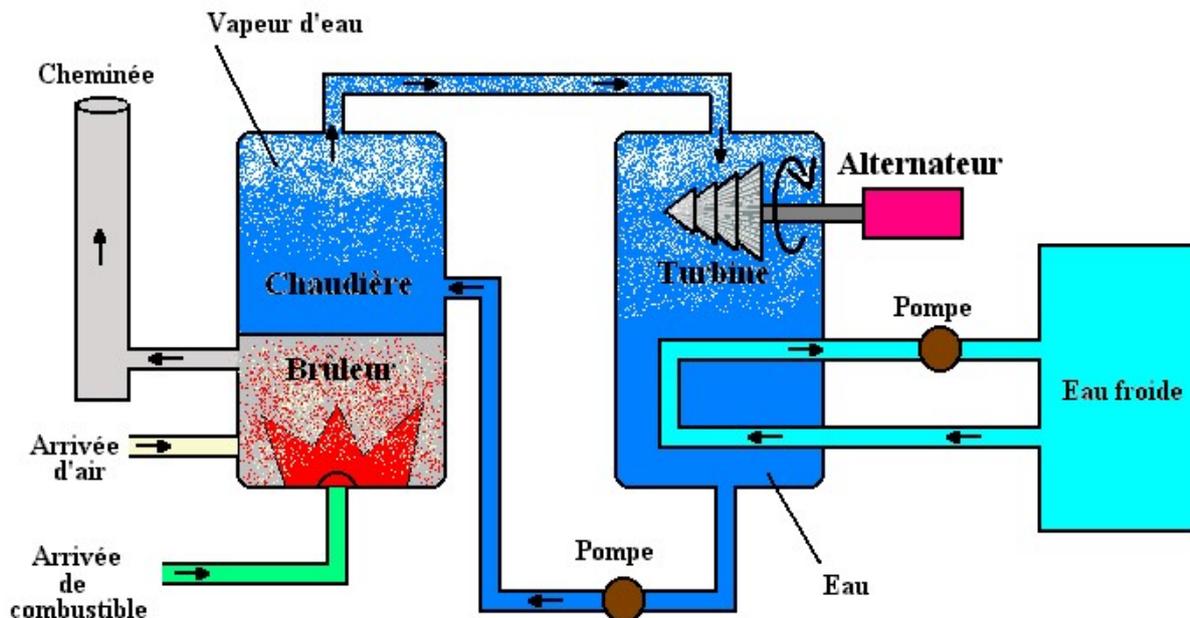
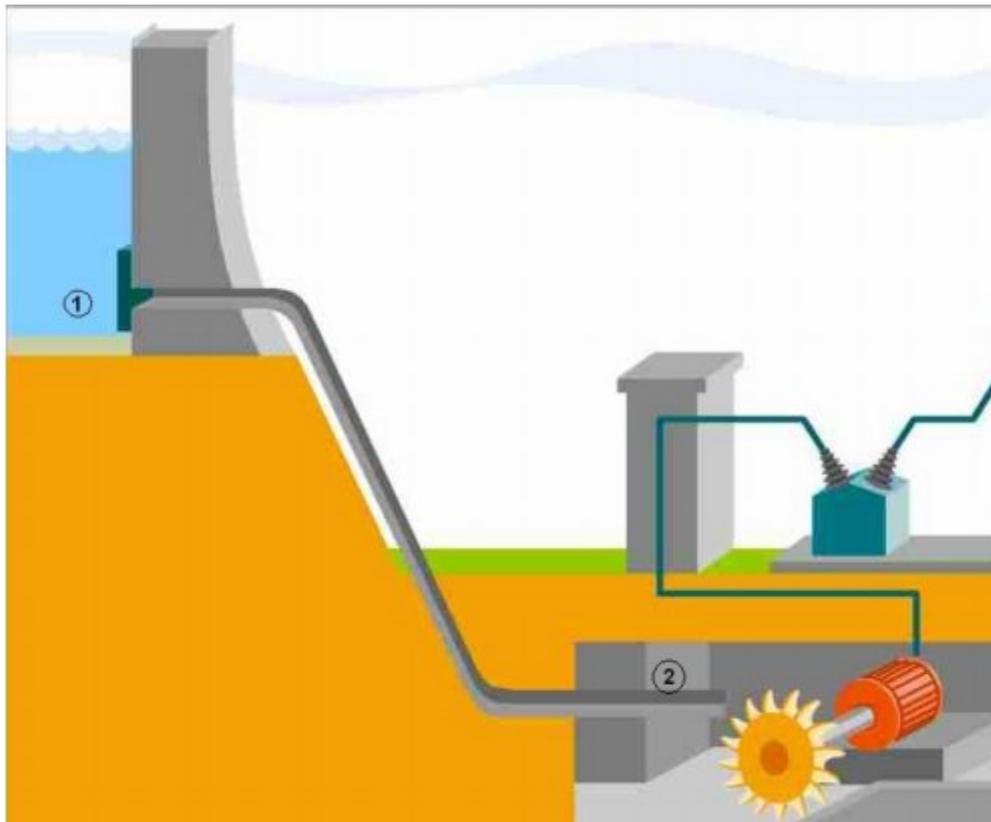


Schéma détaillant le principe de fonctionnement d'une centrale thermique.

Le principe de fonctionnement d'une centrale thermique : 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. Celle-ci sera, par la suite, transformée à son tour en énergie électrique via un alternateur. A la sortie de la turbine, la vapeur est retransformée en eau (condensation) au contact de parois froides pour être renvoyée dans la chaudière où le cycle recommence.

1.1.3 Les centrales hydroélectriques :

Les centrales hydroélectriques utilisent l'énergie mécanique de l'eau pour faire tourner la turbine et l'alternateur.



Centrale hydroélectrique.

Les différents types des centrales hydroélectriques : suivant la hauteur de chute d'eau on distingue 3 types :

1. Les de haute chute ($h > 300m$) :

Les centrales de haute chute ont des hauteurs supérieures à 300 m ; elles utilisent des turbines **Pelton**.

2. Les de moyenne chute ($30m < h < 300m$) :

Les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30m et 300 m ; elles utilisent des turbines **Francis**.

3. Les de basse chute ($h < 30m$) :

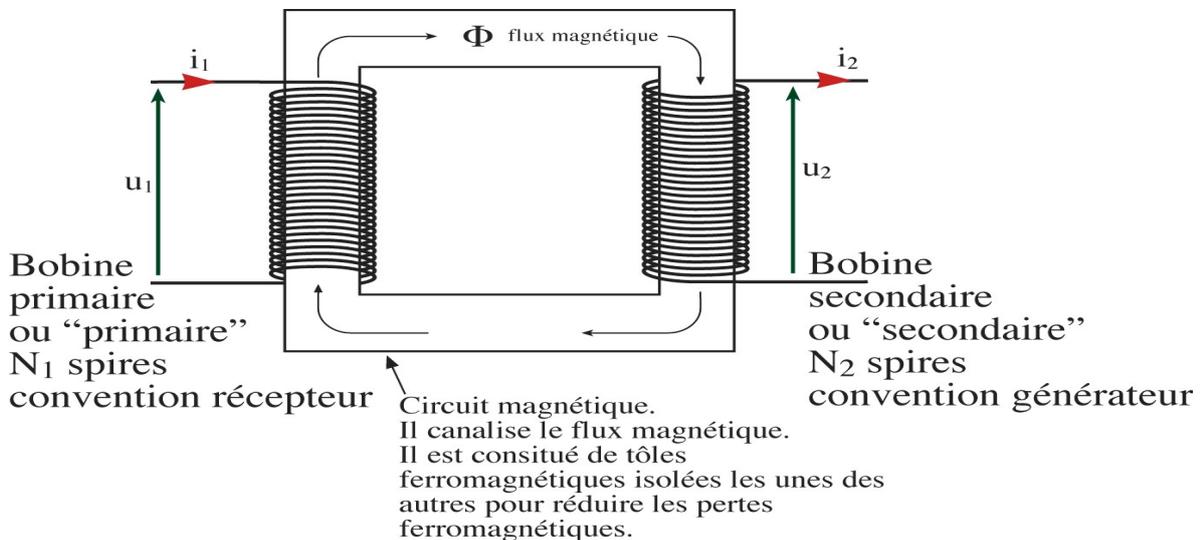
Les centrales de basse chute ou centrales fil d'eau ont des hauteurs inférieures à 30 m ; elles utilisent des turbines **Kaplan**.

3. Transport et distribution de l'énergie électrique :

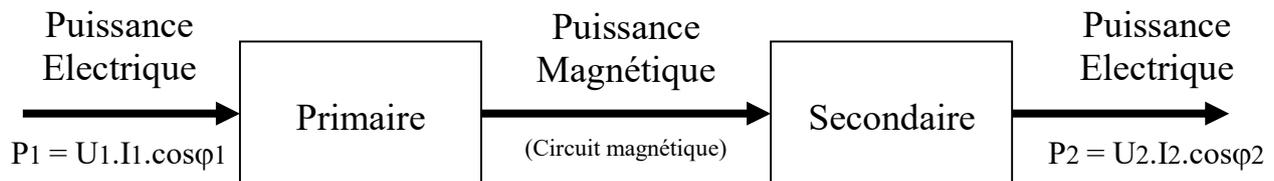
3.1 Les transformateurs :

▪ Le principe de base des transformateurs :

Le transformateur est un convertisseur statique. Il transforme une tension et un courant sinusoïdal en une autre tension et un courant sinusoïdal de valeur efficace différente. Il est constitué d'un circuit primaire et d'un autre secondaire reliés par un autre circuit ferromagnétique.



Selon la loi de Faraday, une variation de flux à travers une spire crée une f.é.m. "e".



La relation entre les grandeurs d'entrées et de sorties est "m" qu'on appelle **le rapport de transformation**.

$$m = \frac{n_2}{n_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

si $m > 1$, le transformateur est élévateur de tension.

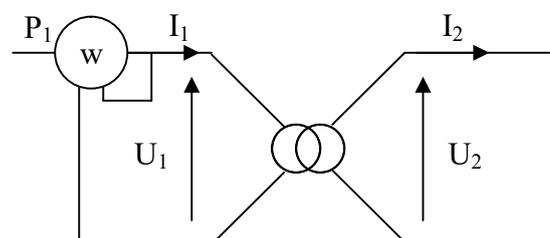
si $m < 1$, le transformateur est abaisseur de tension.

Les transformateurs sont les liens indispensables entre les différentes parties du réseau de distribution de l'énergie électrique. On les retrouve au niveau de tous les postes de répartition et de distribution.

Le transformateur est choisi pour fonctionner sous les conditions nominales de tension et de courant.

Les transformateurs sont caractérisés par le **rendement** qui s'exprime par :

$$\eta = (P_2 / P_1) = (P_1 - P_{\text{perte}}) / P_1$$

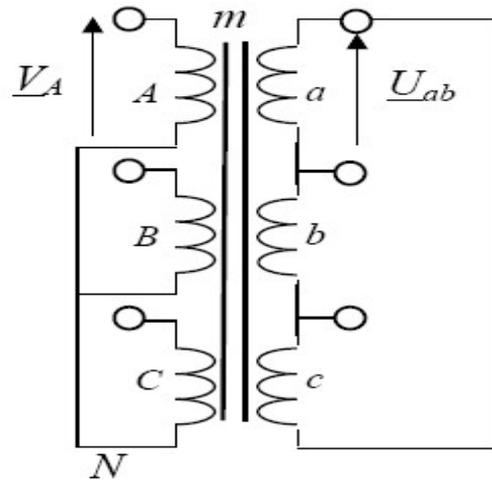


Si on néglige les pertes, le transformateur est donc idéal, on a :

$$P_2 = P_1 \text{ Donc : } I_1 U_1 = I_2 U_2$$

▪ **Transformateurs triphasés :**

Afin de transformer l'amplitude des tensions d'un système triphasé, il faut théoriquement se servir de 3 transformateurs monophasés, dont les phases seront couplées en fonction des caractéristiques de la charge, en étoile ou en triangle. On représente ci dessous, en tant qu'exemple, le symbole d'un transformateur triphasé dont le primaire est câblé en étoile et le secondaire en triangle.



On notera de façon conventionnelle les bobinages **primaires en majuscule (A, B et C)** et **secondaires en minuscules (a, b et c)**.

Le couplage est toujours indiqué par un symbole :

- Y ou y : couplage **étoile** primaire ou secondaire
- Δ ou d : couplage **triangle** primaire ou secondaire
- Z ou z : couplage **Zig-Zag** primaire ou secondaire

3.2 L'architecture du réseau de transport et de distribution :

Le réseau électrique est structuré en plusieurs niveaux de tension :

Les réseaux de transport à très haute tension (THT) transportant l'énergie électrique produite dans les centrales de production couvrant ainsi de grands territoires et se rapprochant des gros consommateurs. Ces réseaux sont interconnectés, donc maillés, réalisant la mise en commun de l'ensemble des moyens de production à disposition de tous les consommateurs.

Les réseaux de répartition à haute tension (HT) assurant l'alimentation des points de livraison à la distribution.

Les réseaux de distribution sont les réseaux d'alimentation des consommateurs, mise à part les importantes installations industriels qui sont très souvent alimentés directement par les réseaux THT et HT.

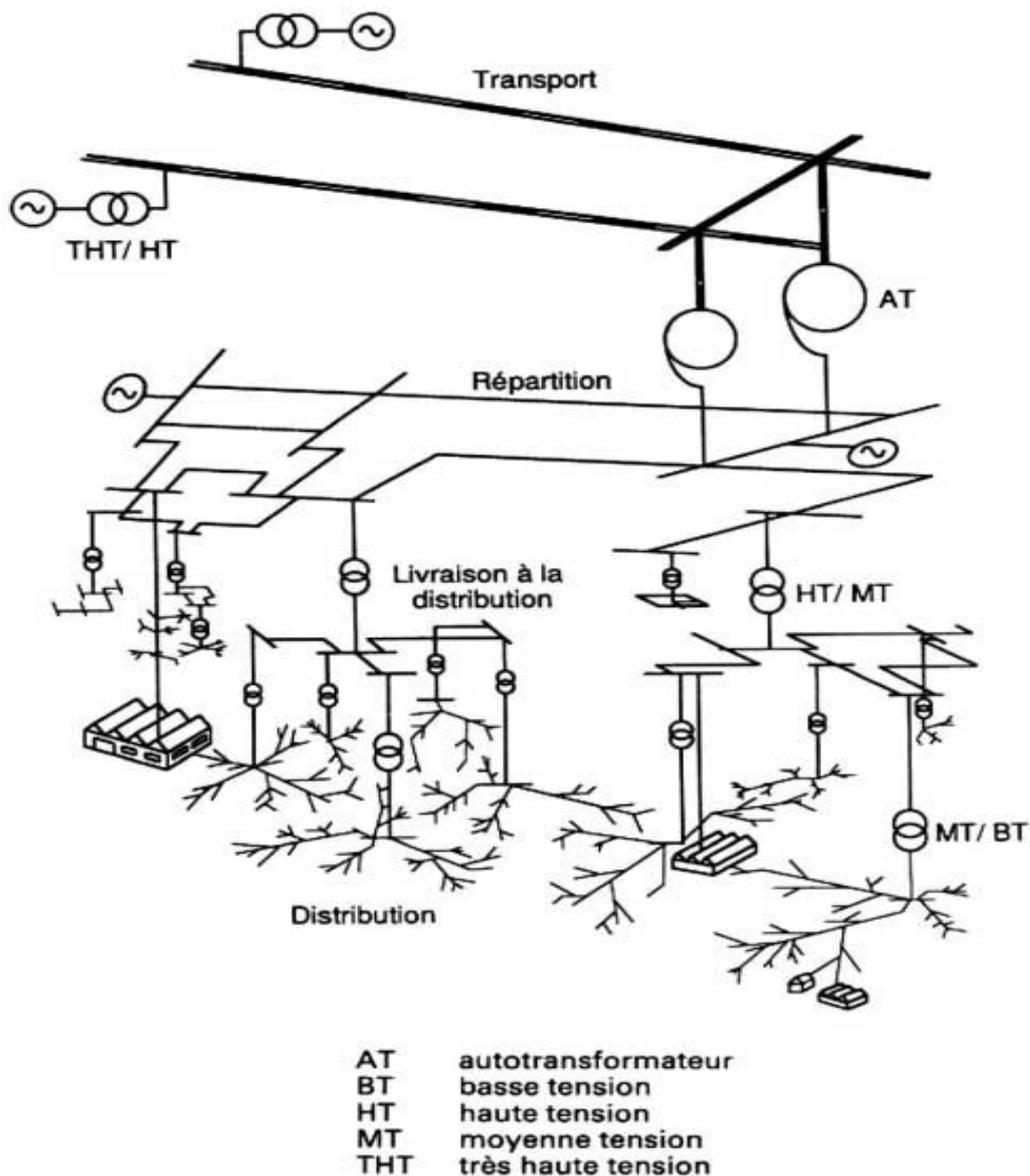


Figure représentant le réseau de transport, de répartition et de distribution

Selon la norme **CEI 38**, les tensions dans le réseau électrique sont classées en trois catégories, Haute Tension (HT), Moyenne Tension (MT) et Basse Tension (BT) Avec :

- HT (THT et HT) : pour une tension composée comprise entre 40 kV et 1000 kV
 Les valeurs normalisées sont : 45 kV - 66 kV - 110 kV - 132 kV - 150 kV - 220 kV
- MT : pour une tension composée comprise entre 1000 V et 35 kV
 Les valeurs normalisées sont : 3,3 kV - 6,6 kV - 11 kV - 22 kV - 33 kV
- BT : pour une tension composée comprise entre 100 V et 1000 V
 Les valeurs normalisées sont : 400 V - 690 V - 1000 V (à 50 Hz)

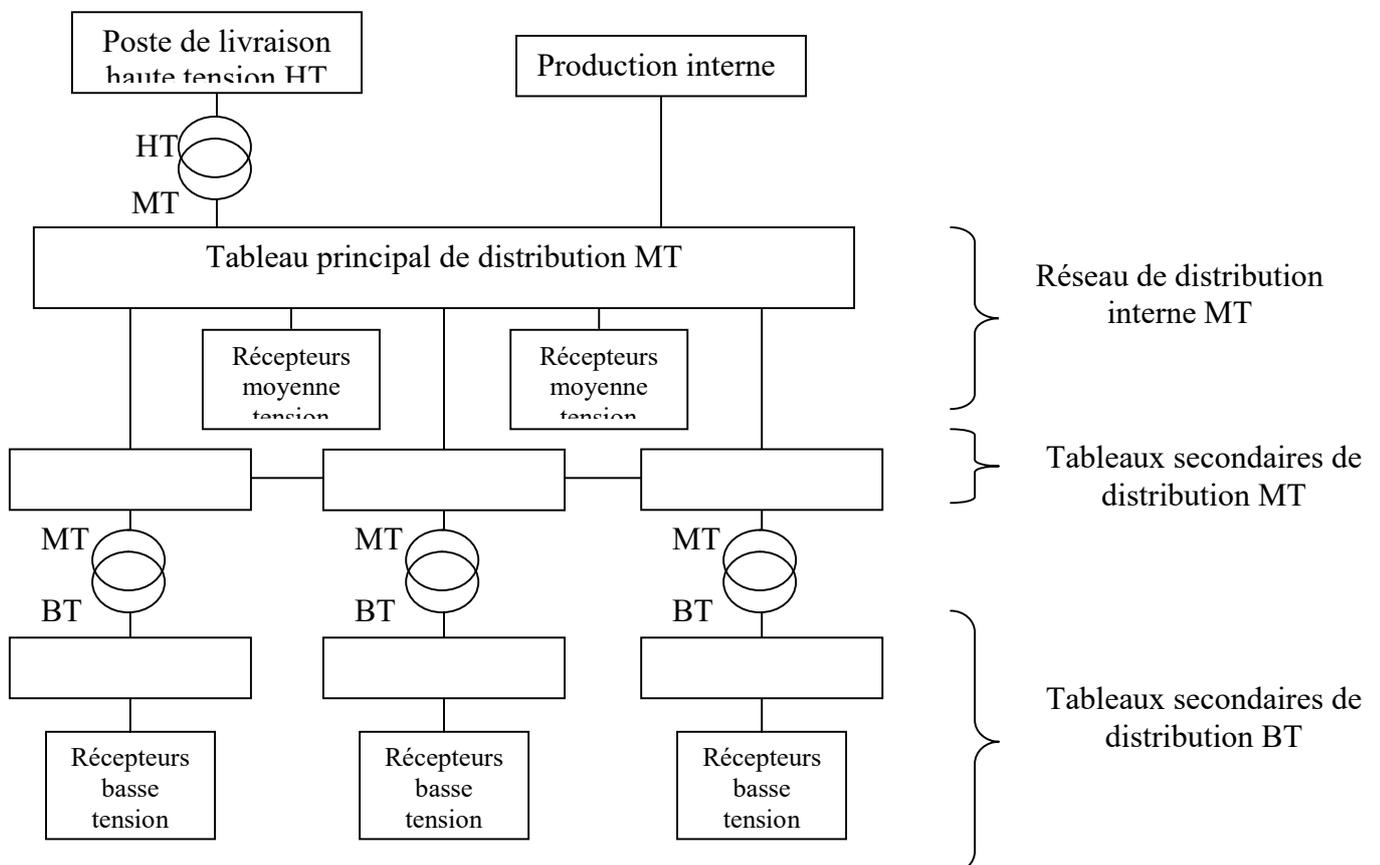
De nouveaux domaines de tension sont définis actuellement, et selon **UTE C 18-510**, ils sont :

Domaines de Tension		Valeur de la tension composée nominale (U_n en Volts)	
		Tension Alternatif	Tension Continu
Très Basse Tension (TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse Tension (BT)	BTA	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension (HT)	HTA ou MT	$1000 < U_n \leq 50\ 000$	$1500 < U_n \leq 75\ 000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

4. Schémas d'alimentation en énergie électrique des installations industrielles :

L'architecture d'un réseau de distribution électrique industriel est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise. Dans le cas général avec une alimentation en HT, un réseau de distribution comporte :

- Un poste de livraison HT alimenté par une ou plusieurs sources, il est composé d'un ou plusieurs jeux de barres et de disjoncteurs de protection
- Une source de production interne
- Un ou plusieurs transformateurs HT / MT
- Un réseau de distribution interne en MT alimentant des tableaux secondaires ou des postes MT / BT
- Des récepteurs MT
- Des tableaux et des réseaux basse tension
- Des récepteurs basses tensions



Structure générale d'un réseau de distribution dans une installation industrielle

1.5 Classement et alimentation des récepteurs :

5. Classement et alimentation des récepteurs :

5.1 Classement des récepteurs :

On peut classer les récepteurs selon la sûreté de fonctionnement en 3 catégories :

- les récepteurs admettant des arrêts prolongés : 1 heure ou plus
- les récepteurs devant être réalimentés après quelques secondes
- les récepteurs n'acceptant aucune coupure

5.2 Les postes de livraison:

Ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA. L'installation du poste de livraison est comprise entre :

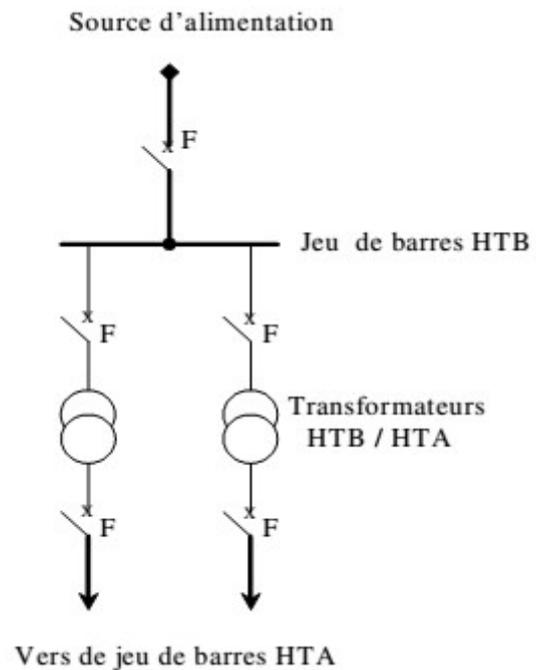
- D'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB.
- D'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB / HT.
- Indice **O** pour « position ouvert » et **F** pour « position fermé ».

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants :

a. Le poste de livraison simple antenne :

- Les transformateurs HTB/HTA sont alimentés par un seul jeu de barre HTB.
- En cas de perte d'une source d'alimentation, les transformateurs HTB/HTA sont mis hors service.

L'avantage de ce schéma c'est qu'il présente un coût minimal, mais avec un inconvénient majeur, sa disponibilité est faible.



b. Le poste de livraison double antenne :

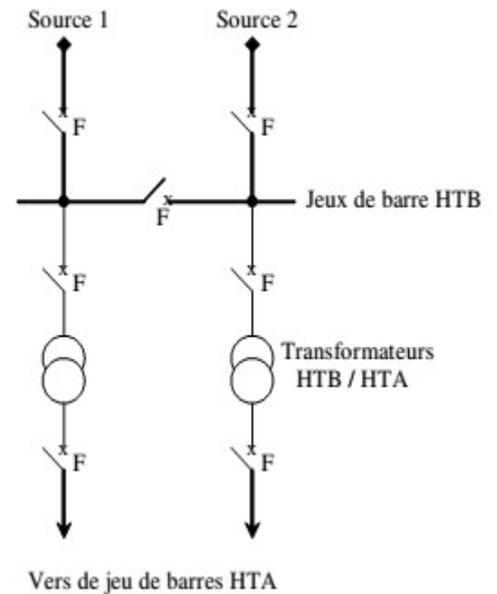
En fonctionnement normal, les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage. Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément. Alors que lors d'une éventuelle perturbation, en cas de perte d'une source par exemple, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

Ce schéma présente d'abord deux avantages :

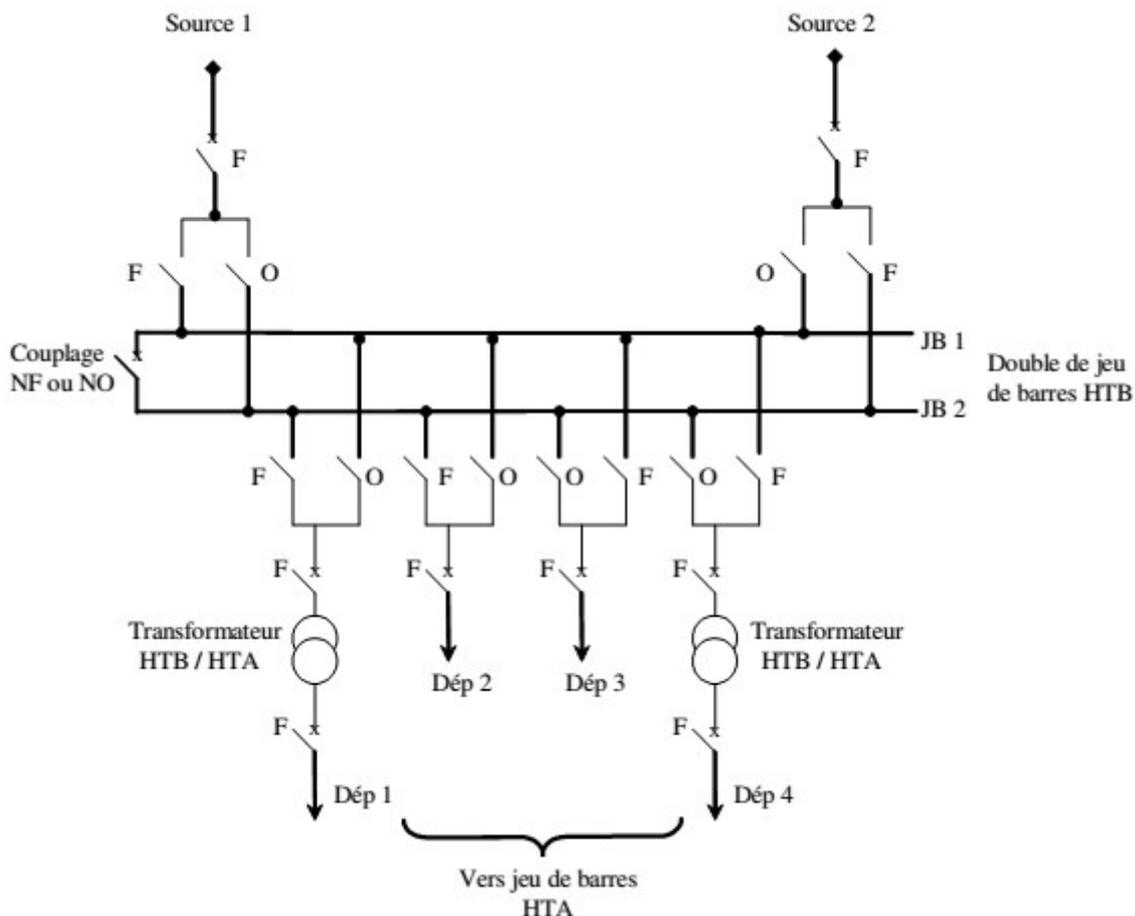
- Bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau.
- Maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci.

Comme il présente aussi deux inconvénients :

- Solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne.
- Ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance de celui-ci.



c. Double antenne avec double jeu de barres :



En fonctionnement normal, la source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB1 et les départs Dép 3 et Dép 4. Alors que la source 2 alimente le jeu de barres JDB2 et les départs

Dép 1 et Dép 2. Alors que le disjoncteur de couplage peut être en position de fermeture ou ouverture. En fonctionnement perturbé, en cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation. En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs.

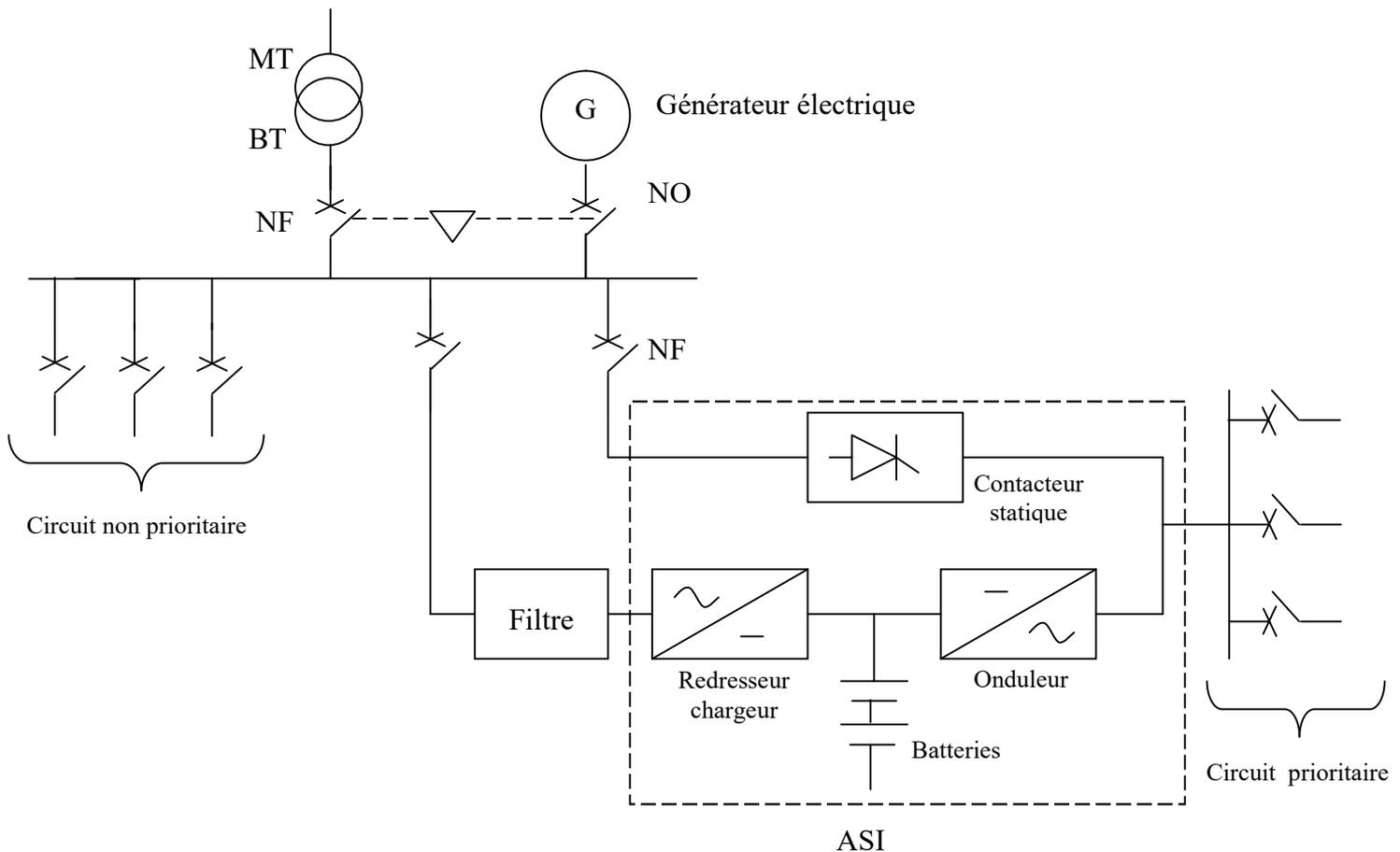
Les avantages de ce schéma sont :

- Bonne disponibilité d'alimentation.
- Très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des sources et des charges, et pour la maintenance des jeux de barres.
- Possibilité de transfert de jeu de barres sans coupure (lorsque les jeux de barres sont couplés, il est possible de manoeuvrer un sectionneur si son sectionneur adjacent est fermé).

Alors que sont seul inconvénient est le surcoût important par rapport à la solution simple jeu de barres.

5.3 Les alimentations secours:

Les sources de secours qu'on retrouve très souvent dans les installations industrielles sont : Les alternateurs et les ASI ; les alimentations sans interruption.



Les alimentations secours avec ASI

Générateur électrique : elle génère une tension électrique localement.

L'ASI : est un système qui assure une alimentation continu, il est constitué de :

- Redresseur-Chargeur : Transforme la tension alternative du réseau d'alimentation en tension continue destinée à alimenter l'onduleur, assurer la charge des batteries d'accumulateurs.
- Batterie d'accumulateurs : Assure une réserve d'énergie destinée à alimenter l'onduleur en cas de l'indisponibilité de la tension du réseau.
- Onduleur : Transforme la tension continue issue du redresseur-chargeur ou de la batterie d'accumulateurs en tension alternative.
- Contacteur statique : Réalise le basculement de l'alimentation de l'utilisation, de l'onduleur vers le réseau secours et réciproquement, sans interruption (pas de coupure due à un temps de permutation d'organes mécaniques - le basculement est réalisé à partir de composants électroniques en un temps < 1 ms).

Le rôle du filtre est de réduire les courants harmoniques générés par le redresseur remontant dans le réseau d'alimentation.

1. Introduction :

Les équipements électriques sont dimensionnés et conçu pour fonctionner sous des conditions nominales de tension et de courant. Il est donc nécessaire de procéder à la protection des installations contre les surintensités, les surtensions et les manques de tension. Tout appareil de protection comporte un élément détecteur du défaut et un élément de coupure du circuit. Les appareils les plus utilisés sont les coupe-circuits et les relais de protections.

2. Différents appareils électriques :

2.1 Appareil d'isolement

On entend par appareil d'isolement, tout appareil capable de séparer l'installation concernée de toute source de tension.

2.1.1 Sectionneur

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon visible, un circuit électrique en aval de son alimentation et qui assure en position ouverte une distance de sectionnement satisfaisante électriquement.

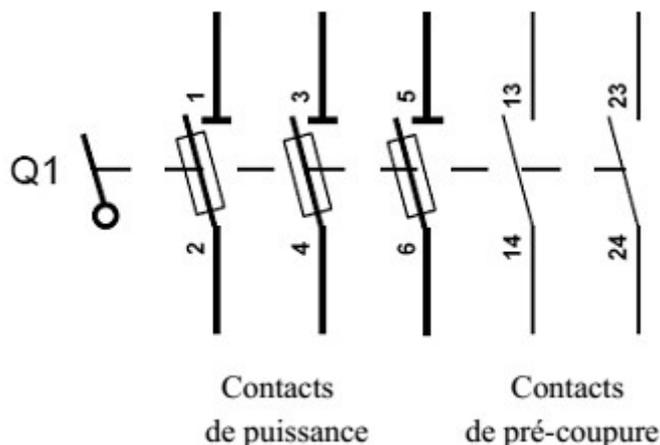
➤ Rôle

- Permet d'ouvrir un circuit pour la mise hors tension d'un appareil ou groupe d'appareils de façon sûre.
- Permet de visualiser les parties mobiles d'un sectionneur pour s'assurer de sa position ouverte ou fermée.

NB : - Le sectionneur n'a aucun pouvoir de coupure ou de fermeture.

- Le sectionneur ne jamais ouvrir en charge.

➤ Symbole



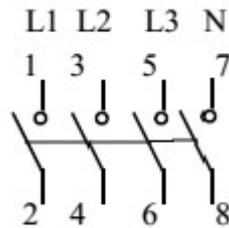
Sectionneur porte-fusibles tripolaire avec contacts de pré-coupure

2.1.2 Interrupteur

C'est un appareil qui possède un pouvoir de coupure et de fermeture, il permet :

- De mettre en service l'installation considérée.
- De mettre à l'arrêt l'installation considérée.
- De séparer l'installation considérée de toute source de tension.

➤ **Symbole**



Interrupteur tétra-polaire

2.2 Eléments de protection des circuits

Chaque réseau électrique doit être protégé contre les courts-circuits et les surcharges.

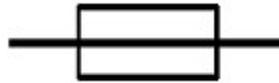
2.2.1 Fusible

C'est un appareil composé d'un fil conducteur qui grâce à sa fusion ouvre le circuit lorsque l'intensité du courant dépasse la valeur maximale supportée par ce fil.

➤ **Rôle**

Assurer la protection des circuits électriques contre les courts-circuits et les surcharges.

➤ **Symbole**



2.2.2 Disjoncteur

Le disjoncteur est un appareil électromagnétique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales, mais surtout dans celles dites « anormales », c'est-à-dire : surcharge et court-circuit. Il s'ouvre alors automatiquement. Après élimination du défaut, il suffit de le réarmer par une action manuelle sur la manette.

➤ **Symbole**

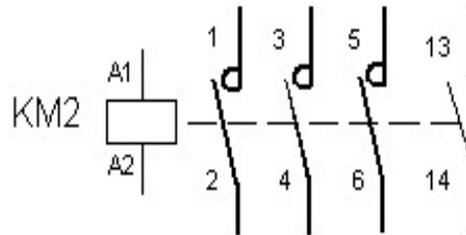


2.2.3 Discontacteur

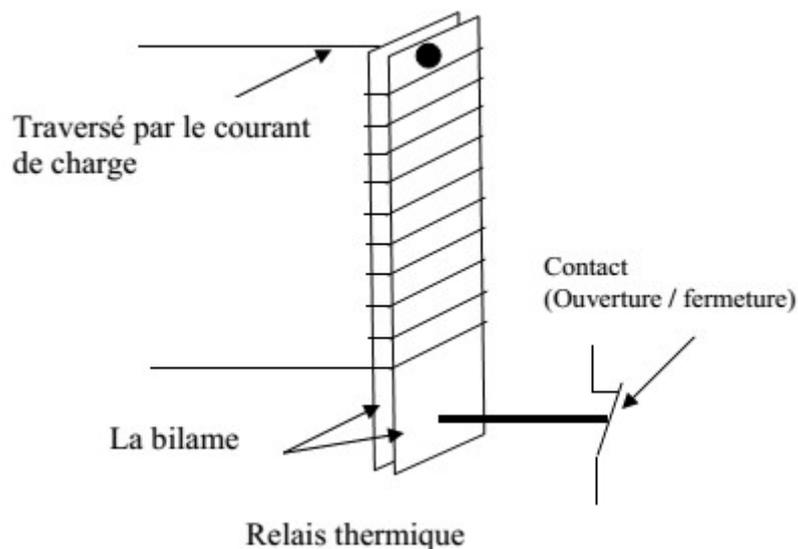
Discontacteur : C'est un ensemble d'appareil regroupant : Un contacteur et Un relais de protection.

- **Un contacteur** : est un appareil de commande capable d'établir ou d'interrompre le passage de courant plus ou moins important dans un circuit de puissance. Il composé d'une bobine dont le rôle est de commander l'ouverture ou la fermeture de plusieurs contacts de commande et de plusieurs contacts de puissance.

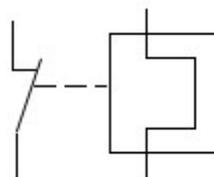
➤ **Symbole**



- **Un relais de protection** : leur rôle est de détecter le défaut et de commander l'interrupteur à pouvoir de coupure à l'ouverture. C'est l'action de l'ouverture qui protège le circuit. On distingue trois types : Relais thermique, Relais électromagnétique (magnétique) et Relais magnétothermique.
- **Un relais thermique** : est destiné à assurer une protection contre les surcharges prolongées et dangereuses. Il est composé par un déclencheur comprenant un bilame par potentiel protégé et un contact auxiliaire à ouverture. Quand l'intensité du courant dépasse la valeur de réglage, le bilame s'incurve sous l'effet de la température dégagée par le courant. Lorsque la déformation est suffisante, elle provoque l'ouverture de l'interrupteur électrique.



➤ **Symbole**

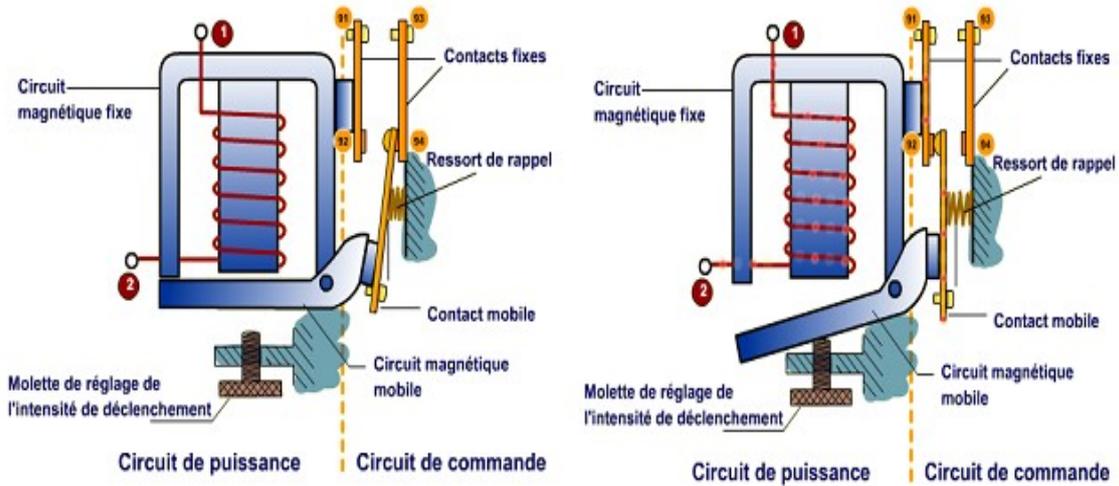


- **Un relais magnétique** : est destiné à assurer une protection contre les variations brusques et importantes du courant de charge. Son action est instantanée. Il est composé par un circuit magnétique qui lui-même, se compose de deux parties, une

fixe et une autre mobile, d'un bobinage parcouru par le courant à contrôler et d'un contact fermé au repos.

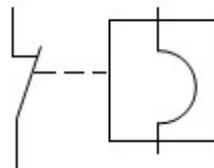
En fonctionnement normal, le champ magnétique produit par la bobine parcouru par le courant de charge est insuffisant pour attirer l'armature mobile. Lors d'une surintensité importante, l'armature est attirée par le champ magnétique et cette dernière ouvre instantanément le contact dans le circuit de commande du contacteur, qui déverrouille le disjoncteur.

Le réglage de l'intensité de déclenchement s'effectue en agissant sur la molette de réglage, qui est la distance qui sépare les deux parties, fixe et mobile, du circuit magnétique.



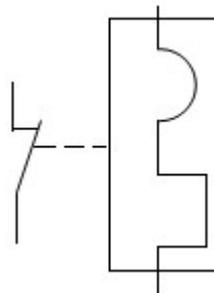
Relais magnétique

➤ **Symbole**



- **Un relais magnétothermique** : regroupe un déclencheur thermique, un déclencheur magnétique et un contact auxiliaire à ouverture. Il est donc destiné à assurer une protection contre les surcharges prolongées et dangereuses ainsi que les variations brusques et importantes du courant de charge.

➤ **Symbole**



3. La commande des machines électriques :

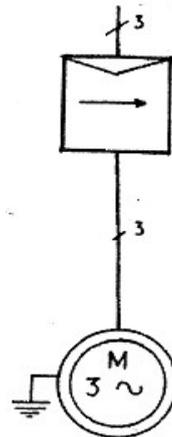
Les contacteurs sont très utilisés dans l'alimentation des machines électriques. On les utilise dans les alimentations à démarrage direct, démarrage étoile-triangle et pour un double sens de rotation, comme on les retrouve aussi dans différents systèmes de commande de différentes machines faisant appel au verrouillage électrique.

3.1 Démarrage direct

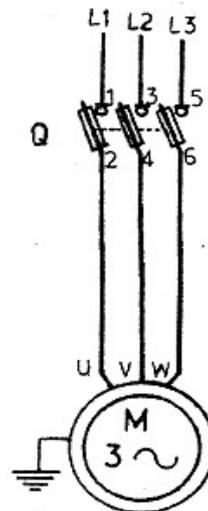
C'est le mode de démarrage le plus simple qui ne peut être exécuté qu'avec le moteur asynchrone à rotor à cage. Les enroulements du stator sont couplés directement avec le réseau.

a- un sens de marche

➤ Schéma fonctionnel



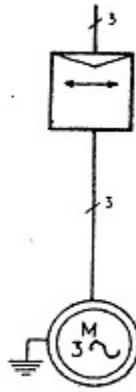
➤ Circuit de puissance



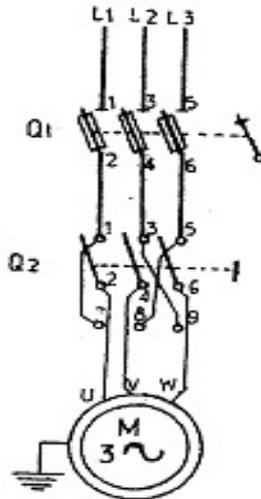
- Fermeture de sectionneur Q.
- Protection : par fusibles type aM incorporés au sectionneur.

b- avec inversion du sens de marche

➤ Schéma fonctionnel



➤ **Circuit de puissance**



Marche avant

Fermeture de Q1 et Q2

Liaisons : L1→U

L2→V

L3→W

Marche arrière

Fermeture de Q1 et Q2

Liaisons : L1→U

L2→W

L3→V

➤ **Avantages et inconvénients :**

a) Avantages

- Simplicité de l'appareillage.
- Couple important.
- Temps de démarrage court.

b) Inconvénients

- Forte pointe d'intensité : Courant de démarrage $I_d = 4 \text{ à } 8 I_n$
- Démarrage brutal : couple de démarrage important $C_d = 0.6 \text{ à } 1.5 C_n$

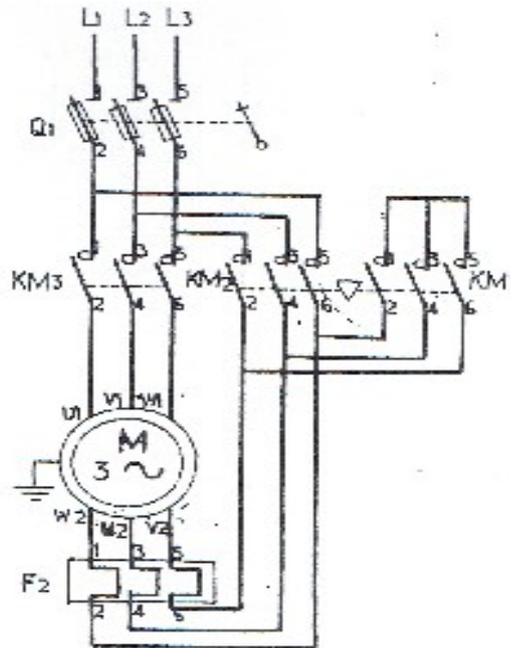
3.2 Démarrage étoile-triangle, Semi-automatique, un sens de marche

➤ **Schéma fonctionnel**



➤ **Fonctionnement**

• **Circuit de puissance**



- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 (couplage Y).
- Fermeture de KM3 (contacteur de ligne).
- Ouverture de KM1.
- Fermeture de KM2 (couplage Δ).

• **Protection**

- Par fusible type aM contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.
- Un verrouillage mécanique (▼) entre KM1 et KM2 complété par un verrouillage électrique en cas de défaillance l'un ou les deux pour éviter le court-circuit.

➤ **Avantages et inconvénients :**

a) Avantages

- Appel de courant en étoile réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Faible complication d'appareillage.

b) Inconvénients

- Couple réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Coupure entre les positions étoile et triangle d'où apparition de phénomènes transitoires.

4. Le choix de l'appareillage électrique :

4.1 **Choix d'un sectionneur** : Le choix du sectionneur est effectué selon :

- Nombre de pôles.
- Valeur de la tension.
- Courant nominal.
- Contacts auxiliaires.
- Porteur de fusible ou pas.
- Système de fixation.

4.2 **Choix d'un fusible** : Le choix du fusible s'effectue sur les points suivants :

- La classe : gG « protection générale » ou aM « accompagnement moteur ».
- Le calibre I_n .
- La tension d'emploi U (inférieure ou égale à la tension nominale U_n).
- Le pouvoir de coupure P_{dc} .
- La forme du fusible (cylindrique ou à couteaux).
- La taille du fusible.

4.3 **Choix d'un disjoncteur** : Le choix du disjoncteur s'effectue sur les points suivants :

- Courant d'emploi I_e .
- Tension d'emploi U_e .
- Pouvoir de coupure.
- Nombre de pôles.

4.4 **Choix d'un contacteur** :

Le choix d'un contacteur dépend de la nature et de la valeur de la tension du réseau, de la puissance installée, des caractéristiques de la charge, des exigences du service désiré, en tenant compte les catégories d'emploi suivantes:

- Courant d'emploi I_e .
- Tension d'emploi U_e .
- Pouvoir de coupure.
- Pouvoir de fermeture.
- Durée de vie.
- Facteur de marche.
- Puissance.
- Tension de commande U_c .

4.5 **Choix d'un relais thermique** :

Le relais thermique se choisit en fonction de la classe désirée et/ou du courant nominal du récepteur à protéger.

La classe est définie en fonction de la durée de déclenchement pour un courant de 7,2 fois le courant de réglage.

• **Classe 10A** :

Temps de déclenchement compris entre 2 et 10 s.

• **Classe 20 A** :

Temps de déclenchement compris entre 6 et 10 s.