

Postes à haute et très haute tension

Rôle et structure

par **Jean-Michel DELBARRE**

Ingénieur de l'École Supérieure d'Électricité

Ingénieur au Centre d'Équipement du Réseau de Transport d'Électricité de France

| | |
|--|-------------|
| 1. Présentation générale | D 4 570 - 2 |
| 1.1 Réseaux et postes..... | — 2 |
| 1.2 Structure des réseaux | — 2 |
| 1.2.1 Topologie des réseaux | — 2 |
| 1.2.2 Imperfections des réseaux | — 3 |
| 1.3 Différents types de postes | — 3 |
| 1.4 Conduite des réseaux et mode d'exploitation des postes | — 3 |
| 2. Exigences générales du schéma électrique d'un poste | — 4 |
| 2.1 Fonctionnement..... | — 4 |
| 2.2 Exploitation | — 4 |
| 2.3 Évolution | — 4 |
| 2.4 Coût..... | — 4 |
| 2.5 Exigences particulières à certains ouvrages | — 5 |
| 2.6 Adaptation au site..... | — 5 |
| 3. Principaux schémas de poste utilisés | — 5 |
| 3.1 Schémas à un disjoncteur par départ..... | — 5 |
| 3.1.1 Définitions | — 5 |
| 3.1.2 Schéma à un jeu de barres | — 6 |
| 3.1.3 Schémas à jeux de barres multiples | — 6 |
| 3.1.4 Schéma avec jeu de barres de transfert | — 7 |
| 3.2 Schémas à plusieurs disjoncteurs par départ..... | — 7 |
| 3.2.1 Schéma à un disjoncteur et demi par départ..... | — 7 |
| 3.2.2 Schéma à deux disjoncteurs par départ..... | — 7 |
| 3.3 Schémas en boucle | — 8 |
| 3.3.1 Schéma en boucle simple..... | — 8 |
| 3.3.2 Schéma en boucles multiples..... | — 8 |
| 3.4 Schémas avec disjoncteur shunt..... | — 8 |
| 3.5 Schémas en antenne | — 9 |
| 3.5.1 Schéma en antenne simple | — 9 |
| 3.5.2 Schéma en antenne double | — 9 |
| 4. Schémas électriques des postes d'Électricité de France | — 9 |
| 4.1 Généralités | — 9 |
| 4.2 Postes d'interconnexion à 400 kV | — 9 |
| 4.3 Postes de transformation 400/225 kV..... | — 12 |
| 4.4 Postes d'alimentation régionale..... | — 12 |
| 4.4.1 Postes de soutirage 400 kV/HT | — 12 |
| 4.4.2 Postes de transformation 225 kV/HT..... | — 14 |
| 4.5 Postes d'alimentation des réseaux à moyenne tension..... | — 14 |
| 4.5.1 Postes C..... | — 14 |
| 4.5.2 Postes D..... | — 14 |
| 4.5.3 Postes d..... | — 15 |

L'article **Postes à haute et très haute tension** fait l'objet de plusieurs articles :

— **Rôle et structure** [D 4 570] ;

— **Installations de conduite et de contrôle** [D 4 576] ;

- **Dispositions constructives** [D 4 572] ;
- **Construction et équipements** [D 4 574] ;
- **Postes sous enveloppe métallique (PSEM)** [D 4 590].

Dans cet article, pour plus de précisions, nous conserverons les notations THT (400, 225 et 150 kV), HT (90, 63 et 42 kV), MT (20 et 15 kV) et BT (380 et 220 V), bien que les dénominations actuelles (UTE C 18-510) soient HTB (pour les tensions supérieures à 50 kV), HTA (pour les tensions comprises entre 1 et 50 kV), BTB (pour les tensions comprises entre 500 et 1 000 V) et BTA (pour les tensions comprises entre 50 et 500 V).

1. Présentation générale

1.1 Réseaux et postes

Les sources de production d'énergie électrique, particulièrement les centrales nucléaires ou hydrauliques, sont généralement éloignées des centres de consommation, c'est-à-dire des centres industriels et des villes. L'énergie est acheminée à distance par des liaisons électriques 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 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 **nœuds 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 nœuds et les points de transformation sont les postes.

1.2 Structure des réseaux

1.2.1 Topologie des réseaux

Les **réseaux de transport d'énergie et d'interconnexion** sont donc, par nature, constitués d'ouvrages capables de forts transits et maillés. Les liaisons forment des boucles dont la grande majorité a des côtés communs, réalisant ainsi une structure semblable aux mailles d'un filet (figure 1a).

Les **réseaux de répartition** qu'ils alimentent ont fréquemment une structure bouclée (figure 1b) 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, figure 1b) ou encore en piquage en prélevant une partie de l'énergie circulant sur une ligne reliant deux postes (poste H, figure 1b).

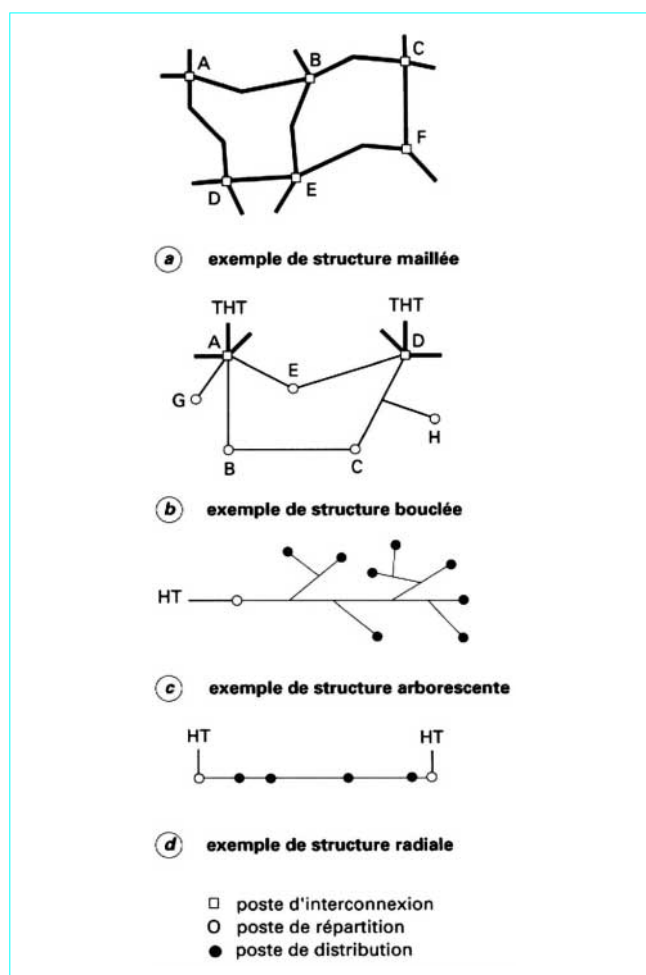


Figure 1 – Topologie des réseaux

Ces réseaux de répartition à caractère régional fournissent l'énergie aux **réseaux de distribution** qui sont des réseaux à moyenne tension (MT) assurant l'alimentation d'un grand nombre d'utilisateurs soit directement, soit après transformation en basse tension (BT). 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 (figure 1d), des réseaux à structure arborescente (figure 1c).

D'une façon générale, ce sont les caractéristiques des sources de production, les besoins des utilisateurs et l'expérience d'exploitation qui, ajoutés à des considérations économiques, conduisent à choisir la structure topologique des réseaux en s'efforçant de réduire l'incidence des défaillances dont ils peuvent être l'objet.

1.2.2 Imperfections des réseaux

Pour des raisons techniques et économiques, il n'est pas possible de construire des réseaux exempts de défauts de fonctionnement. Leurs éléments constitutifs sont conçus, construits et entretenus de façon à réaliser le meilleur compromis entre coût et risque de défaillance. Il en résulte que des défauts ou incidents peuvent venir perturber le bon fonctionnement des installations.

Parmi les causes d'incidents susceptibles d'affecter les réseaux, citons les **perturbations atmosphériques**, qui peuvent induire des défauts d'isolement des parties sous tension (foudre) ou, dans les cas extrêmes, mettre en péril la tenue mécanique des ouvrages (vent, neige, givre).

Les courts-circuits qui s'ensuivent ont sur l'ensemble de la chaîne production-transport-consommation des effets néfastes, en particulier :

- des risques de perte de stabilité du réseau ;
- des contraintes thermiques et mécaniques sur le matériel ;
- une dégradation de la qualité de la fourniture ;
- des tensions induites perturbant les circuits de télécommunication.

Ils créent en outre des risques sur l'environnement des ouvrages, notamment des possibilités d'électrocution.

La structure topologique d'un réseau permet d'agir de plusieurs manières sur les contraintes subies par les ouvrages et sur la qualité de l'énergie délivrée, par exemple en fractionnant les réseaux, en assurant la possibilité de secours par des réseaux voisins ou en multipliant les sources d'alimentation.

Rappelons que les réseaux doivent, de surcroît, être équipés des systèmes de protection aussi sélectifs que possible, afin d'éliminer d'une manière sûre et dans les plus brefs délais, en cas de défaut, l'élément affecté et lui seul. C'est dans les postes qu'on trouve ces dispositifs.

L'importance d'un réseau est d'autant plus grande, tant sur le plan de la sécurité que sur celui de l'économie, que son niveau de tension est élevé. En effet, toute défaillance entraîne des défauts d'alimentation sur des zones étendues. C'est pourquoi sont mises prioritairement en œuvre sur ces réseaux les mesures de nature à assurer la meilleure qualité de fonctionnement possible. Aussi, une importance particulière est-elle attachée à l'interconnexion de ces réseaux, de même que sont utilisés pour leur protection les technologies les plus évoluées.

Dans l'organisation d'un réseau, les postes sont les points névralgiques, puisque, du fait de leur fonction d'interconnexion et de transformation, la défaillance de l'un d'eux peut provoquer la mise hors service de nombreuses lignes et compromettre les liaisons entre réseaux de tensions différentes.

1.3 Différents types de postes

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

— les **postes à fonction 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.

1.4 Conduite des réseaux et mode d'exploitation des postes

Pour satisfaire à tout instant la demande dans les meilleures conditions de coût et de qualité de service, il est nécessaire que des centres de conduite reçoivent des informations en permanence des réseaux et des groupes de production, les traitent pour concevoir les actions à engager et émettent les ordres correspondants. À cette fin, au réseau de transit d'énergie se superpose un **système de conduite** constitué de liaisons de télécommunication qui relient les différents niveaux de contrôle et de commande aux postes.

La **commande** d'appareillages et d'automatismes depuis des sites déterminés permet ainsi d'adapter en permanence et de manière la plus optimale le schéma d'exploitation aux conditions de charge tout en assurant la sécurité des installations. 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.

2. Exigences générales du schéma électrique d'un poste

Au sein du réseau auquel il est raccordé, chaque type de poste a à remplir quelques fonctions bien déterminées dont dépend son schéma électrique, généralement représenté sous une forme unifiée où chaque circuit triphasé est figuré par un trait unique.

Le choix d'un schéma électrique de poste est une tâche complexe demandant la prise en considération de nombreuses conditions techniques, historiques et économiques. Du fait de la variété des caractéristiques des réseaux et de la diversité des fonctions assignées aux postes, il n'est pas possible d'établir une liste exhaustive des conditions techniques à satisfaire. Il est cependant utile de définir les critères usuels de jugement des schémas de poste dont la combinaison pondérée permet au concepteur d'approcher la fonction recherchée.

Notons que certains critères ont des conséquences opposées, d'où la nécessité de faire des priorités et de trouver des compromis.

2.1 Fonctionnement

Les critères de fonctionnement caractérisent l'aptitude du poste à remplir par sa structure et son système de protection, dans les circonstances les plus variées, les fonctions pour lesquelles il a été conçu.

Cette exigence technique fondamentale peut être caractérisée par la sécurité et la sûreté de fonctionnement de l'ouvrage, lesquelles découlent de la capacité du poste à éliminer les défauts en créant le minimum de perturbations annexes.

■ Sécurité

Un incident affectant le réseau peut induire un mode de fonctionnement dégradé et compromettre la continuité de l'approvisionnement en électricité. Les pertes d'efficacité subies par le réseau doivent être acceptables en regard de la nature de l'incident et de sa fréquence d'apparition.

Par exemple, sur une ligne à deux circuits, on cherche, en cas de défaut sur un circuit, à maintenir en service le second circuit.

■ Sûreté

Le critère de sécurité n'a de sens que dans la mesure où la fiabilité des circuits à haute et très haute tension et celle du système de protection permettent d'assurer une sûreté de fonctionnement suffisante.

Ainsi, l'élimination d'un défaut sur une ligne ou un transformateur doit se faire par l'ouverture d'un nombre réduit de disjoncteurs : en effet, la probabilité de défaillance d'un disjoncteur n'est pas nulle et le risque d'une mauvaise élimination croît donc avec le nombre de disjoncteurs à ouvrir.

La recherche d'une sûreté élevée conduit généralement à des redondances de matériel importantes, aussi bien au niveau du schéma électrique du poste qu'à celui des systèmes de commande, de protection et d'automatisme. On s'aperçoit cependant que l'amélioration obtenue par la redondance peut être considérablement diminuée par des défaillances de cause commune, c'est-à-dire par les défaillances de plusieurs dispositifs (identiques ou différents, mais indépendants) dues à la même origine.

2.2 Exploitation

Il s'agit de concevoir le poste pour faciliter la conduite du réseau ; on distingue les éléments suivants.

■ Souplesse d'exploitation

Pour assurer la sécurité d'alimentation en faisant face, d'une part, aux aléas de production et de consommation et, d'autre part, aux indisponibilités d'éléments du réseau, l'exploitant est amené à constituer sur un même site plusieurs nœuds électriques. Pour ce faire, les jeux de barres sont découpés en plusieurs sommets auxquels sont connectés des lignes ou des transformateurs. Dans certains cas, ce découpage est rendu nécessaire pour limiter la puissance de court-circuit. La souplesse d'exploitation voudrait que tout départ, ligne ou transformateur, puisse être raccordé indépendamment avec tout autre départ. Cette exigence conduirait à installer dans un poste un nombre de sommets d'autant plus élevé que le nombre de combinaisons de liaisons raccordées est grand. Dans la pratique, le nombre de sommets est rarement supérieur à quatre.

■ Manœuvres usuelles d'exploitation

Les structures envisagées doivent permettre une exécution simple et rapide des manœuvres en régime normal d'exploitation (changement de sommets, mise hors service d'ouvrages, entretien, etc.) en limitant les incidences sur les ouvrages non intéressés par la manœuvre.

■ Facilité de conception des manœuvres

L'exploitation des postes étant encore soumise à des interventions humaines, le schéma électrique doit être facilement intelligible et se prêter à l'exécution commode d'interventions, tant au tableau de commande qu'au pied des appareils. Il faut observer que ce critère de clarté du schéma est subjectif et dépend éminemment des habitudes de conduite déjà acquises par les exploitants du réseau considéré.

2.3 Évolution

Un poste est généralement réalisé en plusieurs étapes successives, décalées dans le temps, et souvent tributaires de la construction d'autres ouvrages associés (arrivée de lignes aériennes, transformateur d'un autre poste, etc.).

L'aptitude à l'évolution d'un poste permet en particulier :

- de limiter, lors des premières étapes d'équipement, la construction d'ouvrages qui ne seront nécessaires que pour des étapes ultérieures ;
- de minimiser les temps de coupure et les modifications d'ouvrages existants pour la réalisation de nouvelles étapes ;
- de raccorder les lignes nouvelles dans de bonnes conditions et de pouvoir augmenter le nombre de sommets électriques lors de travaux d'extension.

2.4 Coût

L'examen du schéma électrique n'est pas suffisant pour évaluer précisément le coût d'un ouvrage, lequel dépend étroitement des dispositions constructives (article *Dispositions constructives* [C 2 310] dans ce traité).

Le coût peut cependant être approché grossièrement, à partir du schéma électrique, en comptabilisant le nombre d'appareils à haute et très haute tension qui seront nécessaires à son fonctionnement. En effet, ils entrent pour une part importante dans le coût global de l'ouvrage et l'augmentation de leur nombre complique les dispositions constructives, de sorte que le coût d'un poste varie globalement dans le même sens que le nombre d'appareils à haute et très haute tension qu'il contient.

2.5 Exigences particulières à certains ouvrages

Pour répondre à des conditions d'exploitation particulières, il peut être nécessaire de définir des critères de jugement spécifiques des schémas de postes.

Exemple 1 : dans le cas d'un poste de raccordement de centrale nucléaire, lorsque les auxiliaires des groupes (c'est-à-dire les installations de fourniture et de distribution d'énergie électrique dont il est nécessaire de disposer pour assurer le fonctionnement des différents organes de la centrale) sont raccordés directement sur les jeux de barres de ce poste, la sécurité d'alimentation de ces auxiliaires est généralement le critère prépondérant. Les contraintes de raccordement des groupes et des auxiliaires sur les barres du poste imposent, en particulier, qu'il n'existe pas de possibilité de défaillance de cause commune entre les différentes alimentations des auxiliaires de chaque groupe.

Exemple 2 : dans certains ouvrages, il peut être important :

- soit de raccorder un départ sur un sommet donné, indépendamment de la situation géographique de ce départ par rapport au sommet désiré, par exemple pour équilibrer les productions et les consommations sur un sommet ;

- soit de répartir les différents départs sur des sommets distincts pour accroître la sécurité de fonctionnement en cas de défaut sur un sommet (par exemple, raccordement des deux circuits d'une ligne aérienne double sur des sommets non adjacents).

2.6 Adaptation au site

Les exigences globales énumérées précédemment permettent au concepteur d'opérer un premier tri ; après quoi, il définit généralement des critères prenant en compte les implantations physiques différentes auxquelles peut conduire chaque schéma de principe. Parmi ces critères peuvent être citées l'accessibilité pour les opérations d'entretien du matériel, la surface nécessaire à l'implantation de l'ouvrage et la complexité d'installation des matériels.

3. Principaux schémas de poste utilisés

Les postes les plus répandus peuvent être caractérisés par trois principes de conception : les postes à un disjoncteur par départ, les postes à plusieurs disjoncteurs par départ, les postes en boucle. En outre, les postes les plus simples peuvent être équipés de disjoncteur shunt ou raccordés en antenne.

Les exemples ci-après, que l'on peut rencontrer sur les réseaux, français ou étrangers, illustrent les caractéristiques communes à chaque famille.

3.1 Schémas à un disjoncteur par départ

3.1.1 Définitions

Avant d'entrer dans l'étude détaillée des schémas à un disjoncteur par départ, il convient de préciser la terminologie adoptée pour ces schémas.

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 deux ou plusieurs jeux de barres. La réalisation de ces configurations est le rôle des tronçonnements et sectionnements de barres et des couplages.

Un **tronçonnement** (figure 2a) 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 alimentent une protection de débouclage ou une protection de jeux 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.

Un **sectionnement** (figure 2b) comporte 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.

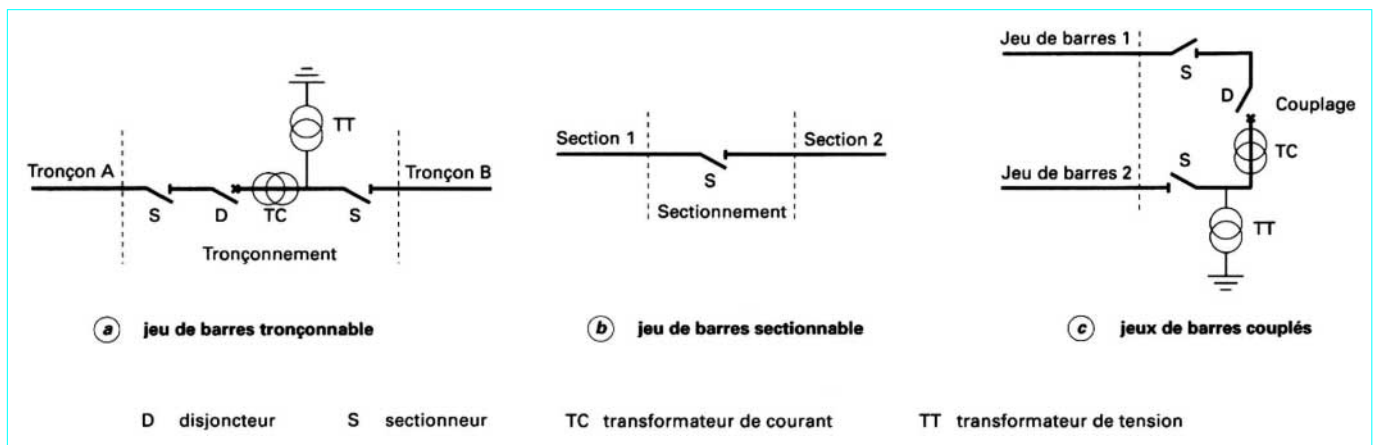


Figure 2 – Jeux de barres

Un **couplage** (figure 2c) permet de relier entre eux deux ou plusieurs jeux de barres. L'appareillage se compose d'un disjoncteur, de sectionneurs d'aiguillage sur les différents jeux de barres et de réducteurs de mesure qui alimentent une protection de débouclage de jeux de barres.

3.1.2 Schéma à un jeu de barres

Ce schéma simple (figure 3) présente de sérieux inconvénients lorsqu'il faut assurer la continuité du service en toutes circonstances. En effet, compte tenu des critères précédemment définis (§ 2), on constate que :

- un incident sur le jeu de barres (ou l'entretien de celui-ci) entraîne la mise hors tension de tout le poste (critère de fonctionnement) ;
- ce schéma ne permet pas l'alimentation indépendante de cellules par des sources différentes (critère de conduite).

L'installation d'un sectionnement de barres permet cependant de réaliser deux demi-postes. Si la répartition des cellules *consommateur* et *producteur* de part et d'autre du sectionnement est judicieuse, ce schéma peut convenir au cas des postes à nombre de cellules limité.

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

3.1.3 Schémas à jeux de barres multiples

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

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 deux ou plusieurs jeux de barres. La réalisation de ces configurations est le rôle des tronçonnements et sectionnements de barres et des couplages.

■ Schéma à deux jeux de barres

Ce schéma (figure 4) comprend deux jeux de barres qui peuvent être mis en parallèle par un disjoncteur de couplage et sont éventuellement sectionnables. Deux exploitations en fonctionnement normal sont envisageables.

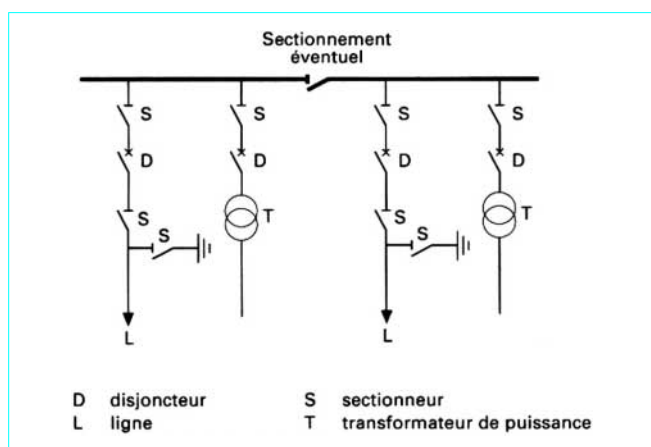


Figure 3 – Schéma à un jeu de barres

— Si les **deux sommets sont raccordés** par le disjoncteur de couplage (figure 4), l'apparition d'un défaut sur un jeu de barres entraîne, par suite du fonctionnement des protections, l'ouverture du disjoncteur de couplage et l'on perd l'ensemble des cellules raccordées au jeu de barres en défaut.

— L'exploitation du poste en **deux sommets séparés** permet d'obtenir une bonne souplesse d'exploitation mais au détriment de la sécurité de fonctionnement.

La cellule de couplage permet de pallier l'indisponibilité d'un disjoncteur d'un départ. À cet effet, un jeu de barres (figure 5) doit être libéré de toutes les cellules qui lui sont raccordées à l'exception de la cellule ayant son disjoncteur défaillant. Ce disjoncteur est shunté, si les réducteurs de mesure et les dispositifs de protection associés de la cellule peuvent rester en service : seuls, les ordres de déclenchement sont transférés sur le disjoncteur de la cellule de couplage. Cette opération est un exemple de **transfert d'un départ**.

Ce schéma de poste, très efficace tout en restant relativement simple, est très utilisé en Europe et au Japon.

■ 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 barres 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.

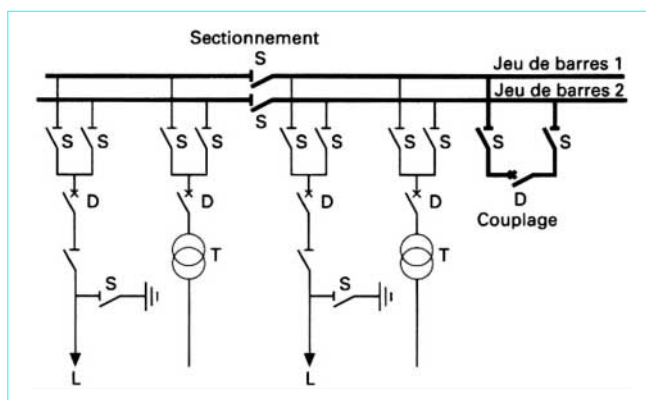


Figure 4 – Schéma à deux jeux de barres

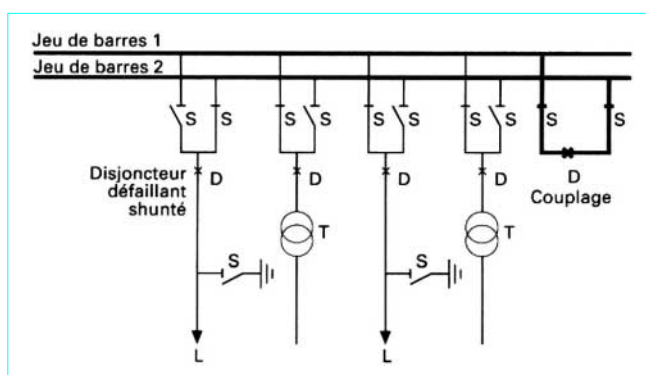


Figure 5 – Exemple de transfert d'un départ

Il faut cependant noter que le coût supplémentaire du troisième jeu de barres ne se justifie que pour un poste ayant une position stratégique particulière ou un nombre important de cellules (plus d'une dizaine de cellules de lignes en étape finale).

3.1.4 Schéma avec jeu de barres de transfert

Ce schéma (figure 6) comprend un jeu de barres dit *de transfert* raccordé aux autres jeux de barres par un disjoncteur de transfert spécialisé équipé de protections.

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'intervenir sur un élément quelconque de la cellule mise hors tension. En revanche, le coût d'installation d'un jeu de barres de transfert est pratiquement équivalent à celui d'un jeu de barres normal.

Le schéma avec jeu de barres de transfert peut comprendre un deuxième jeu de barres normal et un sectionnement de ces jeux de barres normaux.

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.

3.2.1 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 (figure 7).

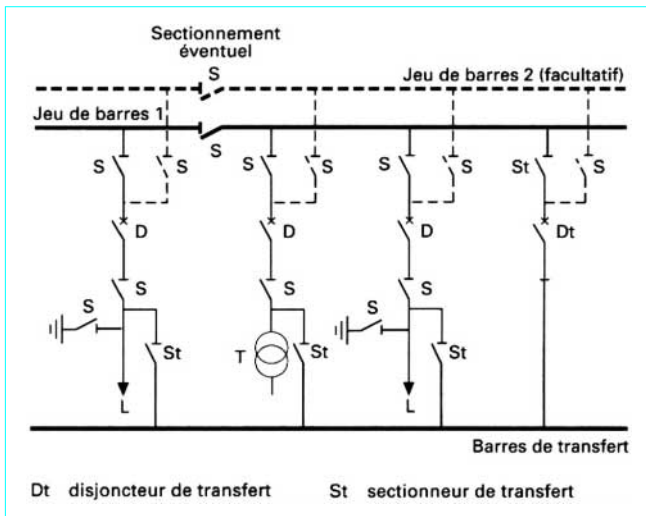


Figure 6 – Schéma à un ou deux jeux de barres et un jeu de barres de transfert

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.

3.2.2 Schéma à deux disjoncteurs par départ

Il comprend (figure 8) deux jeux de barres et l'aiguillage sur chaque jeu de barres est réalisé par un disjoncteur.

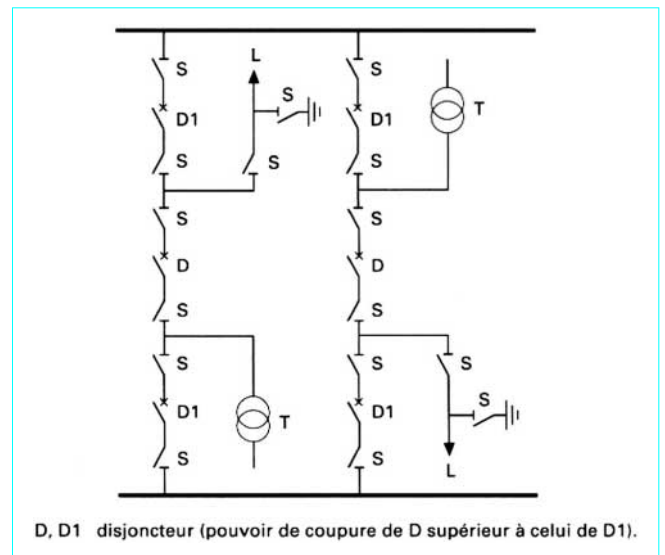


Figure 7 – Schéma à un disjoncteur et demi par départ

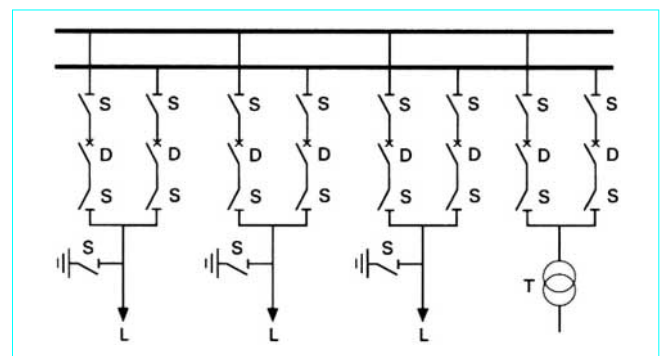


Figure 8 – Schéma à deux disjoncteurs par départ

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.

3.3 Schémas en boucle

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

3.3.1 Schéma en boucle simple

Le nombre de disjoncteurs est égal au nombre de cellules (figure 9). Les disjoncteurs doivent être calibrés pour l'intensité totale du courant les traversant.

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 (critère de fonctionnement).

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 (critère d'exploitation).

Un disjoncteur peut être retiré pour entretien mais en rompant la boucle. L'apparition d'un défaut scinderait alors le poste en deux parties.

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

3.3.2 Schéma en boucles multiples

Ce schéma (figure 10) 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).

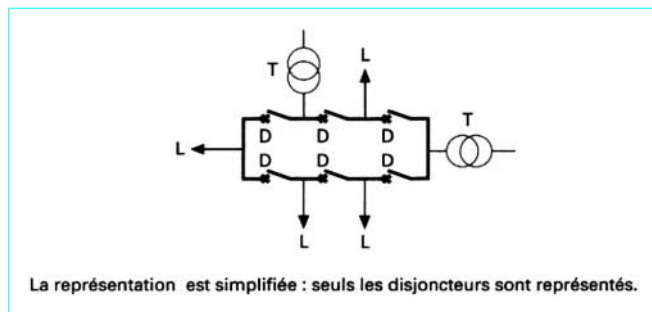


Figure 9 – Schéma en boucle simple

3.4 Schémas 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 11. En cas de défaut d'origine fugitive, les manœuvres automatiques comprennent la fermeture du court-circuiteur rapide et l'ouverture du disjoncteur shunt.

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

- re fermer 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.

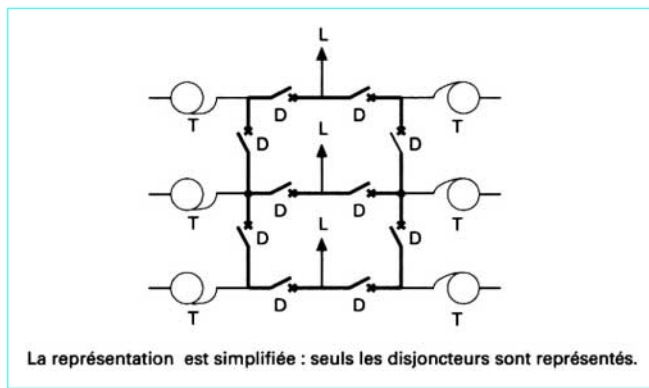


Figure 10 – Schéma en boucles multiples

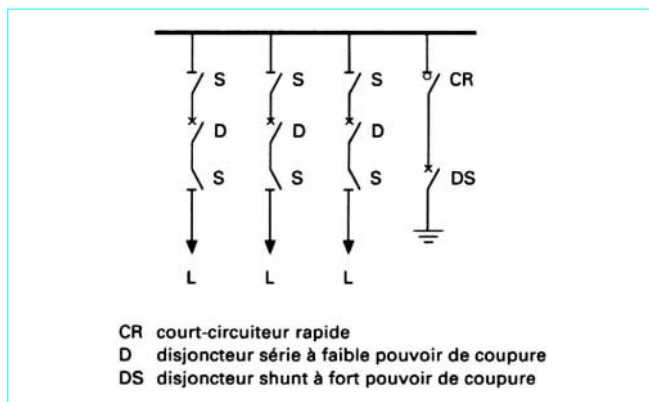


Figure 11 – Schéma avec disjoncteur shunt

3.5 Schémas 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.

3.5.1 Schéma 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 (figure 12).

La ligne est surveillée par les protections de la cellule du disjoncteur. En cas de défaut sur le transformateur, l'ordre de déclenchement est soit transmis au disjoncteur par câble pilote, soit provoqué par la fermeture d'un sectionneur unipolaire rapide de mise à la terre (SRB sur la figure 12). Ce dernier produit alors un défaut qui est détecté par les protections de la cellule.

Un défaut sur la ligne ou sur le transformateur ne permet pas d'assurer la continuité de l'approvisionnement. On dit alors que la puissance issue du transformateur n'est pas garantie.

3.5.2 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 (figure 13).

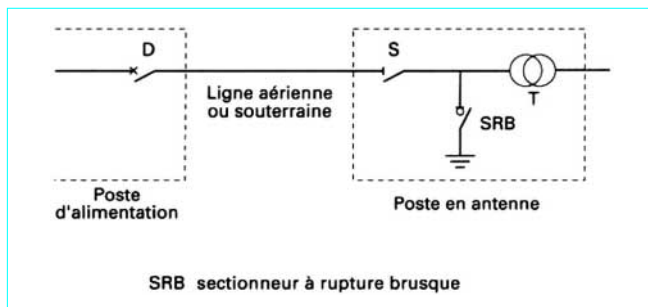


Figure 12 - Schéma en antenne simple

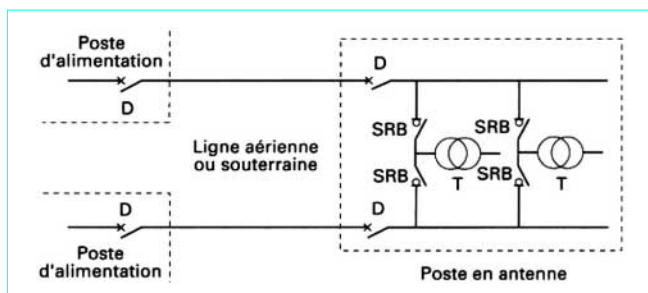


Figure 13 - Schéma en antenne double

4. Schémas électriques des postes d'Électricité de France

4.1 Généralités

En France, les fonctions de transport et d'interconnexion sont assurées essentiellement par le réseau à 400 kV, parfois encore par le réseau à 225 kV. Des transformateurs alimentent, aux tensions de 225, 90 et 63 kV, des réseaux régionaux de répartition qui fournissent l'énergie aux réseaux de distribution à moyenne tension (20 kV, essentiellement).

Une classification fonctionnelle des postes, basée sur le rôle des ouvrages, peut être détaillée comme le précise la figure 14.

■ Postes d'interconnexion à 400 kV

— **Poste O** : poste à 400 kV assurant le regroupement des puissances appelées dans les postes A et F ; c'est généralement sur ces postes que sont raccordés les groupes générateurs de grande puissance.

■ Postes de transformation 400/225 kV

— **Poste A** : poste de transformation 400/225 kV, qui assure également l'alimentation des postes B dont il constitue le regroupement des puissances appelées.

■ Postes d'alimentation régionale des réseaux de répartition

— **Poste B** : poste à 225 kV assurant le regroupement des puissances appelées dans les postes C, D et S ;

— **Poste F** : poste de soutirage sur le réseau à 400 kV et de transformation 400/90 kV ou 400/63 kV qui alimente des postes d ;

— **Poste S** : poste de transformation 225/90 kV ou 225/63 kV, qui assure l'alimentation des réseaux à 90 et 63 kV.

■ Postes d'alimentation des réseaux de distribution à moyenne tension (MT)

— **Poste C** : poste de transformation 225/20 kV ou 225/15 kV à puissance non garantie (antenne simple) ;

— **Poste D** : poste de transformation 225/20 kV ou 225/15 kV à puissance garantie (antenne double) ;

— **Poste d** : poste de transformation HT/MT.

À chaque type de poste ainsi défini correspond un schéma électrique qui sera étudié dans ce paragraphe 4 et des dispositions constructives (article *Dispositions constructives* [C 2 310] de ce traité).

Il est bien certain que l'ensemble des installations à réaliser dans le cadre d'un poste peut dépasser sensiblement celui défini dans la classification précédente. C'est ainsi que l'on peut trouver, dans une même enceinte, des postes de classifications différentes avec toutes les combinaisons nécessaires, compte tenu des conditions techniques et géographiques.

4.2 Postes d'interconnexion à 400 kV

Les critères exigés sont essentiellement la sécurité du réseau, la souplesse d'exploitation, l'aptitude à faciliter la conduite, la sûreté et le coût. Pour répondre à ces critères, on retient généralement les règles qui suivent.

■ On utilise un **poste à deux sommets** (figure 4) pour les ouvrages dont le nombre de cellules de lignes et de raccordement des transformateurs de puissance n'excède pas six.

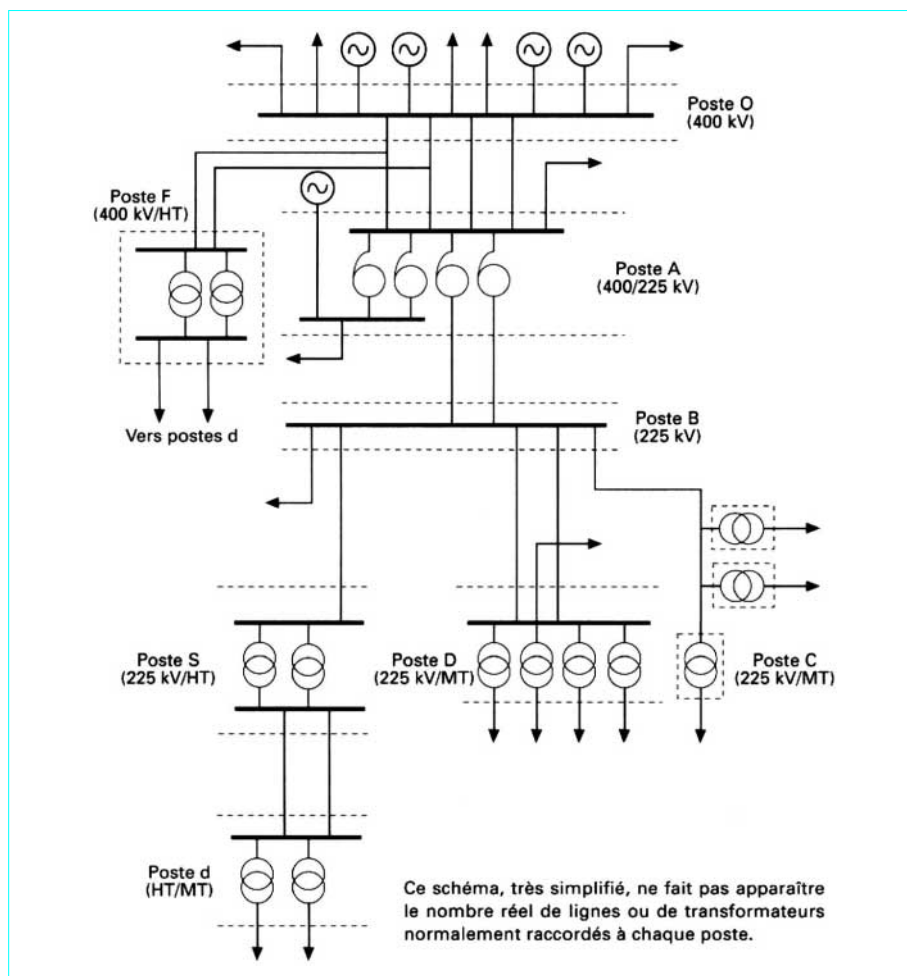


Figure 14 – Architecture de principe des réseaux THT et HT français

Ces postes comportent :

- deux jeux de barres qui peuvent être mis en parallèle par un ou deux disjoncteurs de couplage et sont éventuellement sectionnables ;
- deux sectionneurs et un disjoncteur par départ.

La présence de deux jeux de barres permet :

- la continuité du service dans le cas de l'indisponibilité de l'un d'entre eux ;
- la marche en réseau séparé avec combinaison quelconque des départs ;
- l'utilisation de la cellule de couplage pour suppléer à l'indisponibilité d'un disjoncteur de départ défaillant après shuntage de ce dernier (§ 3.1 et figure 5) ;
- la mise en parallèle aisée de groupes de départs au moyen du disjoncteur de couplage.

■ On emploie un **poste à quatre sommets** pour les ouvrages dont le nombre de cellules de lignes et de raccordement des transformateurs excède six. Ce schéma n'est autre que le schéma d'un poste à deux fois deux sommets reliés par deux tronçonnements, il forme un anneau fermé (figure 15a). Le même schéma électrique peut être réalisé en créant deux demi-postes à barres parallèles (figure 15b).

La disposition en anneau fermé est adoptée pour certains postes à 400 kV.

Outre les critères des postes à deux sommets, le schéma à barres parallèles répond alors de façon élégante au critère *facilité de raccordement d'un départ sur un sommet donné* (§ 2.3). En effet, une ligne quelconque arrivant au poste dans une situation géographique déterminée peut être raccordée à n'importe quel couple de sommets. Pour une ligne à deux circuits triphasés (ternes) arrivant au poste, ce schéma permet de raccorder sans croisement de lignes un terne sur un couple de sommets et l'autre sur l'autre couple, ce qui améliore la sécurité du réseau, tout en maintenant au même niveau les autres exigences.

■ Dans l'hypothèse où la constitution de quatre sommets est jugée insuffisante compte tenu du nombre de départs perdus lors d'un défaut de jeu de barres, on utilise un **poste à six sommets**. Ce schéma (figure 16a) comporte :

- trois jeux de barres séparés en deux sommets par des tronçonnements ;
- deux couplages qui permettent de relier entre eux deux tronçons quelconques de jeu de barres situés du même côté du tronçonnement ;
- un disjoncteur de liaison qui permet de relier entre eux deux tronçons quelconques de jeu de barres situés de part et d'autre du tronçonnement.

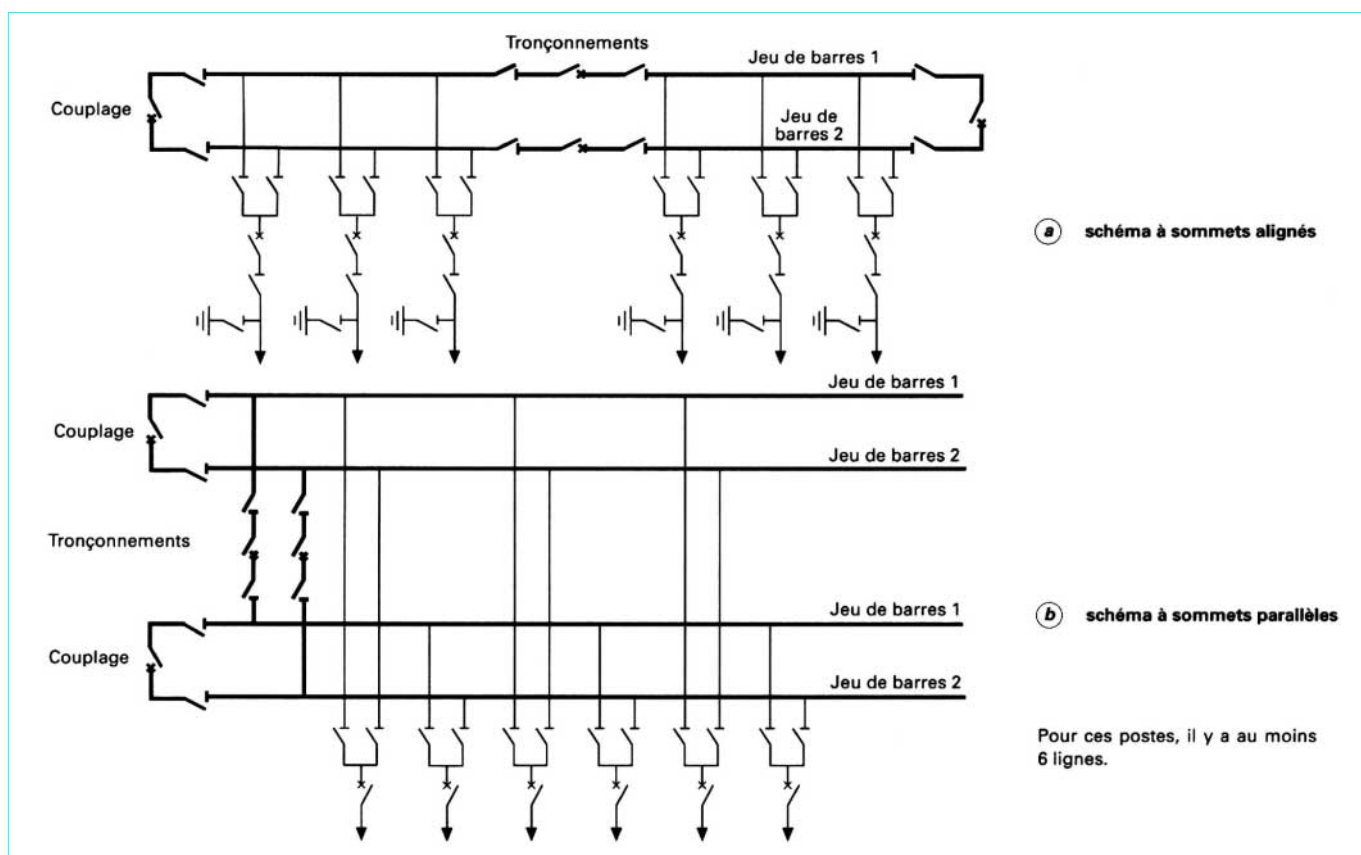


Figure 15 – Poste d'interconnexion à 400 kV à quatre sommets

Chaque ligne ou transformateur, protégé par un disjoncteur, peut être raccordé par un sectionneur à l'un quelconque des jeux de barres.

En service normal, lorsque tous les disjoncteurs sont disponibles, le poste peut être exploité en constituant les six sommets reliés par les disjoncteurs de couplage, de tronçonnement et de liaison. Si l'un de ces disjoncteurs est indisponible, le poste peut être exploité selon le principe des figures du schéma 16b.

Ce schéma, qui offre des possibilités considérables d'exploitation, a été retenu comme schéma à terme pour les grands postes à 400 kV.

■ Dans le cas particulier du **raccordement des groupes générateurs aux postes d'interconnexion**, deux fonctions doivent être prises en considération :

- le transport, après élévation de tension, de l'énergie fournie par les groupes générateurs ;
- l'alimentation des auxiliaires des groupes de telle manière que chaque groupe ait ses auxiliaires alimentés par deux sources externes distinctes ; pour cette dernière fonction, l'évacuation de l'énergie s'effectue sur une liaison à 400 kV dédiée à chaque groupe. L'alimentation des auxiliaires est assurée par :
 - un transformateur de soutirage (TS), alimenté par cette liaison,
 - un transformateur auxiliaire (TA), raccordé au réseau.

En pratique, deux cas peuvent se présenter pour le raccordement au réseau :

— lorsque le **poste est situé sur le site de la centrale** (figure 17a), par exemple à quatre groupes générateurs, huit

liaisons sont établies entre la centrale et le poste : quatre liaisons de raccordement des groupes et quatre liaisons de raccordement des transformateurs auxiliaires TA ;

— lorsque le **poste est éloigné du site de la centrale** (figure 17b), l'alimentation des transformateurs de soutirage TS reste inchangée ; en revanche, l'alimentation des transformateurs auxiliaires TA est réalisée par un piquage croisé sur les liaisons de raccordement des groupes.

Dans les deux cas de raccordement, les critères développés pour les postes d'interconnexion prennent toute leur valeur, en particulier la sécurité du réseau. Il est impératif, en effet, dans de tels postes, compte tenu des puissances installées, que tout défaut proche de la centrale soit éliminé rapidement, en ne mettant strictement hors service que la partie atteinte par le défaut. À ces critères, il faut ajouter celui concernant la sûreté d'alimentation des auxiliaires de la centrale qui implique, au niveau du poste, de choisir un schéma excluant la possibilité d'un défaut de mode commun entre un groupe et son alimentation auxiliaire.

Le schéma à quatre sommets, à couples de sommets parallèles (figure 15b), répond bien à la fois aux critères de sécurité du réseau (§ 2.1) et de sûreté d'alimentation des auxiliaires (§ 2.5).

On voit en effet (figure 17), dans ces conditions :

- que chaque groupe peut être raccordé à un sommet différent ;
- que la liaison de raccordement du groupe et la liaison de raccordement du transformateur auxiliaire correspondante peuvent être raccordées, dans tous les cas, sur deux sommets non adjacents du poste.

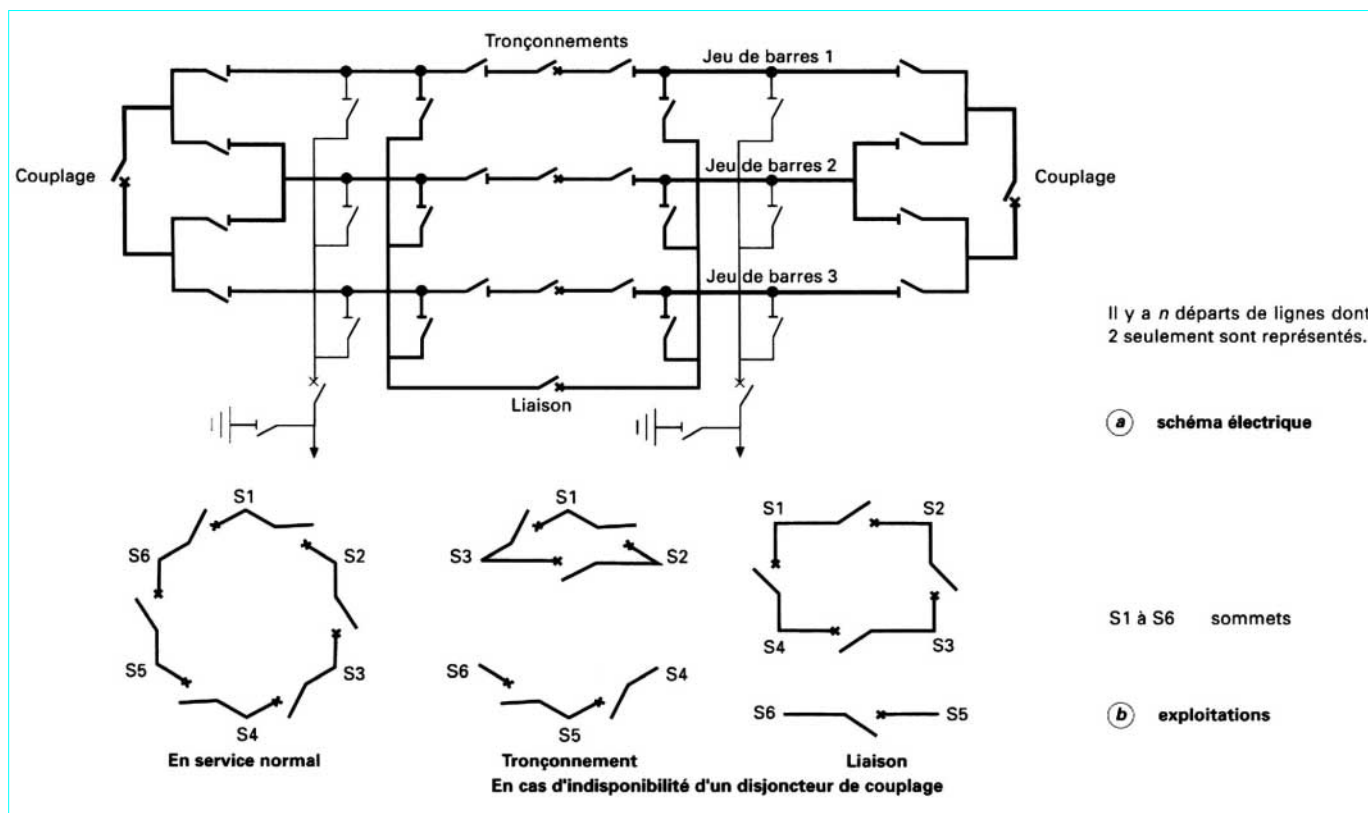


Figure 16 – Poste d’interconnexion à 400 kV à six sommets

La disposition à deux couples de sommets parallèles permet, en outre, d’éviter tout croisement des liaisons entre la centrale et le poste.

4.3 Postes de transformation 400/225 kV

Ces postes ont un rôle de transformation de l’énergie issue du réseau à 400 kV (figure 14, poste A) et fréquemment un rôle d’interconnexion en 400 et 225 kV (figure 14, postes O et B). De ce fait, ils répondent globalement aux mêmes critères que les postes d’interconnexion à 400 kV.

En 400 kV, leur schéma électrique est donc identique à ceux des postes d’interconnexion à 400 kV (§ 4.2). Toutefois, pour les postes à quatre sommets dont la fonction d’interconnexion n’est pas déterminante, le critère de facilité de raccordement d’un départ sur un sommet donné n’a pas été jusqu’ici jugé comme un critère prépondérant ; on emploie alors un schéma en forme d’anneau fermé dans lequel les deux couples de sommets sont alignés (figure 15a).

En 225 kV, on peut trouver des schémas à deux jeux de barres en forme d’anneau fermé avec ou sans tronçonnement, voire des schémas à trois jeux de barres avec sectionnement pour les postes les plus importants.

4.4 Postes d’alimentation régionale

4.4.1 Postes de soutirage 400 kV/HT

La vocation des postes de soutirage (figure 14, poste F et figure 18) est, rappelons-le, l’alimentation des réseaux HT (90 ou 63 kV) régionaux à partir du réseau à 400 kV par une transformation directe de 400 kV en HT. Ils sont alimentés par deux circuits à 400 kV, qui sont :

- soit issus d’un poste d’interconnexion à 400 kV ;
- soit raccordés sur une ligne d’interconnexion à 400 kV reliant deux postes (cas de la figure 14).

Ces postes permettent de réduire la longueur des lignes à construire et d’éviter un échelon de tension intermédiaire (225 kV). Ils sont donc souvent avantageux d’un point de vue économique. En contrepartie, ce type de raccordement est contraignant sur le plan de la protection des ouvrages, de la qualité de service et en cas d’indisponibilité.

Il a été retenu un schéma en boucle ouverte qui permet de minimiser l’incidence des postes de soutirage sur la sûreté de fonctionnement du réseau de transport et de répondre aux critères relatifs à la qualité du service et au coût.

Le schéma de la figure 19 montre les étapes d’équipement d’un poste de soutirage à 400 kV/HT qui peut comprendre jusqu’à trois transformateurs 400 kV/HT de 150 ou 240 MVA.

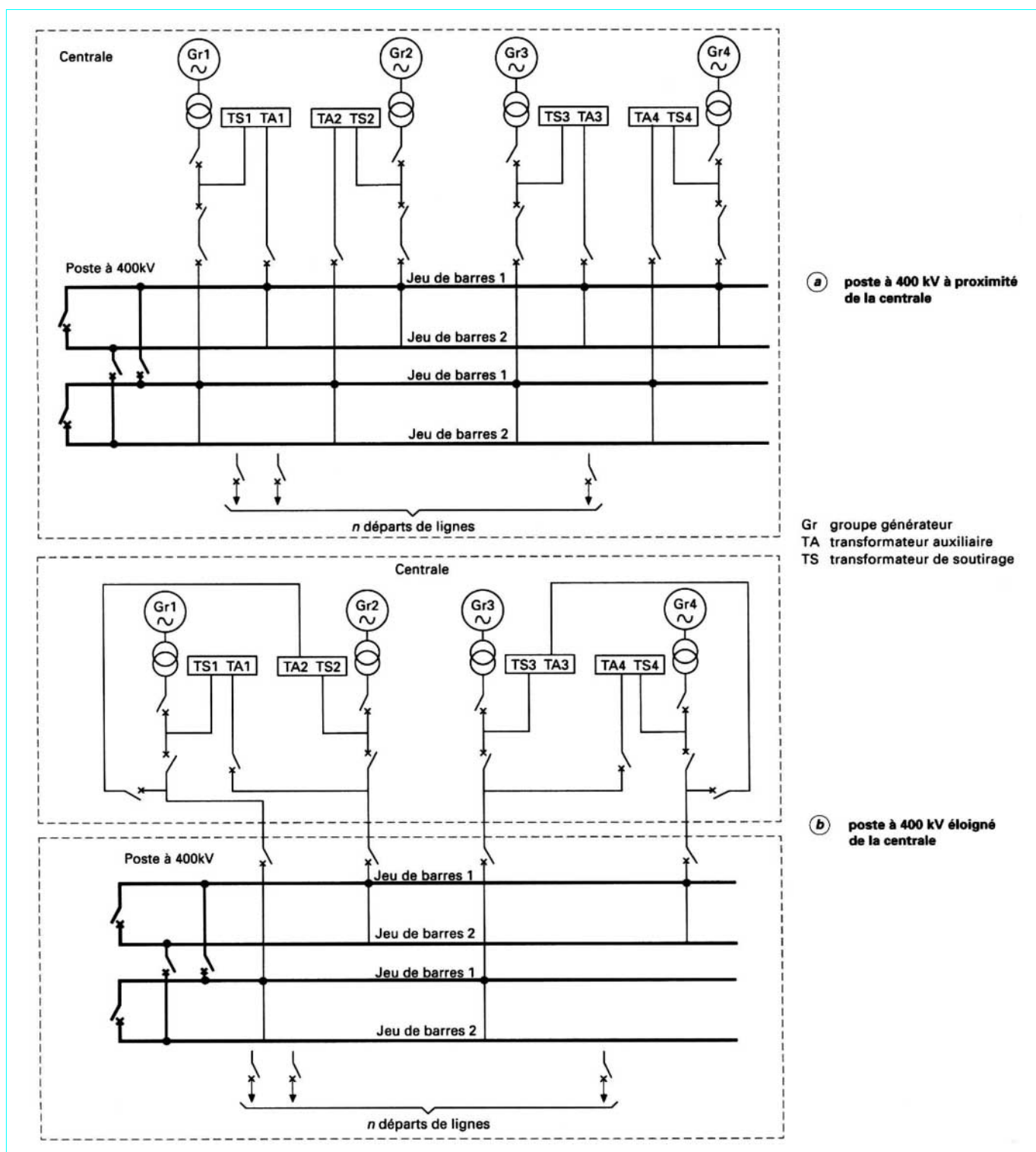


Figure 17 - Schémas simplifiés de raccordement d'une centrale au réseau

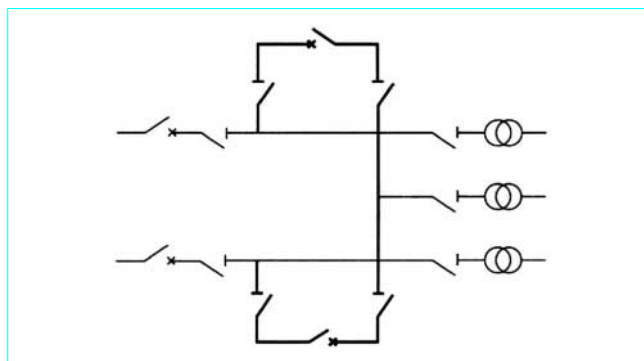


Figure 18 – Poste de soutirage 400 kV/HT

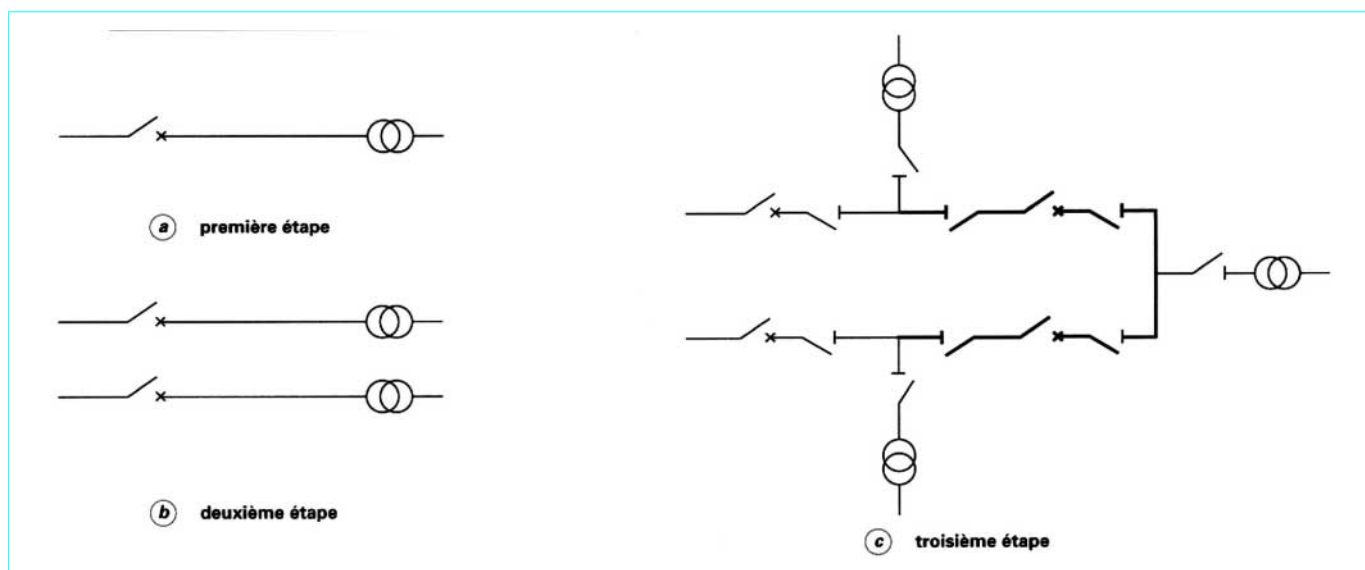


Figure 19 – Étapes d'équipement d'un poste de soutirage 400 kV/HT

4.4.2 Postes de transformation 225 kV/HT

Les postes de transformation 225 kV/HT (figure 14, poste S et figure 20) assurent l'alimentation des réseaux de répartition à 90 ou 63 kV et, éventuellement, l'alimentation directe des abonnés HT.

L'échelon à 225 kV est généralement équipé en première étape d'un seul jeu de barres avec sectionnement, la place nécessaire au deuxième jeu de barres étant réservée jusqu'à l'installation du deuxième transformateur. L'échelon à haute tension comprend fréquemment, dès la première étape, deux jeux de barres avec ou sans sectionnement.

Un poste S peut comporter :

- trois transformateurs de 70, 100 ou 170 MVA ;
- dix cellules de lignes à 225 kV ;
- dix-huit cellules de lignes à 90 ou 63 kV.

4.5 Postes d'alimentation des réseaux à moyenne tension

4.5.1 Postes C

Ces postes (figures 14 et 21), qui assurent l'alimentation du réseau intra-muros à 20 kV de Paris, forment un chapelet de transformations raccordées sur une source unique issue d'un poste à 225 kV. De ce fait, la puissance issue des transformateurs n'est pas garantie en 225 kV, elle l'est en revanche par un maillage du réseau à 20 kV. Les transformateurs sont alimentés par des câbles souterrains, à partir d'un poste B (225 kV) dans lequel se trouve le disjoncteur de protection de la chaîne de postes C.

4.5.2 Postes D

Ces ouvrages (figures 14 et 22), qui assurent l'alimentation du réseau à 20 kV des zones urbaines à partir du réseau à 225 kV, sont à puissance garantie, c'est-à-dire qu'ils doivent fournir une sécurité d'alimentation grâce à une redondance des composants : par exemple, il est nécessaire de disposer d'au moins deux sources indépendantes à 225 kV.

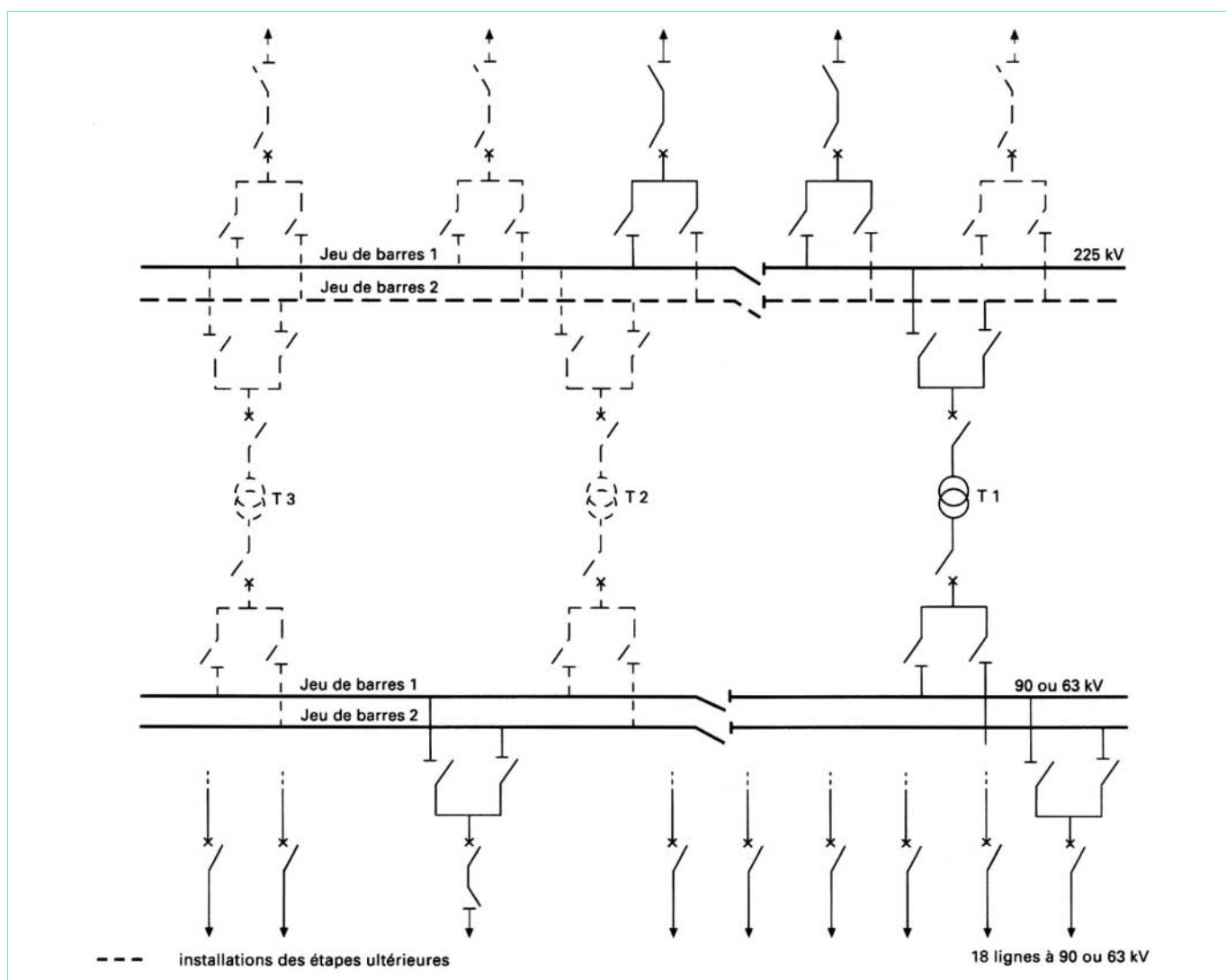


Figure 20 - Poste 225 kV/HT d'alimentation du réseau de répartition

Un schéma en antenne a été retenu pour ces postes qui peuvent être classés en deux catégories : ceux à deux départs de ligne en étape finale (figure 22a) et ceux à trois départs de la ligne (figure 22b). Une seule architecture initiale permet d'évoluer indépendamment vers l'un ou l'autre des schémas de façon à ne pas être obligé de faire un choix définitif dès la première étape de réalisation du poste. Le nombre maximal de transformateurs pouvant être installé dans ces postes est de quatre, la puissance maximale de transformation est de 320 MVA.

De façon à réduire le nombre et la longueur des lignes à 225 kV, il est intéressant de constituer des chaînes avec des postes D suivant le schéma de la figure 23 plutôt que d'alimenter ces postes par des sources distinctes.

4.5.3 Postes d

Les transformations HT/MT peuvent être situées dans différents types de postes et notamment dans ceux de type S. Cependant, les postes 63 kV/MT et 90 kV/MT les plus répandus sont ceux de type d (figure 24).

En première étape, ils ne sont en général pas garantis en HT, le réseau MT assurant le secours. Cependant, dès que la puissance à desservir augmente, un nouveau transformateur et de nouvelles lignes HT sont installés pour permettre d'assurer l'alimentation, même en cas d'incident sur un élément du réseau. Un poste entièrement équipé comprend le plus souvent :

- 1 jeu de barres sectionnable en trois parties ;
- 2 transformateurs (20 ou 36 MVA) ;
- 2 ou 3 cellules de raccordement de lignes.

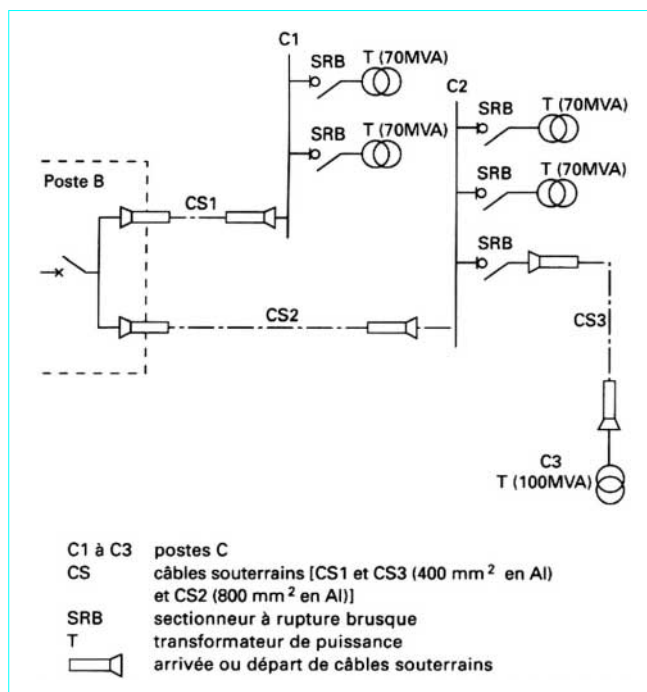


Figure 21 - Postes C

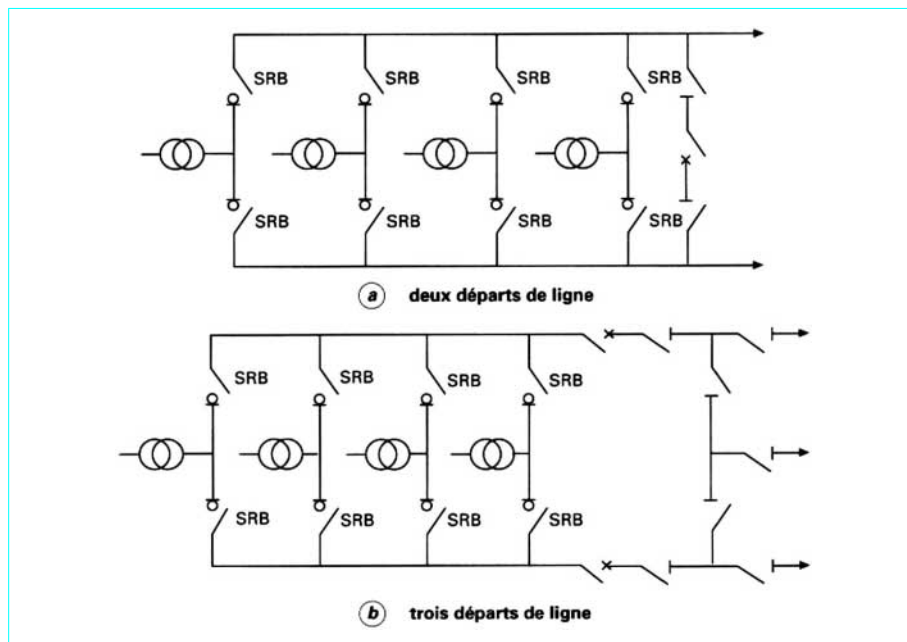


Figure 22 - Poste D

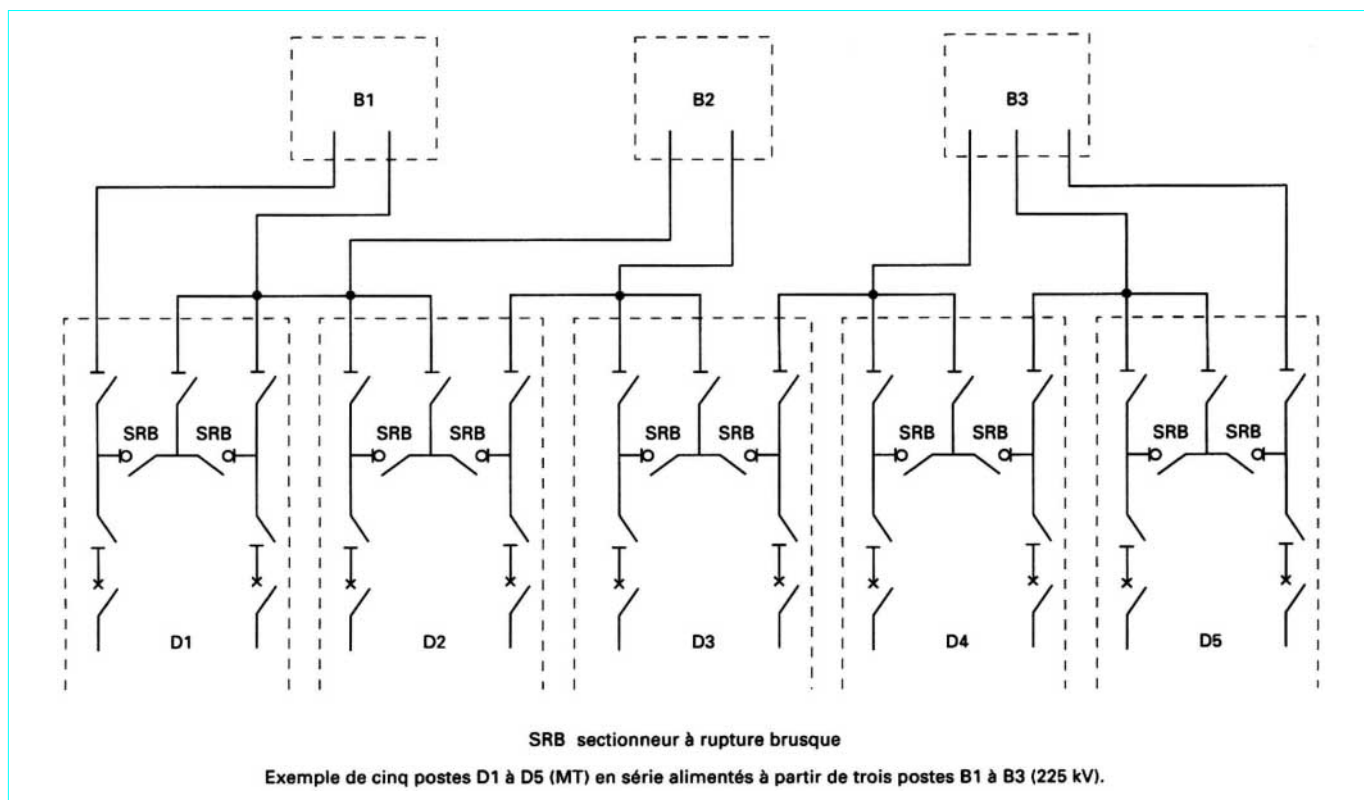


Figure 23 - Alimentation d'une chaîne de postes D

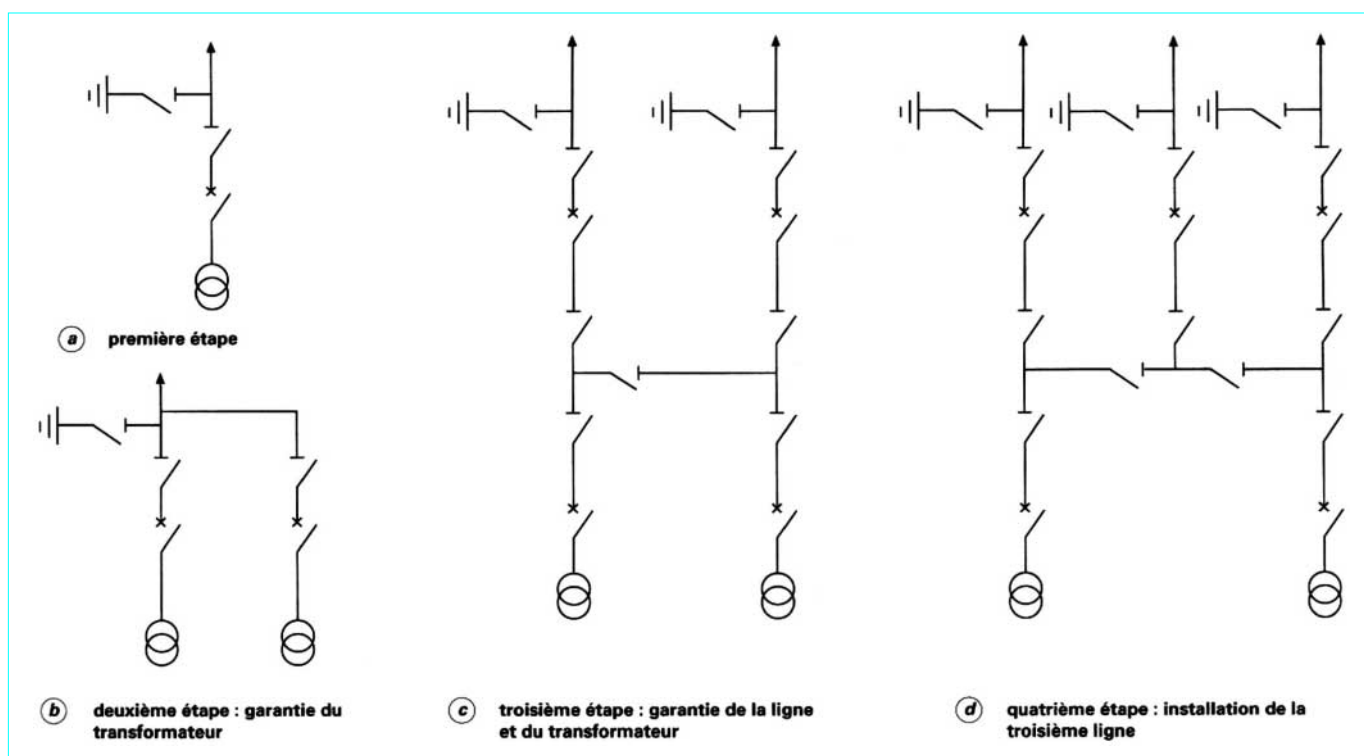


Figure 24 - Postes d