

Chapitre 4

Postes de transformation

1. Introduction :

Les sources de production d'énergie électrique sont généralement éloignées des centres de consommation (centres industriels et des villes). L'énergie est acheminée par des liaisons à grand flux qui remplissent une fonction de transport d'énergie.

Afin de garantir la sécurité d'alimentation, il est utile de pouvoir faire transiter l'énergie électrique par des voies différentes, pour pallier à 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 de fait de leur puissance, de leur âge et de la nature de leur combustible. Ces deux considérations, technique et économique, conduisent à raccorder entre elles les liaisons électriques pour constituer des nœuds électriques qui permettent de mettre en commun toutes les sources de production et qui assurent ainsi une fonction d'interconnexion.

Le souci de réduire le nombre et le volume des infrastructures d'équipements à construire et la volonté de réduire les pertes d'énergie imposent sur les grandes distances de transporter l'énergie électrique à des tensions élevées voir très élevée (HT et THT). Il est donc nécessaire d'élever la tension à la sortie des groupes de production puis, après son transport, 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 nœuds et les points de transformation sont des **postes**.

2. Postes à haute et très haute tension :

2.1. Différents types de postes :

On distingue, suivant la fonction qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

- Les **postes à fonction d'interconnexion**, qui comprennent un ou plusieurs points communs triphasés appelés **jeux de barres**, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs...) 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 comporte en outre un ou plusieurs étages de transformation.

Un ensemble de protections et d'automates contrôle les grandeurs électriques réduites, élaborées par réduction 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 de mesure et de protection propre à un départ, sont regroupés dans une **cellule**. Un poste comprend 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 un **sommet** le jeu de barres ou le tronçon de jeu de barres ainsi constitué.

2.2. Mode d'exploitation des postes :

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 logés sur place ;
- Les **postes télécommandés**, exploités soit à partir d'un autre poste gardienné, soit à partir d'un centre de conduite centralisé. Ces postes 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 intervenir 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 manoeuvres réduit ; les postes importants étant, suivant les conditions locales, soit gardiennés, soit télécommandés.

2.3. Principaux schémas de postes HT et THT :

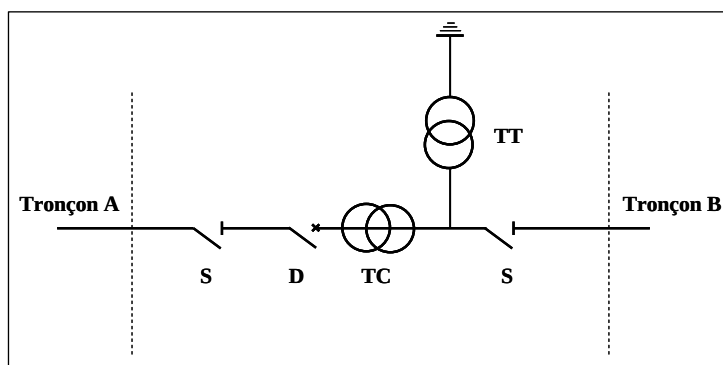
Les postes les plus répandus peuvent être caractérisés par trois principes de conception :

- Les postes à un seul disjoncteur par départ ;
- Les postes à plusieurs disjoncteurs par départ ;
- Les postes en boucle ;
- Les postes avec disjoncteur shunt (postes simples) ;
- Les postes avec un schéma en antenne (postes simples)

2.3.1. Schémas à un disjoncteur par départ :

Il est intéressant du point de vue de l'exploitation des réseaux de pouvoir réaliser plusieurs nœuds électriques séparés à partir d'un même jeu de barres ou de relier entre eux (nœuds) deux ou plusieurs jeux de barres. La réalisation de ces configurations est le rôle des tronçonnement et sectionnement de barres et des couplages.

- Un **tronçonnement** (Fig.1) permet de scinder un jeu de barres en deux sommets électriques. L'équipement comprend un disjoncteur, les sectionneurs d'isolement associés et des réducteurs de mesure qui alimente une protection de débouclage ou une protection du jeu de barres. Le tronçonnement permet de multiplier le nombre de sommets électriques. On appelle alors **tronçon** l'ensemble des parties des jeux de barres compris entre deux disjoncteurs ou entre un disjoncteur et une extrémité de barres.



S : Sectionneur

D : Disjoncteur

TT : transformateur de tension

TC : transformateur de courant

Fig. 1. Jeu de barre tronçonnable.

- Un **sectionnement** (Fig.2) comprend exclusivement des sectionneurs. Cela n'augmente pas le nombre de sommets électriques mais permet d'isoler une partie du jeu de barres pour entretien ou travaux. On appelle **section** l'ensemble des parties des jeux de barres compris entre deux sectionneurs ou entre un sectionneur et une extrémité de barres ou entre un disjoncteur et un sectionneur.

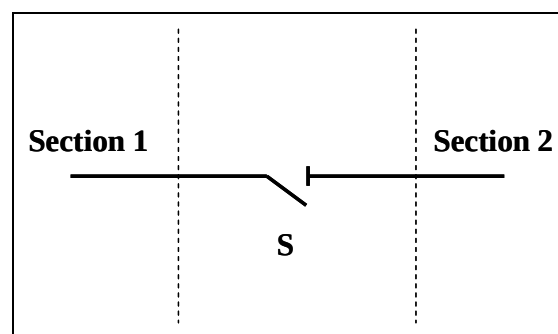


Fig. 2. Jeu de barre sectionnable.

- Un **couplage** (Fig.3) permet de relier entre eux deux ou plusieurs jeux de barres. L'appareillage se compose d'un disjoncteur, de sectionneur d'aiguillage sur les différents jeux de barres et de réducteurs de mesure qui alimente une protection de débouclage de jeux de barres.

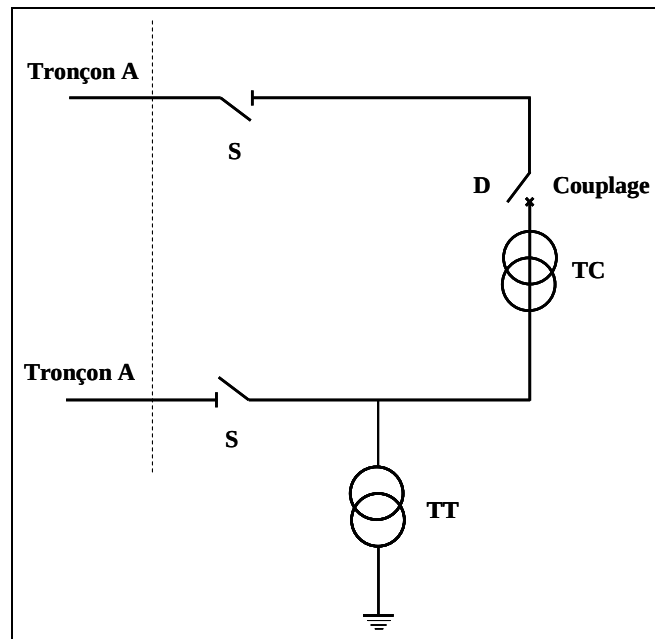


Fig. 3. Jeux de barre couplés.

2.3.1.1. Schéma à un jeu de barre :

Un schéma à un jeu de barre est représenté sur la figure ci-dessous. L'installation d'un sectionnement de barres permet de réaliser deux demi-postes. Si la répartition des cellules consommateurs et producteurs de part et d'autre du sectionnement est judicieuse, ce schéma peut convenir au cas des postes à nombre de cellules limitées.

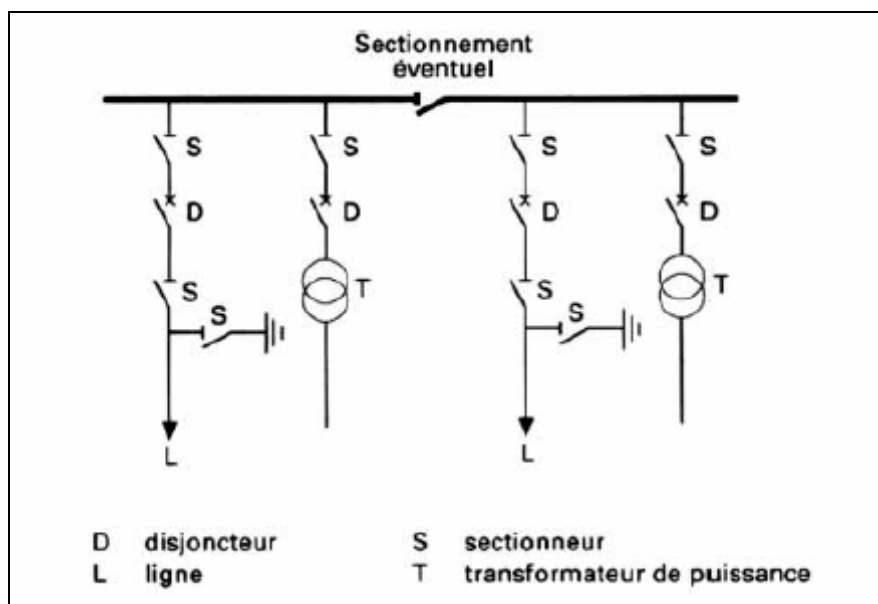


Fig. 4. Schéma à un jeu de barres.

On peut également le trouver en première étape de construction d'un poste à plusieurs jeux de barres.

2.3.1.2. Schéma à jeux de barres multiples :

Les schémas à jeux de barres multiples avec un disjoncteurs par départ permet d'assurer la continuité du service en cas d'indisponibilité de l'un deux et la marche en réseau séparé après séparation électrique des jeux de barres.

On peut trouver :

- **Un schéma à deux jeux de barres** : ce schéma comprend deux jeux de barres qui peuvent être mis en parallèle par un disjoncteur de couplage et sont éventuellement sectionnable, voir figure ci-dessous.

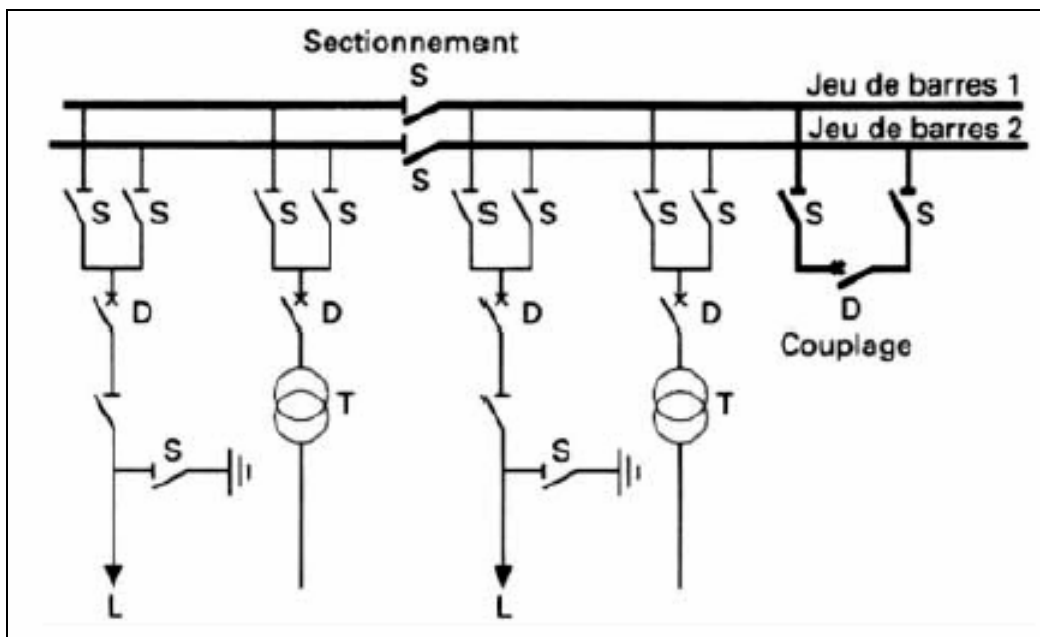
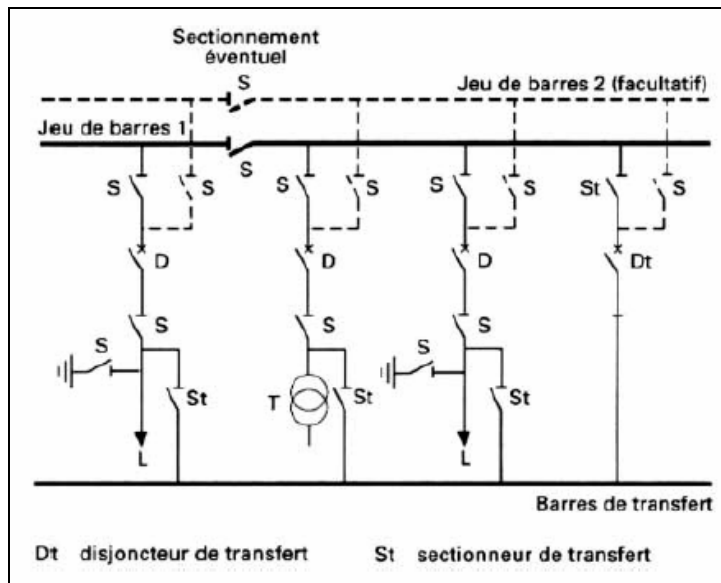


Fig. 5. Schéma à deux jeux de barres.

- Schéma à **trois jeux de barres** : au schéma précédent est ajouté un troisième jeu de barres relié aux différents départs par des sectionneurs d'aiguillage. Ce jeu de barre permet l'entretien de l'un des deux autres jeux de barres sans diminuer la souplesse d'exploitation de l'ouvrage et peut être utilisé pour transférer un départ en cas de défaillance d'un disjoncteur.

2.3.1.3. schéma avec jeu de barres de transfert :

Ce schéma comprend un jeu de barres dit de transfert raccordé aux autres jeux de barres par un disjoncteur de transfert spécialisé équipé de protections, voir figure ci-dessous.



L'intérêt de ce schéma réside dans la possibilité d'entretenir le matériel d'une cellule ou de remédier très facilement à sa défaillance en dérivant l'ouvrage sur le jeu de barres de transfert. Il est alors possible d'entretenir sur un élément quelconque de la cellule mise hors tension.

2.3.2. Schémas à plusieurs disjoncteurs par départ :

Ils permettent, en cas de défaut sur un jeu de barres, de déconnecter les cellules raccordées à ce jeu de barres et de conserver l'alimentation par l'autre jeu de barres sans interruption de service. On peut trouver :

- **Schéma à un disjoncteur et demi par départ** : trois disjoncteurs sont mis en commun pour deux cellules, d'où la dénomination de schéma à un disjoncteur et demi par cellule, voir figure ci-dessous.

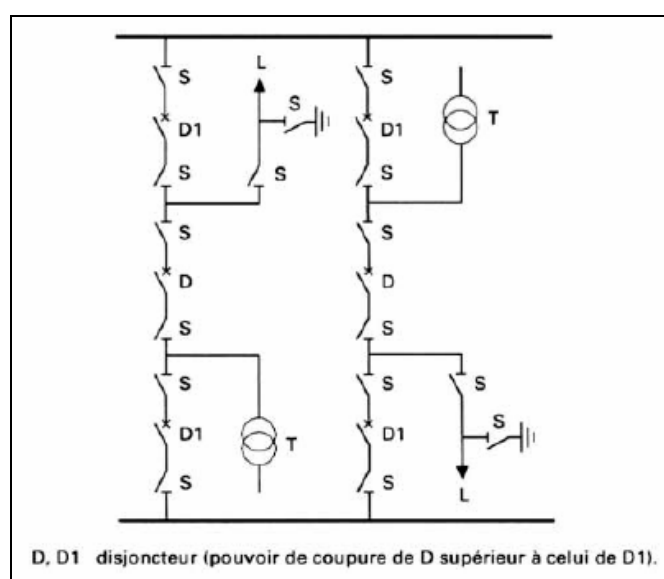


Fig. 7. Schéma à un disjoncteur et demi par départ.

En situation normale, tous les disjoncteurs sont fermés. Un défaut sur un départ impose alors l'ouverture de deux disjoncteurs D et D1. En cas de défaut sur un jeu de barres, on ouvre tous les disjoncteurs D1 qui lui seront raccordés et l'alimentation des cellules est alors assurée par l'autre jeu de barres. Les disjoncteurs placés entre les départs doivent pouvoir transiter le courant de deux départs.

La souplesse de fonctionnement est réduite du fait de la fermeture de tous les disjoncteurs en exploitation normale.

Ce poste, largement utilisé en Amérique du Nord, au Japon et en ex-URSS, convient particulièrement aux files d'évacuation entre un centre de production et un centre de consommation, les lignes à mettre en antenne étant alors toujours les mêmes.

- **Schéma à deux disjoncteurs par départ** : il comprend deux jeux de barres et l'aiguillage sur chaque jeu de barres est réalisé par un disjoncteur, voir figure ci-dessous.

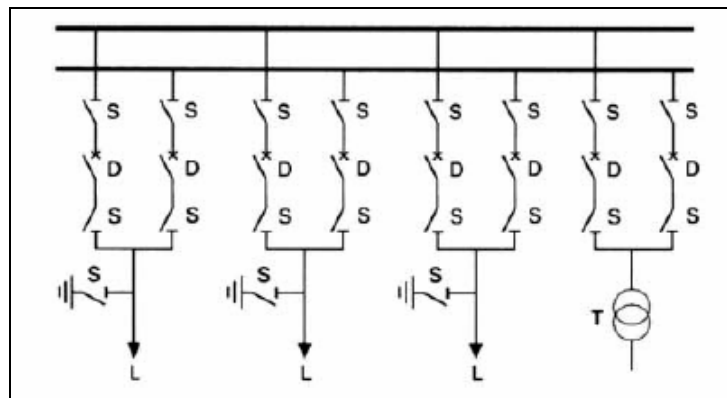


Fig. 8. Schéma à deux disjoncteurs par départ.

Il donne le choix à l'exploitant entre sécurité et souplesse :

- sécurité, lorsque tous les disjoncteurs sont fermés ; un défaut sur un jeu de barres exige alors l'ouverture de tous les disjoncteurs raccordés à ce jeu de barres, mais tous les départs restent en service sur l'autre jeu de barres ;
- souplesse, lorsqu'un seul disjoncteur par départ est fermé ; dans ce cas, le fonctionnement est celui, classique, d'un poste à un disjoncteur par départ.

Malgré un coût élevé, ce schéma ne permet pas d'obtenir simultanément souplesse et sécurité. Comme dans le cas précédent, un défaut sur une cellule exige, en situation de sécurité, l'ouverture de deux disjoncteurs.

Ce schéma est utilisé en ex-URSS et au Canada pour des postes d'évacuation d'énergie comprenant un nombre réduit de départs.

2.3.3. Schéma en boucle :

Les postes en boucle comportent des disjoncteurs placés en série sur un ou plusieurs jeux de barres bouclés. On peut trouver:

- **Schéma en boucle simple** : Le nombre de disjoncteurs est égal au nombre de cellules, voir figure ci-dessous. Les disjoncteurs doivent être calibrés pour l'intensité totale du courant les traversant.

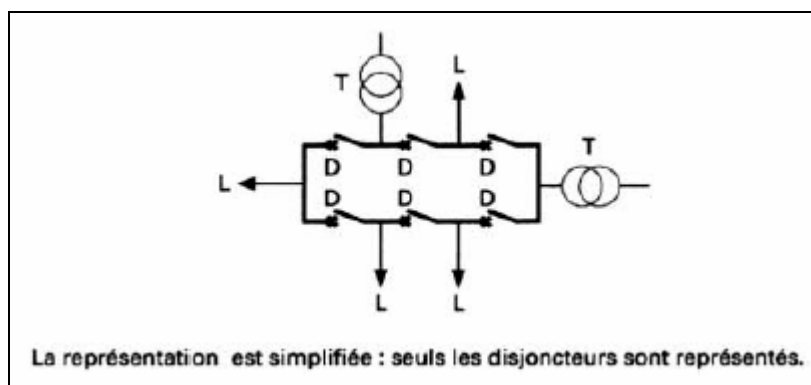


Fig. 9. Schéma en boucle simple.

L'élimination d'un défaut sur un départ exige l'ouverture de deux disjoncteurs. Les protections de chaque cellule commandent donc les deux disjoncteurs qui l'encadrent. Un défaut sur une cellule n'isole que cette cellule, mais si deux défauts apparaissent sur deux cellules non contiguës, on isole un groupe de cellules.

Ce schéma ne permet pas l'alimentation séparée de cellules quelconques par une source déterminée et présente à cet égard une faible souplesse d'exploitation.

Ce schéma est utilisé notamment en Amérique du Nord pour les ouvrages comprenant un nombre limité de cellules.

- **Schéma en boucles multiples** : Ce schéma (voir figure ci-dessous) n'a pas été conçu avec la souplesse d'exploitation comme objet, il répond à des cas bien précis d'architecture de réseau où les associations de lignes et de transformateurs sont quasi permanentes (Canada).

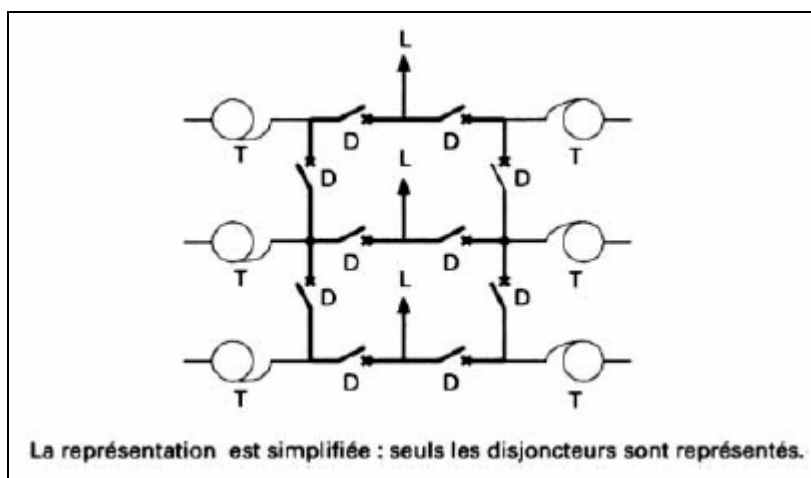


Fig. 10. Schéma en boucles multiples.

2.3.4. Schéma avec disjoncteur shunt :

Le principe du disjoncteur shunt, largement utilisé sur les réseaux aériens MT, consiste à éliminer les défauts monophasés d'origine fugitive en éteignant l'arc par mise à la terre au poste source de la phase touchée, sans ouverture de la ligne affectée par le défaut et donc sans coupure de la clientèle qu'elle alimente.

Considérons le schéma de la figure ci-dessous. En cas de défaut d'origine fugitive, les manoeuvres automatiques comprennent la fermeture du court-circuiteur rapide et l'ouverture du disjoncteur shunt.

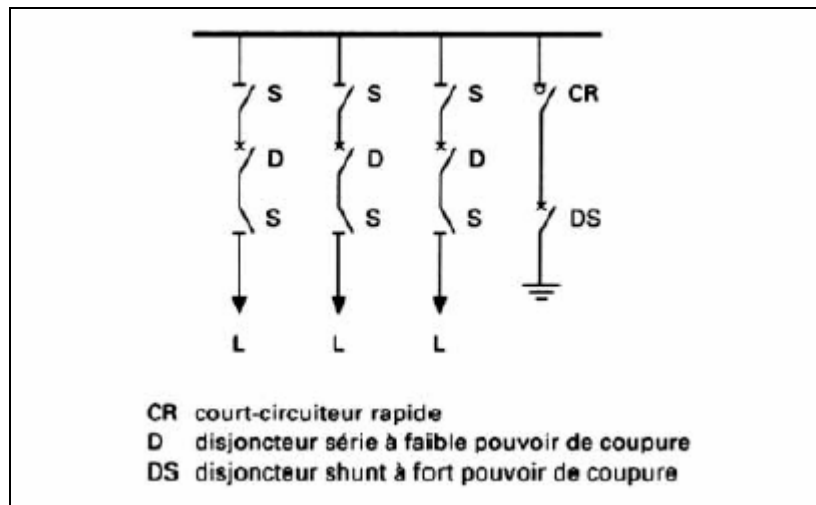


Fig. 11. Schéma avec disjoncteur shunt.

Pour l'élimination d'un défaut d'origine permanente, en plus des manoeuvres précédentes, il faut :

- refermer le disjoncteur shunt ;
- ouvrir le disjoncteur de cellule à chaque extrémité de la ligne, celui-ci peut n'avoir qu'un faible pouvoir de coupure ;
- ouvrir le disjoncteur shunt.

L'utilisation de disjoncteur shunt conduit à des surtensions sur le réseau d'où sa limitation en général aux réseaux à haute mais non très haute tension.

2.3.5. Schéma en antenne :

Ces schémas sont adoptés pour des postes qui n'ont pas de fonction d'interconnexion mais uniquement une fonction d'alimentation régionale. Un poste en antenne est situé à l'extrémité de lignes qui n'ont pas d'autres fonctions que de l'alimenter. Nous trouvons :

- **Schémas en antenne simple** : le disjoncteur qui protège l'antenne et le transformateur de puissance est en général situé dans le poste qui réalise l'alimentation, voir figure ci-dessous.

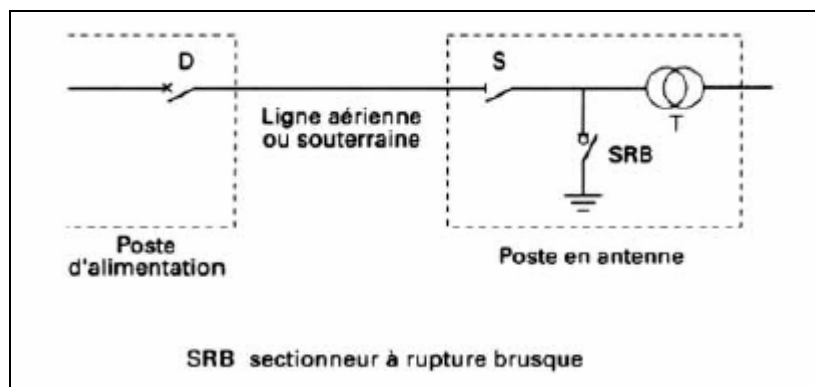


Fig. 12. Schéma en antenne simple.

- **Schéma en antenne double** : pour obtenir une meilleure sécurité d'alimentation que précédemment, il est nécessaire de disposer de deux sources indépendantes au moins et, pour garantir la puissance, de deux transformateurs au moins. Cela caractérise l'antenne double, voir figure ci-dessous.

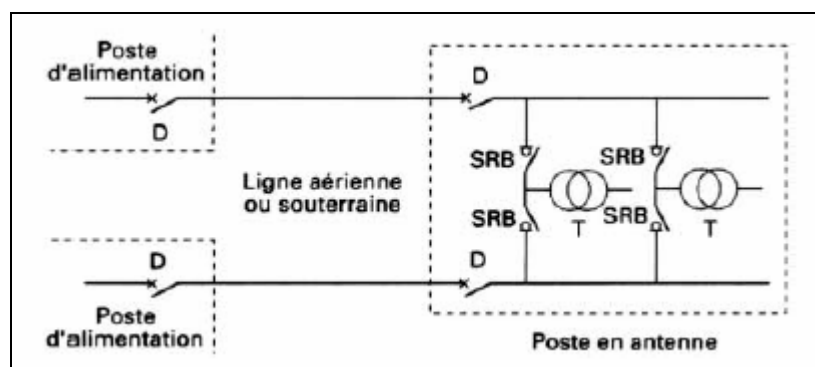


Fig. 12. Schéma en antenne double.

3. Postes de distribution (moyenne et basse tension) :

3.1. Postes sources :

Les postes HT/MT, appelés aussi postes sources, constituent l'interface entre le réseau de transport HT et le réseau de distribution MT, voir figure ci-dessous.

Leurs fonctions essentielles sont :

- la transformation de la tension du niveau HT vers le niveau MT, depuis une ou plusieurs lignes HT et par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs transformateurs HT/MT ;
- la répartition de l'énergie électrique avec un ou plusieurs tableaux de répartition MT, formés de l'assemblage de disjoncteurs MT raccordés par embrochage à un jeu de barres ;
- la protection du réseau MT par des disjoncteurs actionnés par différents types de protections définis selon le plan de protection retenu sur le réseau.

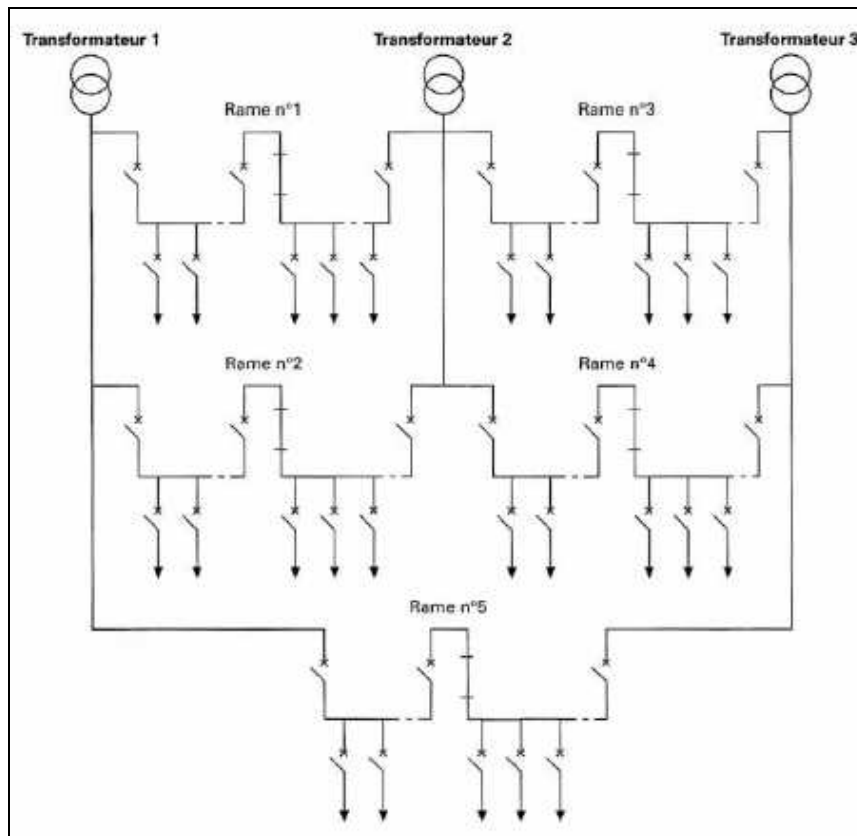


Fig. 14. Poste THT/HT desservant des grandes agglomérations.

3.2. Postes MT de structure :

Ces postes, que l'on peut trouver tant dans les zones urbaines que rurales, sont essentiellement destinés à assurer une fonction de répartition des réseaux MT à partir d'un point donné du réseau, voir figure ci-dessous. On les appelle aussi **postes d'étoilement** ou **postes d'éclatement**. Ils sont de moins en moins utilisés dans les structures de réseaux MT normalisées actuelles.

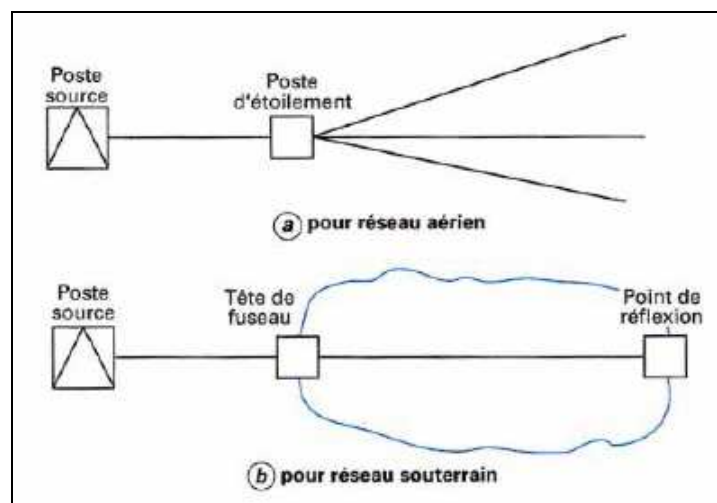


Fig. 15. Postes MT de structure.

3.3. Postes MT/BT :

Les postes de transformation MT/BT se distinguent les uns des autres, d'une part, par leur puissance maximale de transformation, d'autre part, par leur mode de raccordement.

L'existence et la structure du tableau à moyenne tension de ces postes sont directement liées à ce mode de raccordement, qui dépend :

- des **caractéristiques des réseaux en amont** qui peuvent être aériens (cas des zones rurales essentiellement) ou souterrains (cas des zones urbaines et périurbaines) ; il faut toutefois noter que la pénétration progressive des réseaux souterrains MT dans les zones rurales tend à minimiser cette séparation distinctive ;
- du **niveau de qualité de service** que le distributeur veut offrir à ses clients compte tenu de leurs besoins spécifiques ; ces besoins peuvent conduire à l'utilisation d'une deuxième alimentation sur un réseau voisin.

3.3.1. Différents modes d'alimentation :

Les différents modes d'alimentation MT sont :

- **Alimentation en simple dérivation ou antenne** : c'est le schéma le plus simple, généralement utilisé pour les postes ruraux et quelquefois pour les postes urbains (installations provisoires, postes de chantier). Un seul câble ou ligne aérienne alimente le poste, voir figure ci-dessous (partie a).
Une intervention sur le câble ou la ligne nécessite dans la majorité des cas (le bouclage en basse tension n'étant généralement pas possible) d'interrompre l'alimentation de la clientèle.
- **Alimentation en coupure d'artère ou boucle** : c'est le système de distribution le plus répandu en zone urbaine. Chaque poste est alimenté par deux câbles issus d'un même poste source (éventuellement de deux postes sources), l'ensemble des deux câbles formant une boucle, voir figure ci-dessous (partie b).
Ce système permet d'isoler un tronçon de câble pour travaux, tout en continuant à alimenter tous les postes. Seule une défaillance de la source elle-même peut priver de courant les postes de la boucle. Ces réseaux sont exploités en boucle ouverte.
- **Alimentation en double dérivation** : c'est le système de distribution qui offre la plus grande continuité de service. Il est utilisé dans des zones urbaines où la clientèle ne peut supporter des coupures de longue durée. Chaque poste est raccordé à deux câbles, voir figure ci-dessous (partie c). L'un des câbles alimente normalement le poste, l'autre étant en réserve pour réalimenter le poste en cas de défaut sur le premier.

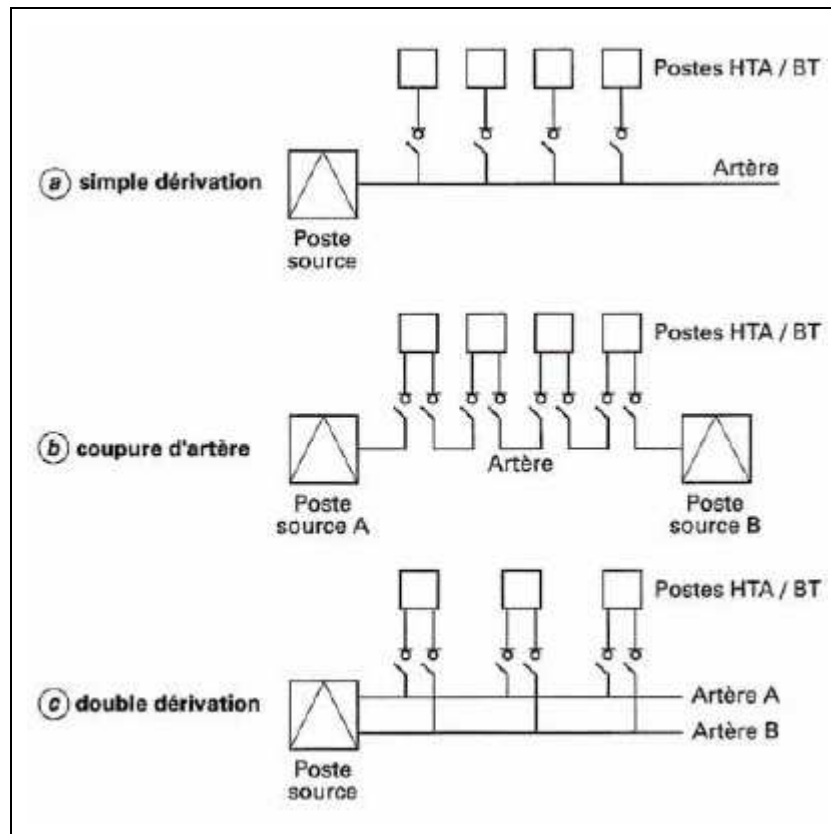


Fig. 16.Type d'alimentation des postes MT.

3.3.2. Différents types de postes MT/BT :

Il existe deux types de postes MT/BT :

- **Postes pour réseaux aériens** : ils sont alimentés en simple dérivation et ne comportent généralement pas d'appareillage de coupure et de protection MT. Ils comprennent, dans le cas de la France :
 - o pour le **transformateur sur poteau**, voir figure ci-dessous (partie a), un ou deux départs à basse tension, si la puissance du transformateur est inférieure ou égale à 160 kVA ;
 - o pour le **transformateur en armoire**, voir figure ci-dessous (partie b), deux à quatre départs, si la puissance du transformateur est comprise entre 160 et 250 kVA.

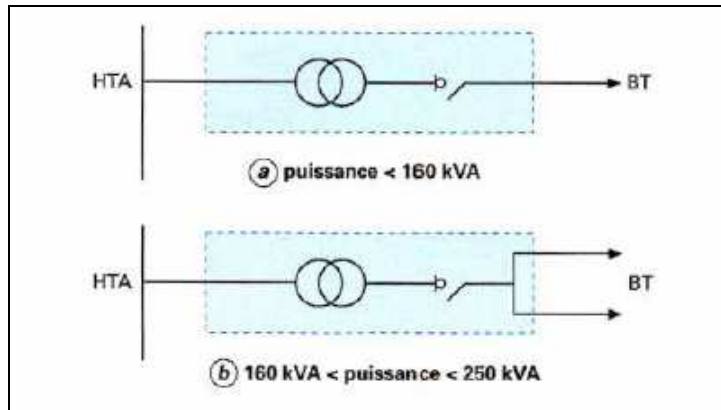


Fig. 17. Postes MT/BT en aérien. Transformateur sur poteau/en armoire.

- **Postes pour réseaux souterrain** : ces postes (figure ci-dessous), dont la puissance est en général comprise entre 250 et 1 000 kVA, peuvent être alimentés en simple dérivation (antenne), en double dérivation ou en coupure d'artère.

Ils comprennent une protection générale MT du transformateur, assurée par des fusibles associés à un interrupteur – sectionneur (toutefois, ce dernier n'existe pas dans les schémas en simple dérivation et dans le schéma simplifié en double dérivation) et quatre à huit départs BT.

Dans le domaine rural, le poste socle, identique dans ses fonctionnalités au poste en armoire du réseau aérien, permet d'alimenter des puissances de 100 ou 160 kVA. Il ne comporte pas d'appareillage MT. Des fusibles intégrés au transformateur permettent de limiter les conséquences de défauts internes.

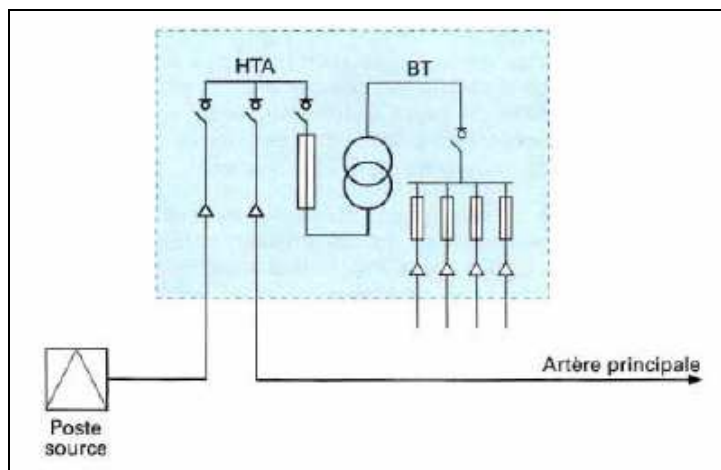


Fig. 18. Postes MT/BT en souterrain. Transformateur en cabine.

4. Equipements des postes :

Un poste a plusieurs équipements : transformateurs, disjoncteurs, sectionneur et fusibles, jeux de barres et isolateurs, inductances, capacités, batteries de capacités, transformateurs de courant et de tension, système de mise à la terre, parafoudre, des relais de protection, etc. Les principaux équipements d'un poste sont donnés ci-dessous.

4.1. Disjoncteur :

Le disjoncteur, qui normalement opère en recevant un signal des relais de protection, est un interrupteur automatique qui peut éteindre un courant de défaut. La partie du disjoncteur connecté à une phase est appelée pôle. Ce dernier consiste en un ou plusieurs interrupteurs ou chambre à extinction d'arc. Un interrupteur, qui comprend une partie fixe et une partie mobile, est monté sur un isolateur. L'arc est produit par séparation des contacts et il est interrompu par des techniques et un intermédiaire permettant son extinction.

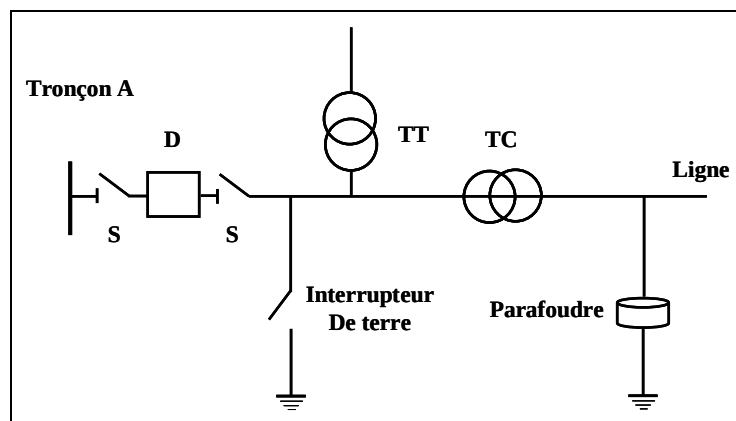
Le disjoncteur peut être classé en se basant sur la tension d'opération (basse tension jusqu'à 1kV et haute tension supérieure à 1kV). En se basant sur l'intermédiaire pour l'extinction de l'arc, les disjoncteurs sont classés comme suit :

- Disjoncteur à air pour des tensions allant jusqu'à 12 kV et des disjoncteurs miniatures jusqu'à 600V où de l'air à la pression atmosphérique est utilisé.
- Disjoncteurs huile utilisés pour des tensions allant de 3,6 à 12 kV où une huile diélectrique est utilisée.
- Disjoncteurs à minimum d'huile utilisés pour des tensions allant de 3,6 à 245 kV où une huile diélectrique est utilisée.
- Disjoncteurs à air comprimé utilisés pour des tensions allant de 245 à 1100 kV.
- Disjoncteurs SF6 utilisés pour des tensions allant de 36 à 420 kV.
- Disjoncteurs utilisant le vide. Ils sont employés pour des tensions supérieures à 36 kV.

En se basant sur le mode d'extinction de l'arc, les disjoncteurs peuvent être classés comme des interrupteurs à grande ou faible résistance d'interruption. Le disjoncteur est choisi en fonction de la tension de service et du courant de défaut.

4.2. Sectionneur et fusibles :

Les sectionneurs fonctionnent sous charge nulle et ne doivent n'avoir aucun courant à éteindre. Ils permettent d'isoler ou de déconnecter un circuit du réseau. Ils sont utilisés en complément des disjoncteurs. La position d'un sectionneur est comme indiquée sur la figure ci-dessous. Pour ouvrir le circuit, le disjoncteur doit, en premier, être ouvert avant d'actionner le sectionneur.



S : Sectionneur ; D : Disjoncteur ; TT : Transformateur de tension ; TC : Transformateur de courant.
Fig.19. Position des sectionneurs.

Un fusible est le plus simple équipement d'interruption de courant pour la protection de courants excessifs dus à une surcharge ou un défaut. Il est normalement utilisé pour des installations allant jusqu'à 600 V de tension d'alimentation.

4.3. Parafoudre :

Il est normalement connecté dans le poste entre la phase et la terre, voir figure ci-dessus, pour protéger les équipements du poste de la décharge de la foudre. Le parafoudre offre une faible résistance durant une surtension transitoire élevée afin d'évacuer vers la terre. Après cette évacuation, il bloque le passage du courant de la ligne vers la terre en offrant une grande résistance.

4.4. Inductances et capacités :

Afin de limiter le courant de charge, les grandes lignes électriques à haute tension sont connectées de part et d'autre de ces extrémités à une inductance. Cette dernière est connectée de manière permanente à la ligne. En plus de ces inductances, il y a des inductances connectées sur les jeux de barres des postes vis des disjoncteurs. Ces inductances sont utilisées dans certaines conditions de charge ou lors de la mise sous tension de la ligne afin d'éviter l'effet Ferranti (augmentation de la tension au bout de ligne).

Les capacités sont normalement connectées aux basses tensions. Durant les conditions de pointe, la tension du système s'écroule d'où la nécessité d'une puissance réactive des capacités. Dans le réseau à haute tension, il est préférable d'utiliser un compensateur statique de puissance réactive qui tient compte de la puissance réactive à injecter ou à consommer. Dans le réseau de distribution, les capacités sont utilisées principalement pour relever le facteur de puissance.

4.5. Transformateurs de courant et de tension :

Les transformateurs de courant et de tension sont très communs dans les postes. Ils sont utilisés pour la mesure et pour donner les entrées des relais de protection. La connexion de ces deux transformateurs est donnée sur la figure ci-dessus.

4.6. Mise à la terre :

La mise à la terre est utilisée pour la sécurité et la fiabilité des postes. Tous les systèmes de puissance fonctionnent avec neutre mis à la terre. Cette protection est l'un des aspects les plus importants dans la conception d'un poste.