

# CHAPITRE I

## GENERALITES

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.

Edison a été un pionnier dans la réalisation des premiers réseaux électriques en courant continu.

À l'automne 1882, le premier réseau électrique apparaît à New York. Il est très local et utilise le courant continu. Thomas Edison a joué un rôle déterminant dans le développement de ce réseau.

En 1884 un transformateur de forte puissance utilisant du courant triphasé a été mis au point, ce qui permet de changer facilement le niveau de tension. La même année on met en service une ligne de 80 km de long alimenté en courant alternatif sous 2 000 V.

En 1891 la première installation triphasée est mise en place entre Francfort et une centrale hydraulique, avec une ligne de 175 km.

Le courant alternatif triphasé a été imposé universellement comme moyen de transport de l'énergie électrique, mieux adapté à cette époque au transport sur de longues distances.

Néanmoins, à la fin du xxe siècle, alors que l'interconnexion à échelles pan-continentales se développe, les progrès techniques redonnent un intérêt au courant continu haute tension (CCHT) pour un transport longue distance gaspillant moins d'énergie avec moins de pertes en ligne.

### **Interconnexion progressive des réseaux**

L'interconnexion électrique a été progressive. À la fin du XIXe et au début du xxe siècle, les usages de l'électricité se multiplient, aussi bien au niveau domestique qu'industriel (notamment l'électrification des chemins de fer). Dans chaque grande ville s'implantent des compagnies d'électricité. Ces dernières construisent des centrales électriques et de petits réseaux locaux, chacun utilisant des fréquences et des niveaux de tension différents. Les opérateurs se rendent compte tardivement de l'intérêt d'utiliser une fréquence unique (indispensable à l'interconnexion des réseaux), et l'on voit apparaître finalement deux standards de fréquence : le 60 Hz sur la majorité du continent américain et le 50 Hz quasiment partout dans le reste du monde.

Dans la première moitié du xxe siècle, les réseaux urbains des pays industrialisés grandissent pour notamment électrifier les campagnes. Parallèlement, ils s'interconnectent au niveau régional, permettant des économies d'échelle sur la taille des centrales de production et de mieux valoriser des ressources énergétiques géographiquement localisées, comme la production

hydraulique essentiellement produite en montagne, loin des grands centres de consommation. Alors qu'augmentaient les puissances appelées et les distances des lignes d'interconnexion, la tension d'exploitation des lignes a aussi augmenté (1re ligne à 220 kV construite en 1923 aux États-Unis, celle à 380 kV en 1930 en Allemagne). L'apparition en 1937 du premier turbo-alternateur refroidi à l'hydrogène, d'une puissance de 100 MW, ouvre la voie des centrales électriques de forte puissance.

Dans les années 1950, les compagnies européennes se coordonnent pour uniformiser les tensions des réseaux de transports à 400 kV.

Dans la deuxième moitié du xxe siècle, les interconnexions intra-nationales accompagnent le développement des interconnexions transnationales, principalement pour créer des capacités de secours mutuel entre opérateurs et pour améliorer la stabilité globale des réseaux électriques.

Les réseaux du xxie siècle sont confrontés à de nouveaux défis :

-accueillir simultanément, sans diminuer significativement la sûreté et la qualité de fonctionnement du réseau, des unités de production stables et commandables (électricité hydroélectrique ou issue de centrales thermiques) ainsi que sources moins prévisibles et souvent pas ou très peu commandables, comme l'énergie solaire ou l'énergie éolienne.

-faciliter l'interaction entre les consommateurs et le système électrique notamment pour adapter la demande aux capacités de production lorsque cela est nécessaire.

-être plus économes en ressources non renouvelables qu'il s'agisse des matériaux pour leur construction et des pertes qu'ils entraînent.

-accueillir de nouveaux usages comme le véhicule électrique.

À ces sujets, les prospectivistes annoncent un réseau intelligent (Smart grid) plus souple et capable de mieux intégrer les sources d'énergies propres et sûres, mais diffuses et non continues telles que l'éolien et le solaire.

## Choix stratégiques

Un réseau électrique est tout d'abord défini par le type de courant électrique qu'il utilise. Ensuite, lors de l'exploitation des réseaux, certaines grandeurs électriques doivent être surveillées régulièrement pour s'assurer que les conditions d'exploitation sont bien respectées.

Les réseaux électriques actuels utilisent un courant alternatif triphasé sinusoïdal. Ce choix décisif découle d'un ensemble de raisons que nous présentons ici.

### Nécessité de transporter l'électricité à une tension élevée

De la sortie de la centrale électrique au compteur de l'utilisateur final, l'électricité doit transiter sur un réseau électrique. Ces réseaux possèdent souvent la même structure d'un pays à l'autre, car le transport de fortes puissances sur de longues distances impose la minimisation de l'effet Joule.

Les pertes Joule causées par le transport d'une puissance  $S$  dans une ligne de résistance  $R$  à une tension  $U$  sont données par

$$\Delta P = R (S / U)^2$$

Pour une même puissance électrique transmise par la ligne et à résistance égale, les pertes par effet Joule diminuent donc comme le carré de la tension. Ainsi, une ligne d'une centaine de km avec une

résistance de  $10 \Omega$  par phase sur laquelle circule 400 MVA entraînerait environ 30 MW de pertes Joule si elle était exploitée à 220 kV, mais seulement 10 MW si elle était exploitée à 400 kV. Il faut donc des transformateurs, donc des courants alternatifs.

Les coûts de construction d'une ligne à 400 kV, 20 kV ou 230 V sont cependant très différents. Il faut donc trouver un optimum technico-économique entre les différents niveaux de tension, au vu du gain espéré (relatif à la diminution des pertes par effet Joule). On arrive ainsi à une structure multicouches des réseaux électriques, avec les réseaux transportant de grandes quantités d'énergie exploités à des tensions de plusieurs centaines de kilovolts, et la tension diminuant au fur et à mesure que les puissances transportées décroissent.

### **Système monophasé ou triphasé?**

-Un alternateur de très forte puissance ne peut pas fonctionner en produisant un courant monophasé car la puissance fluctuante qui en résulte provoque une destruction de l'arbre de liaison entre l'alternateur et la source d'énergie mécanique qui le met en rotation.

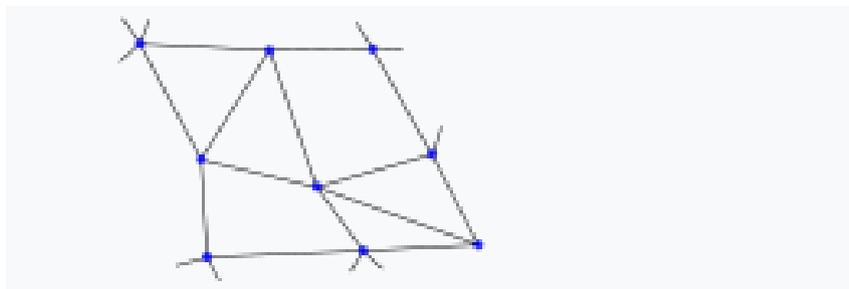
-Le transport d'une même puissance électrique en triphasé (sans neutre) nécessite une section de câbles conducteurs deux fois plus faible qu'en monophasé. L'économie qui en découle sur le coût de réalisation des lignes est notable.

-Les courants triphasés peuvent produire des champs magnétiques tournants en répartissant d'une manière spécifique les bobinages sur un rotor.

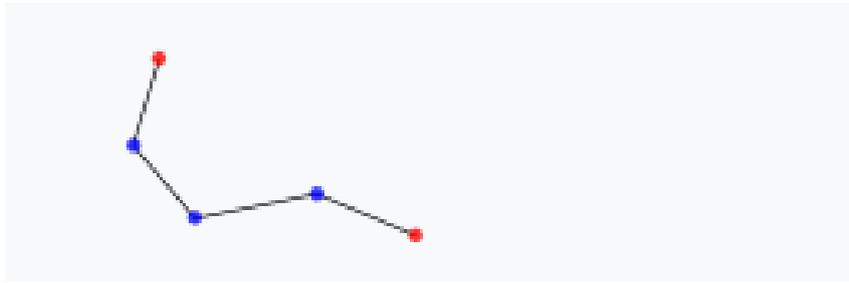
### **Structure des réseaux électriques**

Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures exposées ci-dessous :

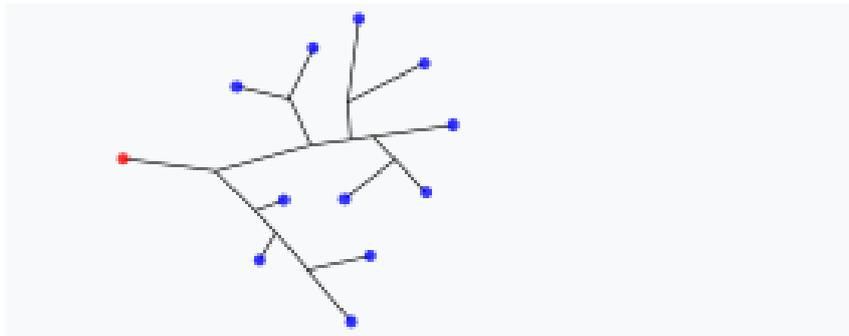
Structure maillée : les postes électriques sont reliés entre eux par de nombreuses lignes électriques, apportant une grande sécurité d'alimentation.



Structure radiale ou bouclée (les postes rouges représentent les apports d'énergie) : la sécurité d'alimentation, bien qu'inférieure à celle de la structure maillée, reste élevée.



Structure arborescente (le poste rouge représente l'apport d'énergie) : la sécurité d'alimentation est faible puisqu'un défaut sur la ligne ou sur le poste rouge coupe l'ensemble des clients en aval.



Chaque type de structure possède des spécificités et des modes d'exploitation très différents. Les grands réseaux d'énergie utilisent tous ces types de structure. Dans les niveaux de tension les plus élevés, on utilise la structure maillée : c'est le réseau de transport. Dans les niveaux de tension inférieurs, la structure bouclée est utilisée en parallèle de la structure maillée : c'est le réseau de répartition. Enfin, pour les plus bas niveaux de tension, la structure arborescente est quasiment exclusivement utilisée : c'est le réseau de distribution.

## Réseau de transport

Les réseaux de transport sont à haute tension (HTB) (de 50 kV à 400 kV) et ont pour but de transporter l'énergie des grands centres de production vers les régions consommatrices d'électricité. Les grandes puissances transitées imposent des lignes électriques de forte capacité de transit, ainsi qu'une structure maillée (ou interconnectée). Les réseaux maillés garantissent une très bonne sécurité d'alimentation, car la perte de n'importe quel élément (ligne électrique, transformateur ou groupe de production) n'entraîne aucune coupure d'électricité si l'exploitant du réseau de transport respecte la règle dite du "N-1" (possibilité de perdre n'importe quel élément du réseau sans conséquences inacceptables pour les consommateurs).

## Réseau de répartition

Les réseaux de répartition sont à haute tension (de l'ordre de 30 à 150 kV) et ont pour but d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie y est injectée essentiellement par le réseau de transport via des transformateurs, mais également par des centrales électriques de moyennes puissances (inférieures à environ 100 MW). Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez

homogène sur le territoire d'une région. Ils ont une structure à la fois maillée et bouclée suivant les régions considérées.

## **Réseau de distribution**

Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Il existe deux sous niveaux de tension :

- les réseaux moyenne tension (HTA de 1 à 50 kV) ;
- les réseaux basse tension (BT de 50 à 1 000 V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs (entreprises et locaux d'habitations).

Contrairement aux réseaux de transport et répartition, les réseaux de distribution présentent une grande diversité de solutions techniques à la fois selon les pays concernés, ainsi que selon la densité de population.

Les réseaux à moyenne tension (HTA) ont de façon très majoritaire une structure arborescente, qui autorise des protections simples et peu coûteuses : à partir d'un poste source (lui-même alimenté par le réseau de répartition), l'électricité parcourt une artère (ou ossature) sur laquelle sont reliées directement des branches de dérivation au bout desquelles se trouvent les postes HTA/BT de distribution publique, qui alimentent les réseaux basse tension (BT) sur lesquels sont raccordés les plus petits consommateurs. La structure arborescente de ces réseaux implique qu'un défaut sur une ligne électrique HTA entraînera forcément la coupure des clients alimentés par cette ligne, même si des possibilités de secours plus ou moins rapides existent.

Les réseaux HTA aériens sont majoritaires en zone rurale, où la structure arborescente prédomine largement. Par contre en zone urbaine les contraintes d'encombrement, d'esthétique et de sécurité conduisent à une utilisation massive des câbles souterrains. Les réseaux souterrains étant soumis potentiellement à de longues indisponibilités en cas d'avarie (plusieurs dizaines d'heures), il est fait appel à des structures en double dérivation ou à des structures radiales débouclées munies d'appareils automatiques de réalimentation, permettant une meilleure sécurité d'alimentation.