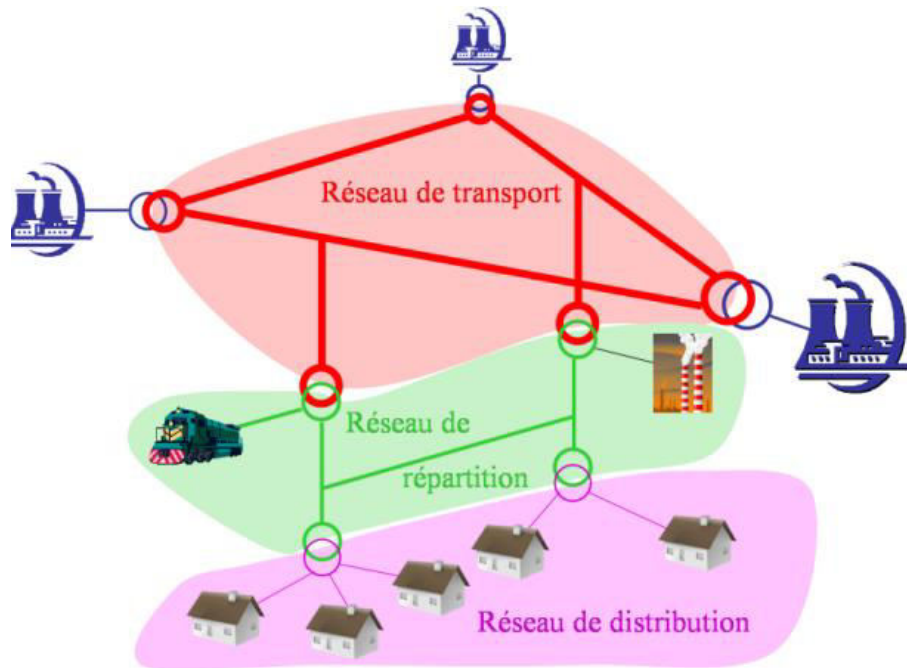


CHAPITRE I - Architecture des postes électriques

I. Architecture générale des réseaux électriques

I.1. Introduction

Le réseau électrique français est hiérarchisé en trois parties dont les fonctions actuelles sont très différentes. Tout d'abord, le réseau de transport a pour rôle de transporter l'énergie en très haute tension depuis les centres de productions jusqu'aux premières zones de consommation. Le réseau de répartition alimente directement les gros consommateurs industriels puis achemine l'énergie jusqu'aux réseaux de distribution chargés d'approvisionner les consommateurs moyenne et basse tension.



La Figure ci-dessus illustre le découpage des différentes parties du réseau électrique français. Ces trois niveaux de réseau sont délimités grâce à des transformateurs. Ces transformateurs permettent d'acheminer l'énergie à différents niveaux de tension.

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis les centrales de génération jusqu'aux maisons de campagne les plus éloignées (fig. I.1). Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines...).

L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité) puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final.

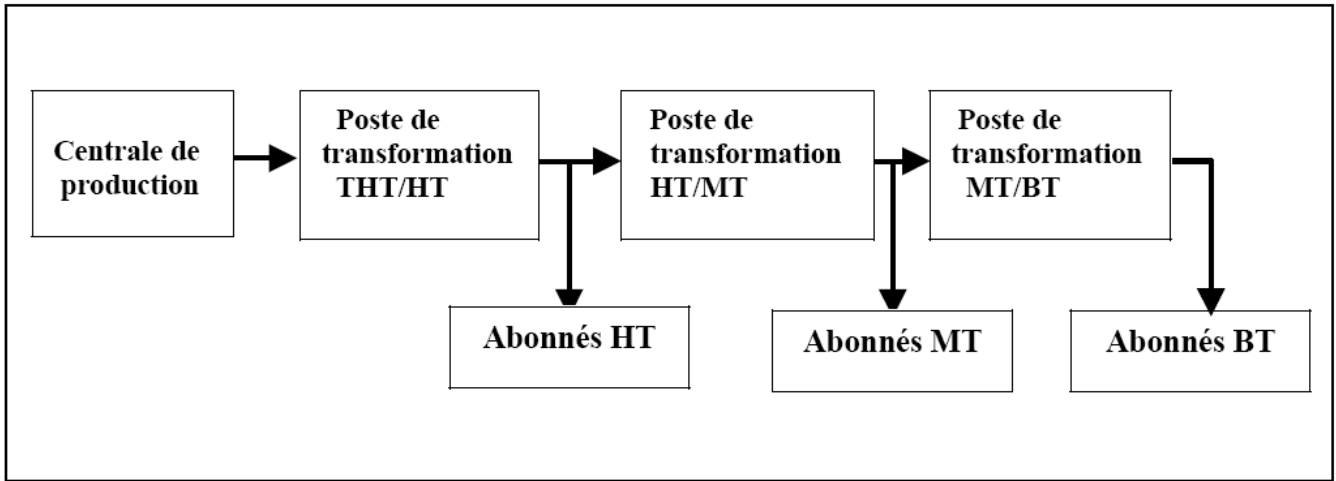


Fig. I.1: Schéma d'un réseau électrique

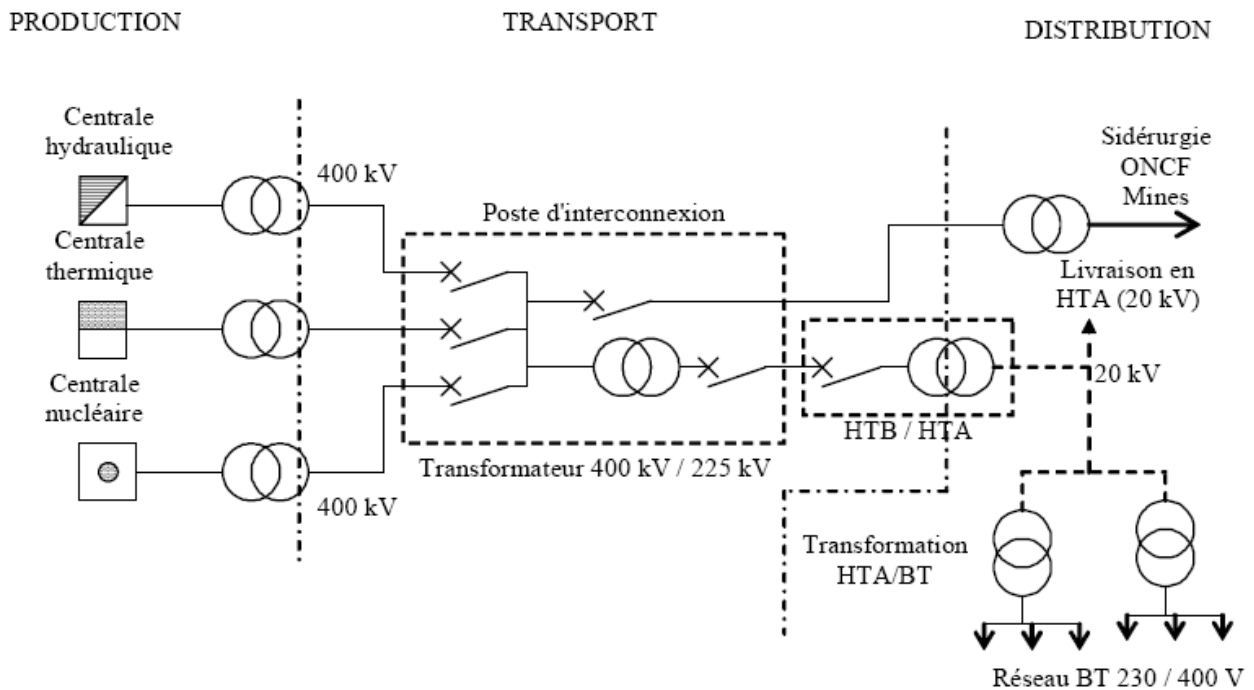


Fig I.2 : Schéma général de la production, du transport et de la distribution

I.2. Généralités

Pour être acheminée depuis les centres de production vers les consommateurs, l'électricité emprunte des chemins successifs qui sont « comparables au réseau routier. »

Les différentes étapes de l'alimentation électrique sont (Fig I.2) :

- La production.
- Le réseau de grand transport.
- Le réseau de répartition.
- Les réseaux de distribution.

Un réseau électrique est un système maillé mettant en œuvre :

- des nœuds (ou postes) où sont raccordés :
 - les centrales (centre de production)

- ✚ les charges (consommation)
- ✚ les lignes électriques (élément du réseau)

- des branches ou lignes électriques qui interconnectent les nœuds

Le maillage du réseau améliore :

- la disponibilité de l'alimentation en énergie aux usagers
- la stabilité et la qualité du produit électrique car toutes deux dépendent de la puissance de court circuit, laquelle augmente avec le maillage ou plus exactement avec le nombre et la puissance des centres de production installés et raccordés ;

Dans les réseaux, les postes ont pour fonction en particulier :

- d'organiser (configurer) : la topologie du réseau c'est à dire l'affectation des lignes à telles ou telles barres (Bus) et donc ouvrir, fermer les disjoncteurs/sectionneurs.
- de surveiller : c'est la fonction qui consiste à mesurer le courant, la tension, les puissances, enregistrer et traiter les alarmes etc...
- de protéger : c'est la fonction de protection des ouvrages (lignes, postes ...)

Dans les réseaux, les centrales :

- produisent l'énergie active et pour une part de l'énergie réactive
- contrôlent la tension et la fréquence.

I.3 Les différents niveaux de tension des réseaux

Les générateurs des centrales électriques fournissent généralement une tension comprise entre 5 et 20 kV. Cette tension est élevée à une valeur de 400 kV afin d'être transportée vers les centrales de répartition (dispatching) puis vers les lieux d'utilisation par les réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique. La norme française des réseaux électriques, UTE C 18-510, définit, depuis 1989, les différents niveaux de tensions. Ils sont indiqués dans la Figure I-3. Nous utiliserons par la suite ces abréviations. Ainsi le réseau de transport et de répartition se situe au niveau de la HTB. Le gestionnaire du réseau de transport est responsable, à l'échelle nationale, de l'équilibre production/consommation et du respect des échanges transfrontaliers. Le réseau de distribution est au niveau de la HTA et de la BTA. Le rôle du gestionnaire du réseau de distribution est l'entretien et la gestion de ce dernier et aussi l'alimentation des clients de type petites et moyennes entreprises et résidentiels au travers du réseau moyenne tension (HTA) et du réseau basse tension (BTA).

$U < 50 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U < 500 \text{ V}$	$500 \text{ V} < U < 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < U < 50 \text{ kV}$	$50 \text{ kV} < U < 100 \text{ kV}$	$U > 100 \text{ kV}$
TBT	BT		MT	HT	THT
TBT	BTA	BTB	HTA	HTB	

- Normes avant 1989
- Normes après 1989

Figure I-3 Les différents niveaux de tension des réseaux norme UTE C 18510

Cette hiérarchie c'est-à-dire, les niveaux de tensions utilisés varient considérablement d'un pays à l'autre en fonction des paramètres liés à l'histoire électrotechnique du pays, ses ressources énergétiques, sa surface et finalement des critères technico économiques.

Caractéristiques des grandeurs dimensionnantes

Les conducteurs aériens et souterrains permettent de transporter l'énergie électrique. Cependant, le coût de la matière première et l'encombrement du territoire font qu'il n'est pas possible d'investir dans d'immenses plaques de conducteurs métalliques. Ainsi, les tailles de conducteurs limitées créent des imperfections sur le réseau comme la chute de tension, les puissances limitées dans le réseau et enfin les pertes. Nous allons rappeler la définition de ces imperfections dans les paragraphes qui suivent.

Chute de tension

Exercice

Soit un conducteur électrique triphasé de longueur L alimentant une charge électrique. Le conducteur est caractérisé par sa résistance kilométrique r et sa réactance kilométrique x . La Figure I-4 représente le système triphasé considéré ainsi que son schéma équivalent monophasé. En effet, un système triphasé équilibré de tension composée U (entre phases) est équivalent à trois systèmes indépendants triphasés de tension V (phase - neutre).

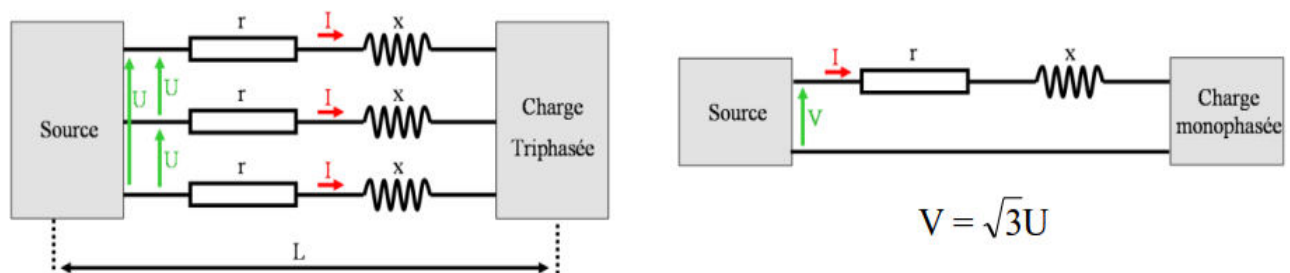


Figure I-4 : Système triphasé étudié

1. dessiner le triangle de Kapp pour ce schéma monophasé. On approxime généralement la chute de tension entre la source et la charge à ΔV , partie de la chute de tension réelle colinéaire à V_{charge}

Solutions

On peut alors dessiner le triangle de Kapp pour ce schéma monophasé comme présenté dans la Figure I-5. On approxime généralement la chute de tension entre la source et la charge à ΔV , partie de la chute de tension réelle colinéaire à V_{charge} . Cela se traduit donc par

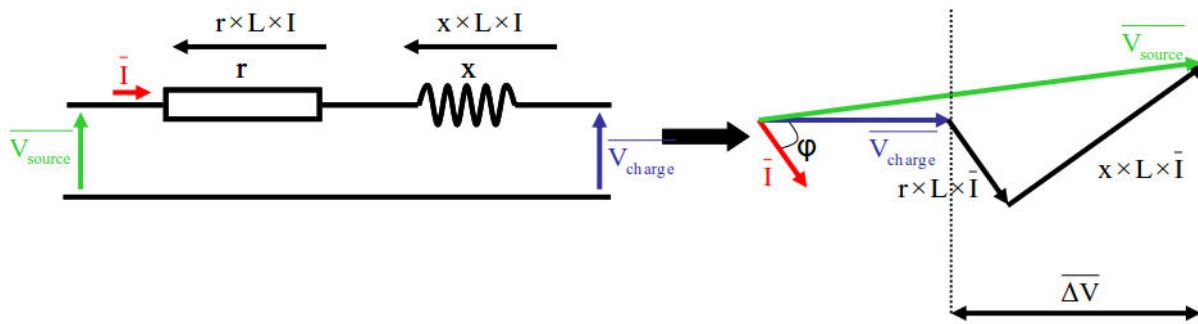


Figure I-5 : Triangle de Kapp du schéma monophasé équivalent

l'expression de la chute de tension suivante : $\Delta V = r \times L \times I \times \cos(\varphi) + x \times L \times I \times \sin(\varphi)$. Par définition, on a :

$$\begin{aligned}
 S &= VI \text{ (VA)} \\
 P &= V \times I \times \cos(\varphi) \text{ (W)} \\
 \text{d'où } I \times \cos(\varphi) &= \frac{P}{V} \\
 Q &= V \times I \times \sin(\varphi) \text{ (VAr)} \\
 \text{d'où } I \times \sin(\varphi) &= \frac{Q}{V}
 \end{aligned}
 \tag{I-1}$$

S = puissance apparente

P = puissance active de la charge monophasée équivalente

Q = puissance réactive de la charge monophasée équivalente

La chute de tension relative (en %) est donc :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{r \times L \times I \times \cos(\varphi) + x \times L \times I \times \sin(\varphi)}{V}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{r \times L \times P + x \times L \times Q}{V^2}$$

En triphasé, nous définissons :

$$U^2 = 3V^2$$

$$P_{\text{tri}} = 3 \times V \times I \times \cos(\varphi) = 3P$$

$$Q_{\text{tri}} = 3 \times V \times I \times \sin(\varphi) = 3Q$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3 \times r \times L \times P + 3 \times x \times L \times Q}{3V^2}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{r \times L \times P_{\text{tri}} + x \times L \times Q_{\text{tri}}}{U^2}$$

Ainsi on peut voir que plus les conducteurs utilisés sont longs ou impédants, plus il y aura de chute de tension.

Le Courant admissible dans un conducteur

Le courant admissible d'un conducteur est le courant maximal en régime permanent qui peut circuler dans ce dernier sans dépasser ses contraintes thermiques. Au-delà de ces températures, l'isolant et/ou le conducteur se détériorent et cela peut causer des incendies. Ainsi, il est nécessaire de dimensionner correctement les conducteurs utilisés pour alimenter les charges afin que les courants qui circulent respectent l'intensité admissible.

Les Pertes

Les pertes électriques sont liées au caractère résistif des conducteurs. Soit un conducteur triphasé de résistance linéique r (Ω/km) et de longueur L (km) permettant d'alimenter une charge. Les pertes s'expriment par la formule suivante : $\text{Pertes} = 3 \times r \times L \times I^2$. Or on sait que

$$S_{\text{charge}} = \sqrt{3} \times U \times I \text{ d'où } \text{Pertes} = \frac{3 \times R \times S_{\text{charges}}^2}{(\sqrt{3} \times U)^2}. \text{ L'expression des pertes est donc :}$$
$$\text{Pertes} = \frac{R \times S_{\text{charges}}^2}{U^2} \quad (\text{I-3})$$

Ainsi, l'utilisation d'une tension élevée permet de diminuer les pertes. Par ailleurs, $S^2 = P^2 + Q^2$ d'où

$$\text{Pertes} = \frac{R}{U^2} \times (P^2 + Q^2) \quad (\text{I-4})$$

Ainsi, on peut également constater que le transport de la puissance active et réactive augmente les pertes.

I.4. DESCRIPTION DES RÉSEAUX

I.4.1. Le réseau de transport THT (HTB)

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances (> 300 MW).

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque noeud A, B et C (Fig. I.4) constitue un « poste d'interconnexion ». Ce poste est en général constitué par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel se raccordent les lignes, au moyen d'appareils.

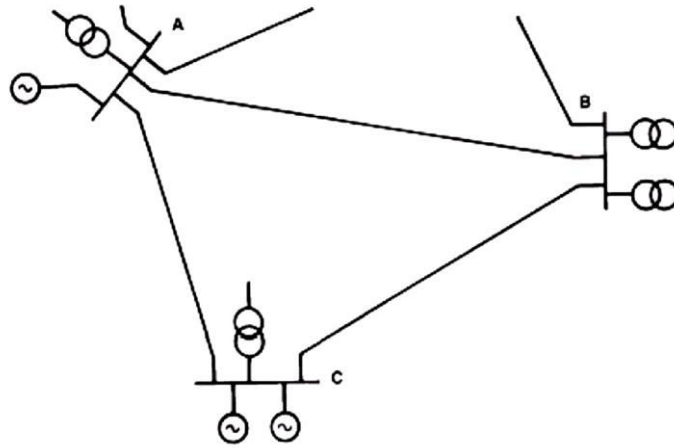


Fig. I.4 : Exemple d'une partie d'un réseau de transport

Ces réseaux sont pour la plupart aériens et souterrains dans les villes ou à leur approches. Ils sont étudiés pour un transit donné correspondant en général à la limite thermique de la ligne. Une attention particulière doit être portée à l'effet couronne qui peut donner lieu en THT, à des pertes très significatives suivant le climat et l'altitude.

Les pylônes de lignes sont équipés en général de deux ternes [Pylone à 2 ternes.pptx](#) (2 fois 3 phases) voir quatre et même six ternes.

Les lignes sont protégées par un ou des câbles de garde munis quasi systématiquement aujourd'hui de fibres optiques pour des besoins de télétransmission propres à l'exploitant ou loués à des opérateurs télécom.

Les phases sont transposées dans certains pays pour éviter les déséquilibres de charges d'une phase par rapport à l'autre (influence mutuelle d'une terna sur l'autre).

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence.

I.4.2. Le réseau de répartition HT (HTB)

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT,
- Soit du domaine privé avec l'accès aux clients à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT. Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie, la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire,...

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux.

I.4.3. Le réseau de distribution MT (HTA)

Les utilisateurs peuvent être groupés d'une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les campagnes. Ils sont desservis par un réseau de

distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l'énergie, provenant de centrales éloignées, par l'intermédiaire du réseau de transport.

Des lignes de distribution à moyenne tension (MT) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir; ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les clients sont raccordés par des branchements.

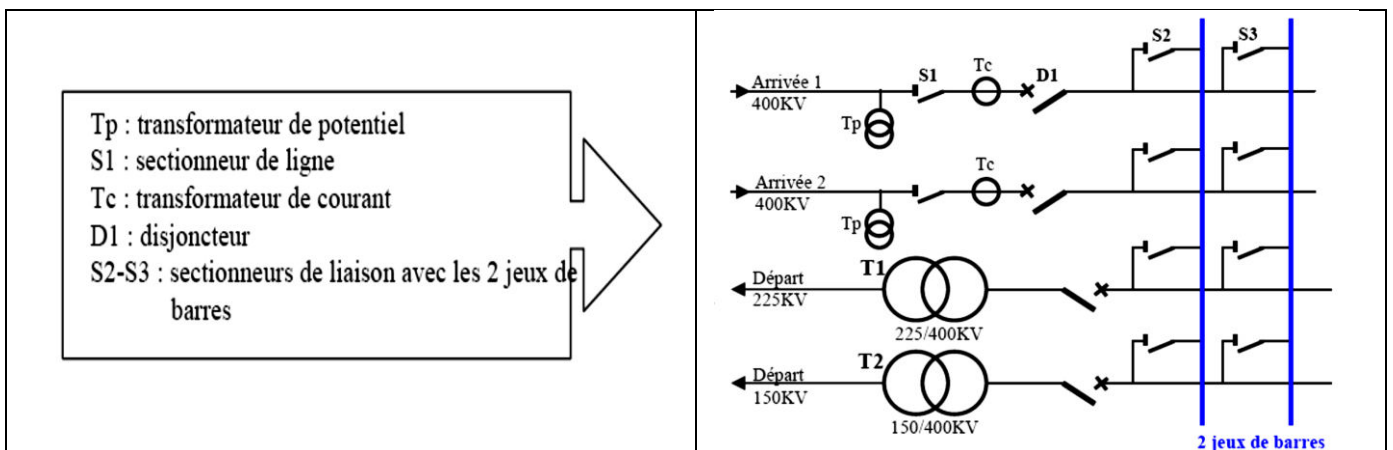
Le système français (fig. I.5d), entièrement triphasé en ossatures et dérivations, à neutre non distribué.

On distingue généralement 2 types de réseaux :

- Les réseaux ruraux généralement de types aériens, arborescents et bouclables,
- Les réseaux urbains essentiellement enterrés et bouclables.

I.4.4. Postes d'interconnexion

Ils assurent la liaison entre les centrales de production d'énergie électrique et le réseau de transport et d'interconnexion (Fig ci-dessous). Des transformateurs de puissance permettent des échanges d'énergie entre réseaux et différentes tensions.



I.4.5. Centres de répartition (Dispatching national)

C'est là que des opérateurs spécialisés surveillent et pilotent le réseau électrique, 24 heures sur 24. Pour cela, ils sont à l'écoute du réseau afin d'ajuster les offres de production aux demandes de consommation.



I.5. Topologie des réseaux

Les réseaux de transport d'énergie et d'interconnexion sont, par nature, constitués d'ouvrages capables de forts transits et maillés. Les liaisons forment des boucles, réalisant ainsi une structure semblable aux mailles d'un filet (fig. I.3a). Les réseaux de répartition qu'ils alimentent ont fréquemment une structure bouclée (fig. I.3b) et peuvent alors être exploités soit en boucle fermée, le réseau est dit bouclé, soit en boucle ouverte, le réseau est alors dit débouclé. Certaines alimentations se font aussi en antenne (poste G, fig. I.3b) ou encore en piquage en prélevant une partie de l'énergie circulant sur une ligne reliant deux postes (poste H, fig. I.3b).

Ces réseaux de répartition à caractère régional fournissent l'énergie aux réseaux de distribution qui sont des réseaux à moyenne tension assurant l'alimentation d'un grand nombre d'utilisateurs soit directement, soit après transformation en basse tension. Leur configuration et leur mode d'exploitation sont variables. On peut trouver, selon les pays, des réseaux maillés exploités débouclés, des réseaux à structure radiale (fig. I.3d) ou des réseaux à structure arborescente (fig. I.3c).

Les réseaux MT se distinguent fortement des réseaux HT par le principe de distribution. Ces réseaux se caractérisent par une distribution triphasée, équilibrée. Le neutre MT du transformateur HT/MT est mis à la terre à travers une impédance dont les caractéristiques dépendent des performances recherchées (faibles courants de courts circuits, faibles sursensions, disponibilité).

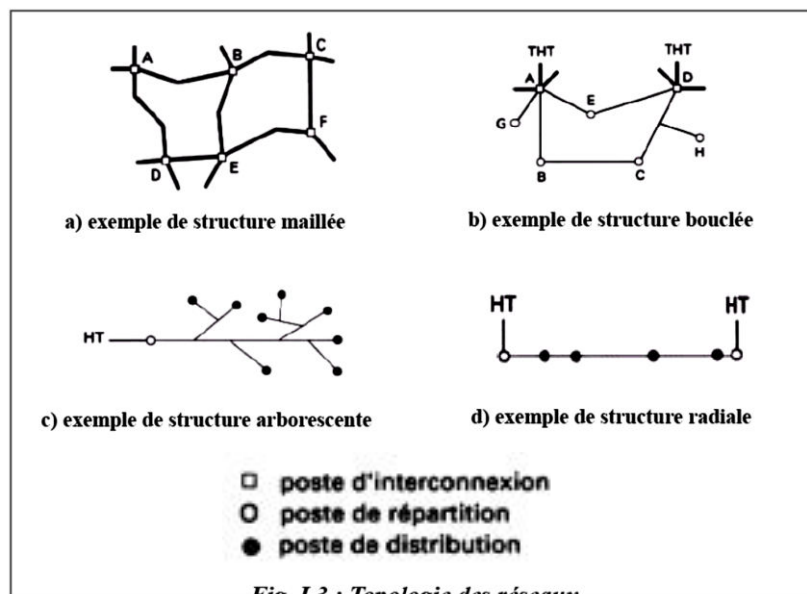


Fig. I.3 : Topologie des réseaux

On distingue par ailleurs :

- les réseaux ruraux généralement de types aériens, arborescents et bouclables,
- les réseaux urbains essentiellement enterrés et bouclables.

✚ Les réseaux ruraux

Ces réseaux sont en général réalisés en antenne (simple dérivation). Ils concernent des populations à faible densité ; Ils sont encore largement aériens et équipés de conducteur nus (parfois isolés en torsade dans les régions très boisées). L'architecture est arborescente et bouclable soit via deux feeders d'un même poste (architecture en pétale) soit à partir de deux postes (architectures en fuseau).

Les organes de bouclages sont télécommandés par radio depuis le dispatching.

Les postes MT/BT sont constitués d'un transformateur sur poteau : (63, 100 et 160 kVA) équipés de parafoudres côté MT et d'un disjoncteur côté BT (réarmable à la main via une tringlerie, cas de la France). L'interrupteur MT se trouve en général à une ou deux portées du transformateur MT/BT. Pour des puissances plus élevées (voir figure) on utilise des postes en cabine en pied de poteau.

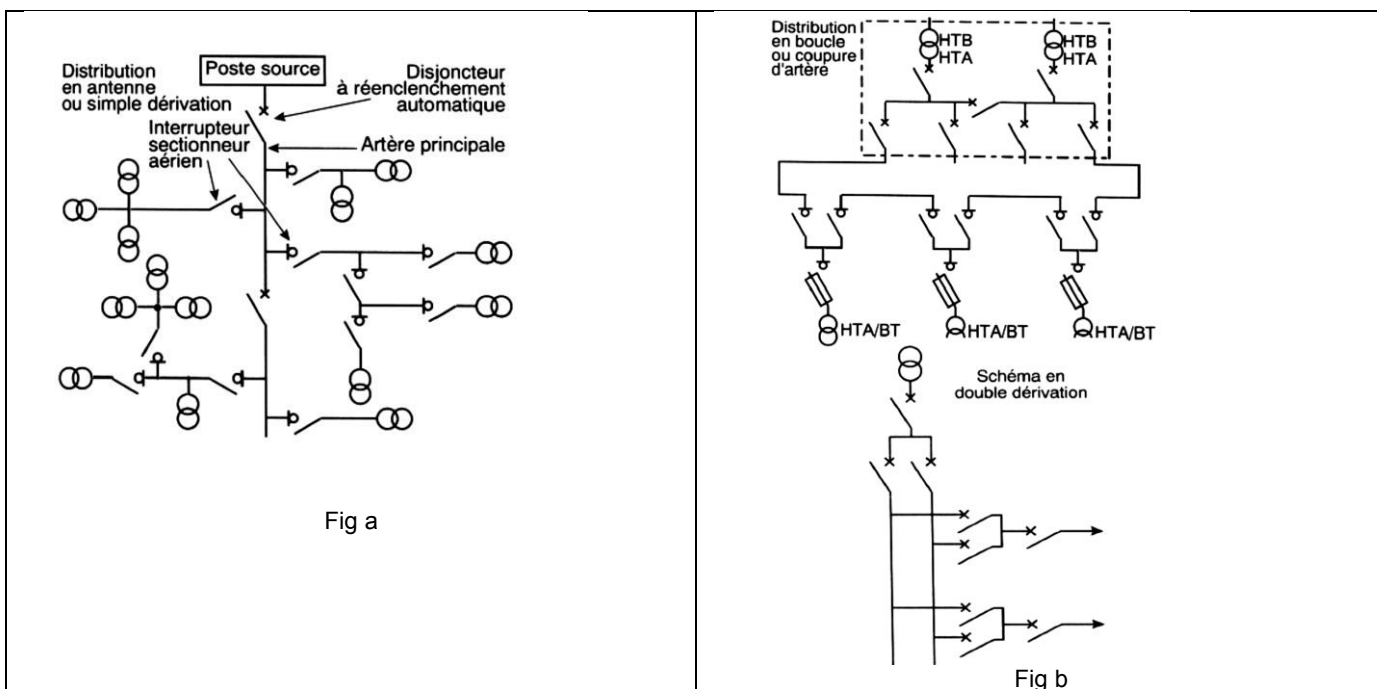
✚ Les réseaux urbains

Ces réseaux sont en général enterrés. On distingue deux grands types de réseaux (Fig b) :

- les réseaux en **double dérivation**
- les réseaux en **coupure d'artère**.

Réseaux en double dérivation (Fig b.2): Ce système est coûteux mais permet une reprise de service rapide via un système inverseur sans que le défaut soit identifié. En cas de défaut sur le câble dit de travail (1ère alimentation), on bascule sur le câble de secours (2ème alimentation). Ces deux câbles proviennent en général du même poste et sont souvent posés dans la même tranchée.

Réseaux en coupure d'artère (Fig b.1) : Un câble part d'un poste HT/MT et passe successivement dans les postes MT/BT puis rejoint une deuxième source qui peut être soit un autre départ du même poste (HT/MT) soit un autre poste.



II. Généralités sur Les postes électriques

II.1. Introduction

Afin de garantir la sécurité d'alimentation, il est utile de pouvoir faire transiter l'énergie électrique par des voies différentes, pour pallier l'avarie éventuelle de l'une d'elles. En outre, une exploitation économique veut que l'on utilise en priorité les unités de production au coût de revient le plus faible du fait de leur puissance, de leur âge ou de la nature du combustible. Ces deux considérations, technique et économique, conduisent à raccorder entre elles les liaisons électriques pour constituer des noeuds électriques qui permettent de mettre en commun toutes les sources de production et qui assurent ainsi une fonction d'interconnexion entre régions et entre pays frontaliers.

Le souci de réduire le nombre et le volume des infrastructures d'équipement à construire, la volonté de limiter les pertes d'énergie imposent sur les grandes distances de transporter l'énergie électrique à des tensions élevées dites à très haute tension (THT). Il est donc nécessaire d'élever la tension à la sortie des groupes de production puis, après son transport, de l'abaisser par plusieurs transformations successives pour alimenter les réseaux de répartition, puis les réseaux de distribution.

Les fonctions mises en évidence précédemment sont réalisées grâce à des lignes aériennes, des lignes souterraines et des transformateurs de puissance qui forment des réseaux de différentes tensions dont les noeuds et les points de transformation sont les **postes**.

Avant d'aborder l'étude séparées des 3 types de postes (THT/HT, HT/MT et MT/BT), nous traiterons les postes de façon générale. Nombre de notions en effet sont communes à tous les types de postes qu'ils soient THT/HT ou HT/MT ou MT/BT.

II.2. Définition

Selon la définition de la **C**ommission **E**lectrotechnique **I**nternationale, un poste électrique est la « partie d'un réseau électrique, située en un même lieu, comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et, éventuellement, des transformateurs » .

Un poste électrique est donc un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité. Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission, puis de la redescendre en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriels). Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution. Dans les autres langues, on parle généralement de *substation* (sous-station).

II.3 Différents types de postes

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

- ✚ **les postes d'interconnexion**, qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés;
- ✚ **les postes de transformation**, dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liés par un ou plusieurs transformateurs;

✚ **les postes mixtes**, les plus fréquents, qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation.

Les actions élémentaires inhérentes aux fonctions à remplir sont réalisées par l'appareillage à haute et très haute tension installé dans le poste et qui permet :

- d'établir ou d'interrompre le passage du courant, grâce aux **disjoncteurs** ;
- d'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit grâce aux **sectionneurs** ;
- de modifier la tension de l'énergie électrique, grâce aux **transformateurs de puissance**.

Un ensemble de protections et d'automates contrôle les grandeurs électriques réduites, élaborées par des réducteurs de mesure (tension et courant principalement) et agit sur l'appareillage à haute tension afin d'assurer les conditions d'exploitation pour lesquelles le réseau a été conçu.

Nous retiendrons donc que, par définition, les appareils de coupure, ainsi que l'appareillage de mesure et de protection propre à un départ, sont regroupés dans une cellule. Un poste comporte donc autant de cellules que de départs qui sont raccordés à ses jeux de barres.

En outre, les jeux de barres sont susceptibles de constituer plusieurs nœuds électriques par l'ouverture de disjoncteurs ; on appelle alors **sommet** le jeu de barres ou le tronçon de jeu de barres ainsi constitué. Le nombre des sommets d'un poste caractérise ainsi son aptitude à former des nœuds électriques.

II.4 Mode d'exploitation des postes

Afin de satisfaire à tout instant la demande dans les meilleures conditions de coût et de qualité de service, les réseaux modernes sont dotés d'un système de conduite constitué de liaisons de télécommunication qui relient les différents niveaux de contrôle et de commande aux postes. La transmission, en retour de données, de mesures, de signalisations de position permet la connaissance de l'état du réseau et la surveillance du bon fonctionnement des appareils.

En fonction du type d'exploitation et de la plus-value apportée par l'intervention de l'homme, on distingue :

- ✓ **les postes gardiennés**, comportant du personnel d'exploitation présent durant les heures ouvrables et logé sur place;
- ✓ **les postes télécommandés**, exploités soit à partir d'un autre poste gardienné, soit à partir d'un bureau de conduite centralisé et qui n'ont donc pas de personnel sur place, sauf pour des interventions particulières;
- ✓ **les postes téléalarmés**, qui, dans le cas où la reprise automatique de service ne s'effectue pas, font parvenir une signalisation en un lieu où séjourne du personnel d'intervention.

Ces derniers postes ne comportent généralement que des installations modestes nécessitant un nombre de manœuvres réduit, les postes importants étant, suivant les conditions locales, soit gardiennés, soit télécommandés.

II.5. Les Technologies

On distingue trois types de technologie pour les postes :

- **Poste ouvert (AIS : Air Insulated switchgear) :**

Mise en oeuvre d'équipements HT séparés ; montés à l'air libre qui joue le rôle de diélectrique. Cette technologie est principalement utilisée en extérieur.

- **Poste blindé (GIS : Gaz Insulated Switchgear) :**

Cellules blindées : les équipements HT sont installés dans des caissons étanches utilisant le gaz SF₆, comme diélectrique. L'installation peut aussi bien être réalisée en intérieur qu'en extérieur.

- **Cellule préfabriquée :**

Mise en oeuvre de matériel compact installé dans une armoire métallique (1 x 1,5 x 2,5 M environ), par travée. L'installation se fait principalement en intérieur. Les postes utilisant cette technologie sont nommés "postes préfabriqués". Ce sont majoritairement les postes MT.

II.6. Structure générale d'un poste

La **figure 2** représente un schéma typique de poste THT. Chaque raccordement sur le jeu de barres B s'appelle « travée » ou « départ » et comprend des appareils tels que :

D = disjoncteur

Appareil utilisé pour couper ou raccorder un circuit et capable de couper et d'établir tous les courants susceptibles de se développer à son emplacement, courts-circuits compris.

S = sectionneur

Appareil capable de ne couper que des courants très petits, mais dont l'isolement entre contacts ouverts est sûr et vérifiable facilement. C'est l'un des principaux organes de sécurité d'un poste.

On parle de « coupure visible ».

ST = sectionneur de mise à la terre (MALT)

Organe de sécurité qui complète le sectionneur en dérivant vers la terre de façon sûre, tout courant qui pourrait naître dans le conducteur qu'il protège.

Tc = transformateur de courant

Utilisé pour la mesure de l'énergie que véhicule le circuit ou pour sa protection. Le secondaire d'un Tc ne doit jamais rester ouvert, car une forte surtension apparaîtrait à ses bornes.

Tt = transformateur de tension

Utilisé en combinaison avec les Tc dans le même but. Permet aussi de déceler la présence de tension. Est parfois remplacé par un diviseur capacitif pour les mêmes usages.

P = organe de coordination d'isolement (parafoudre ou éclateur).

Tp = transformateur de puissance

C = tête de câble

Dans certains cas, on utilise aussi des interrupteurs : appareil de connexion capable de couper les courants normaux et de supporter les courants de court-circuit.

Cet arrangement est appelé « simple jeu de barres ». Il en existe plusieurs autres. Les postes d'interconnexion peuvent être installés à l'intérieur, mais le sont plus généralement à l'extérieur. Ils

doivent alors pouvoir supporter les contraintes atmosphériques telles que la température (de -54 à +55 °C selon les pays), la pluie, le givre et le vent.

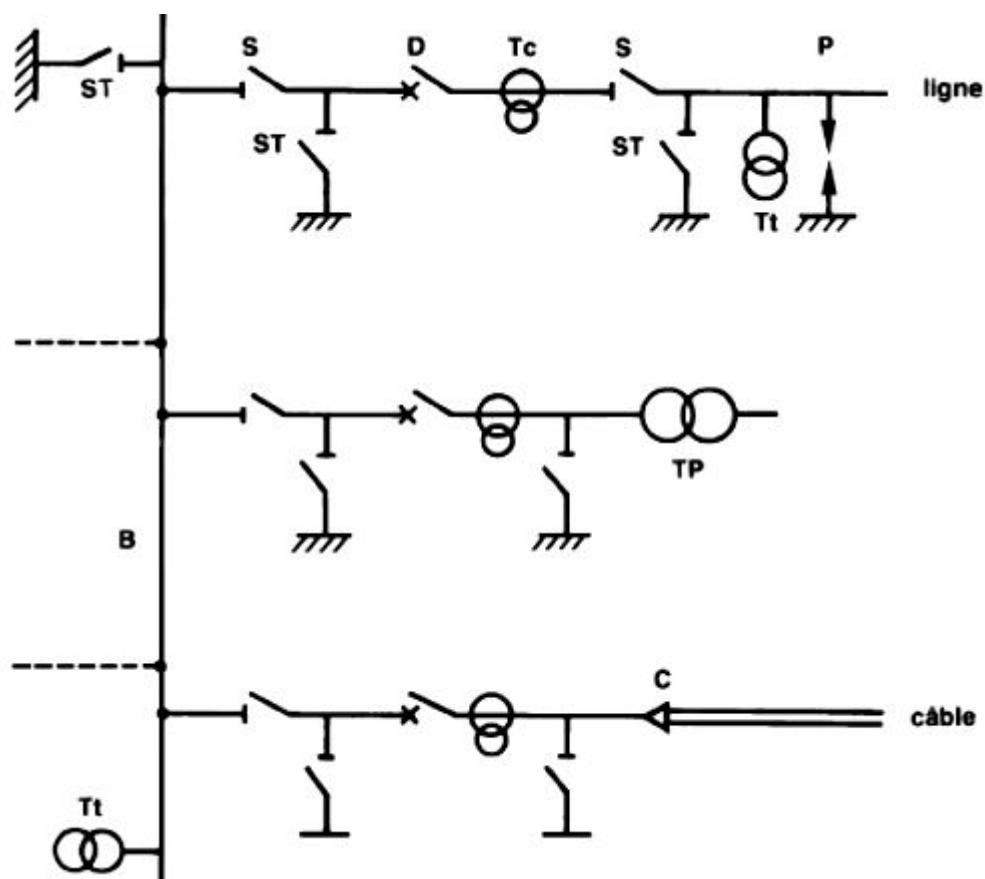


Fig 2. Schéma unifilaire d'un poste à simple jeu de barre

III. Appareillage et équipement haute tension

3.1. Introduction

L'appareillage électrique à haute tension est l'ensemble des appareils électriques qui permettent la mise sous ou hors tension de portions d'un réseau électrique à haute tension. L'appareillage électrique est un élément essentiel qui permet d'obtenir la protection et une exploitation sûre et sans interruption d'un réseau à haute tension. Ce type de matériel est très important dans la mesure où de multiples activités nécessitent de disposer d'une alimentation en électricité qui soit permanente et de qualité. L'appellation « haute tension » regroupe l'ancienne moyenne tension (HTA) et l'ancienne haute tension (HTB), elle concerne donc les appareils de tension assignée supérieure à 1 000 V.

3.2. Appareillage d'un poste de transformation

Quels que soit le type de poste, les éléments principaux qui le composent sont :

- Les disjoncteurs, qui servent à couper le courant
- Les sectionneurs, qui servent à isoler une partie du poste
- Les dispositifs intégrés de mise à la terre (assimilables à des sectionneurs), qui permettent de s'assurer qu'une section du poste est bien au potentiel de la terre.
- Les transformateurs de puissance, qui convertissent la tension.
- Les transformateurs de mesure (Transformateurs de Courant, Transformateurs de Tension, Combinés de Mesure)
- Les parafoudres qui sont conçus pour protéger les installations contre les surtensions.
- Pour commander un poste, il faut également du matériel dit de contrôle / commande et de supervision. Ces installations permettent entre autre la détection des défauts et la commande des appareillages.

Ces éléments seront discutés dans la partie qui suit :

3.1.1. Sectionneurs

Il faut faire clairement la distinction entre le disjoncteur et le sectionneur. En effet, alors que le disjoncteur est capable de couper un circuit en charge et, principalement en cas de forte surcharge accidentelle (défaut), le sectionneur, en revanche, n'a aucun pouvoir de coupure. (voir video)

C'est un simple couteau métallique qui s'insère entre deux mâchoires liées au conducteur en service. On les manoeuvre, soit à la main, à l'aide de longues perches isolantes, soit à l'aide de dispositifs mécaniques commandés électriquement.

Les sectionneurs sont utilisés pour isoler une portion de réseau. C'est ainsi que l'on associe toujours un sectionneur à un disjoncteur, le sectionneur étant ouvert automatiquement quand le disjoncteur a terminé son travail de coupure.

Quand le disjoncteur a repris sa position de service, le sectionneur, toujours en position ouvert, est prêt à la reprendre et c'est lui qu'on ferme pour rétablir la tension sur la ligne.

En fonction de leur localisation et de leur rôle dans le schéma du poste, on parle de sectionneurs d'aiguillage (permettant de sélectionner à quelle barre une travée est reliée) ou de sectionneurs de maintenance (ils encadrent en général un disjoncteur).

Les sectionneurs de mise à la terre (MALT en français ou ES pour Earthing Switches en anglais), sont des sectionneurs particuliers dont une des extrémités est reliés au circuit de terre du poste. En fonctionnement normal, les MALT sont ouvertes.

3.1.2. Disjoncteurs

Son rôle consiste à l'ouverture et fermeture du circuit en fonctionnement normal et à l'interruption du courant de court-circuit due à des défauts dans le réseau. (environ 20 ms de temps de coupure pour les disjoncteurs modernes).

Un disjoncteur est composé d'une chambre de coupure (partie supérieure) contenant les contacts principaux, d'une colonne support, d'une commande et d'un châssis (Fig 3.2)

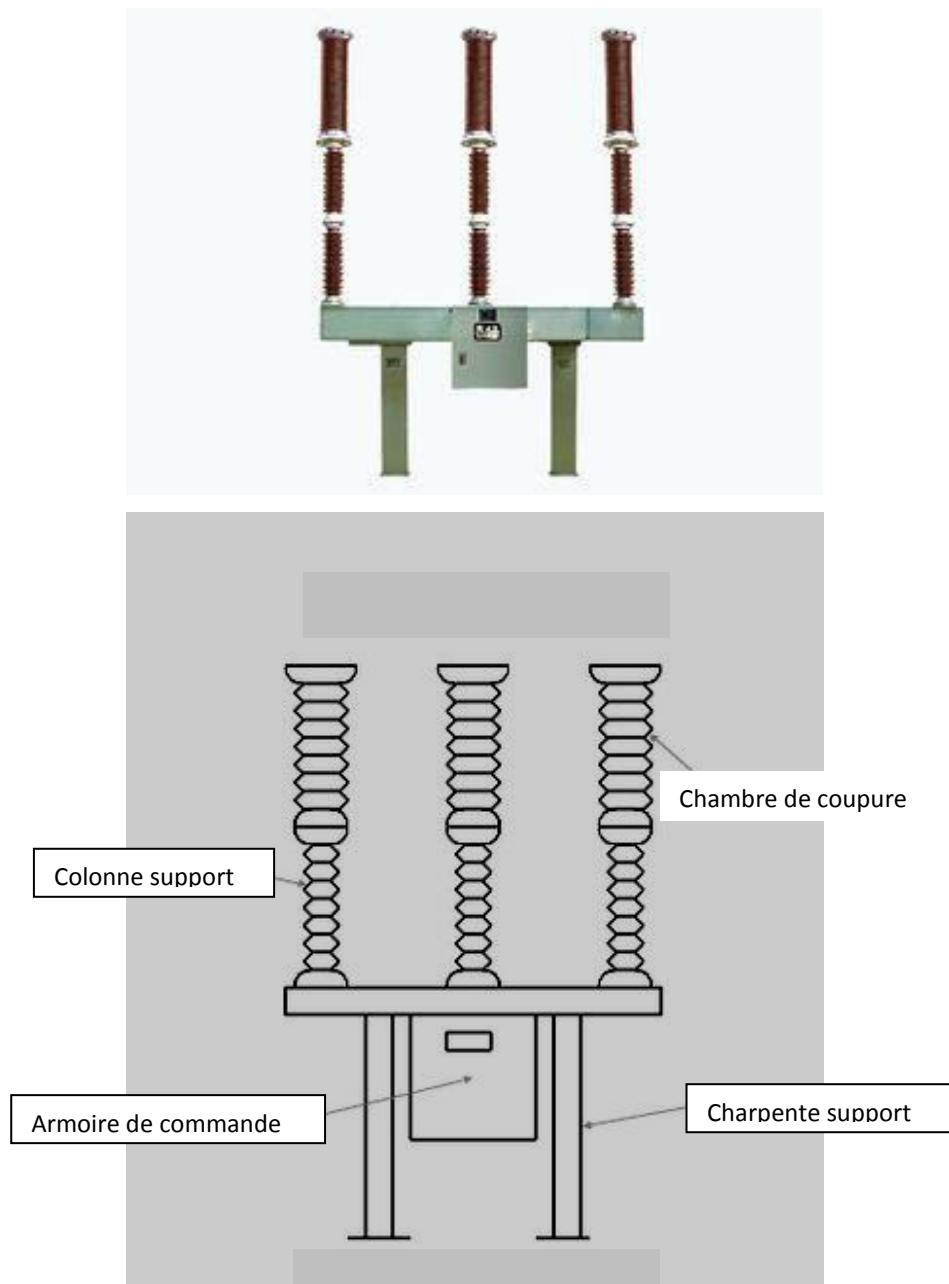


Fig 3.2. Schéma de principe d'un disjoncteur HT

Les disjoncteurs les plus répandus sont:

- 1 . les disjoncteurs à l'huile
- 2 . les disjoncteurs à air comprimé
- 3 . les disjoncteurs au SF6
4. les disjoncteurs à vide

a. Disjoncteurs à l'huile

Ils se composent essentiellement d'une cuve contenant de l'huile isolante, de bornes d'entrée en porcelaine à l'extrémité desquelles se trouvent les contacts fixes, et d'un contact mobile actionné par le déplacement d'une tige isolante. Lors d'une surcharge, la bobine de déclenchement libère un ressort puissant qui, en se détendant, entraîne la tige isolante et provoque l'ouverture des contacts. Au moment de la séparation des contacts, un arc s'établit et volatilise l'huile qui l'entoure. La pression des gaz ainsi produits agite énergiquement l'huile. De l'huile froide vient alors refroidir l'arc et l'éteindre.

b. Disjoncteurs à air comprimé

Ils provoquent l'extinction de l'arc en soufflant de l'air à vitesse supersonique entre les contacts qui se séparent. L'air est conservé dans des réservoirs à une pression de l'ordre de 3 MPa, grâce à un compresseur situé dans le poste de transformation

c. Disjoncteurs au gaz Hexafluor de Soufre (SF6)

La tendance actuelle en HT est le remplacement de l'air comprimé par le SF6 dont le pouvoir extingueur est estimé à plus de dix fois supérieur à l'air. Ils sont utilisés lorsqu'il faut réduire les dimensions du disjoncteur comme, par exemple, dans les postes intérieurs des centres-villes. Ces disjoncteurs sont d'un coût plus élevé, mais ils sont indispensables à la sécurité du matériel.

d. Disjoncteurs à vide

Ils fonctionnent sur un principe différent de celui des autres disjoncteurs car l'absence d'un gaz évite le problème d'ionisation lors de l'ouverture des contacts. Ces disjoncteurs sont scellés hermétiquement (étanche) de sorte qu'ils n'occasionnent aucun problème de contamination ni de bruit.

3.1.3. Transformateurs de puissance

Les transformateurs sont utilisés pour adapter (élever ou abaisser) une tension aux besoins de l'utilisation. En haute tension, de nombreux phénomènes physiques sont à considérer :

- Les dégagements de chaleur sont importants, ce qui nécessite de refroidir les transformateurs
- Les contraintes mécaniques dues aux phénomènes magnétiques sont très fortes
- La variation de la tension de sortie en fonction de la charge nécessite la mise en place de dispositifs spécifiques de régulation

Plusieurs types de refroidissement existent parmi lesquels on peut citer :

1. Refroidissement dans l'air :

Le circuit magnétique est enrobé de matière isolante sèche. Le refroidissement s'effectue de façon naturelle ou forcée à l'aide de ventilateur. Les transformateurs utilisant ce type de refroidissement sont dits transformateurs secs. C'est le cas des transformateurs de faibles puissances et à basse tension.

2. Refroidissement naturel dans l'huile :

Le transformateur placé dans une cuve, baigne dans de l'huile minérale. L'huile assure le transport de la chaleur provenant du noyau et des enroulements jusqu'à la paroi de la cuve; de là, la chaleur est ensuite cédée à l'air extérieur. C'est le cas des transformateurs de distribution dans les postes MT.

3. Refroidissement par radiateur à l'huile :

L'huile contenue dans la cuve où baigne le transformateur est dirigée par convection ou d'une manière forcée dans un radiateur séparé de la cuve afin d'évacuer les calories accumulées. Le radiateur peut être ventilé pour accélérer le refroidissement. C'est le cas des transformateurs de grandes puissances dans les postes HT et THT.

3.1.4. Transformateurs de courant et de tension (TC et TP)

Ils servent à isoler les circuits de mesures et de protection des circuits à HT. Ils permettent aussi de ramener les tensions et courants primaires (HT) à des valeurs standardisées secondaires (1 A ; 5 A ; 100 V ; 50 V).

Pour les transformateurs de tension, on distingue deux types :

- Le transformateur inductif de tension : il s'agit en fait d'un transformateur assez classique, mais prévu pour ne délivrer qu'une très faible puissance au secondaire. Il est utilisé pour les tensions < 145 kV
- Le transformateur capacitif de tension, qui fonctionne sur le principe du pont capacitif diviseur de tension associé à un transformateur classique et une impédance pour réduire l'impédance de sortie du dispositif (Fig. 3.4). Ce type est utilisé pour les tensions supérieures à 145 kV. Il permet en outre le couplage d'un système de télécommunication par courants porteurs pour communiquer sur les lignes à haute tension;

3.1.5. Parafoudres

Le rôle des parafoudres est la protection des installations contre les surtensions qui peuvent être d'origine internes (manœuvres) ou externes (foudres). Les seuls moyens de réduire puis d'éliminer ces surtensions consistent à mettre les installations à la terre, puis à prévoir des points d'écoulement à la terre pour les surtensions éventuelles. Les parafoudres sont branchés à l'entrée de chaque poste de transformation. Il est aussi préférable de les positionner aux bornes des transformateurs, des inductances et à l'arrivée des lignes HT.

Le parafoudre le plus simple est le parafoudre à cornes (Fig 3.5). C'est un dispositif simple constitué de deux électrodes, la première reliée au conducteur à protéger, la deuxième reliée à la terre. A l'endroit où il est installé dans le réseau, l'éclateur représente un point faible pour l'écoulement des surtensions à la terre et protège ainsi le matériel. La tension d'amorçage de l'éclateur est réglée en agissant sur la distance dans l'air entre les électrodes, de façon à obtenir une marge entre la tenue au choc du matériel à protéger et la tension d'amorçage au choc de l'éclateur.

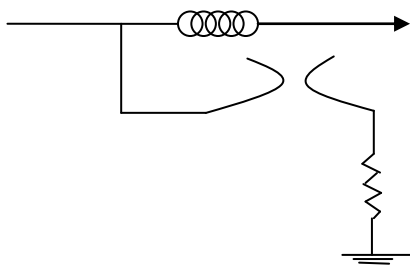


Fig 3.5 Schéma de principe d'un parafoudre à cornes (éclateur)

Les parafoudres modernes utilisent les propriétés des résistances non linéaires à base de semi-conducteurs comme le carbure de silicium (SiC) et l'oxyde de zinc (ZnO). Lors de l'apparition de la surtension, le courant très intense qu'elle engendre fait décroître fortement la résistance du parafoudre, ce qui provoque son écoulement à la terre. Après le passage du courant de décharge, la tension aux bornes du parafoudre devient égale à la tension du réseau. Le courant qui traverse le parafoudre est très faible et se stabilise autour de la valeur du courant de fuite à la terre.