

Chapitre 1

Eléments de base d'un réseau électrique

1. Introduction

Le geste d'appuyer sur un interrupteur pour allumer une lampe ou faire fonctionner un téléviseur ou faire tourner un moteur est très simple mais comment cette énergie si utile et voire même inévitable est parvenue à nos maisons et nos usines ?

Pour répondre à cette question il faut savoir que nous 'clients ou abonnés', nous représentons le dernier élément de tout un système appelé réseau électrique.

Dans ce cours, nous allons présenter les différents éléments du réseau électrique en se basant sur les plus importants.

2. Définition

Un réseau électrique est un système de provisionnement de l'énergie électrique composé par de unités de production dites centrales électriques de natures diverses et des consommateurs dits clients ou abonnés via des lignes de transmission pourvu de plusieurs accessoires pour assurer la continuité de service et une bonne qualité de l'énergie comme les transformateurs, les compensateurs et les systèmes de protection.

3. Structure générale d'un réseau électrique

Généralement un réseau électrique est composé par les compartiments suivants :



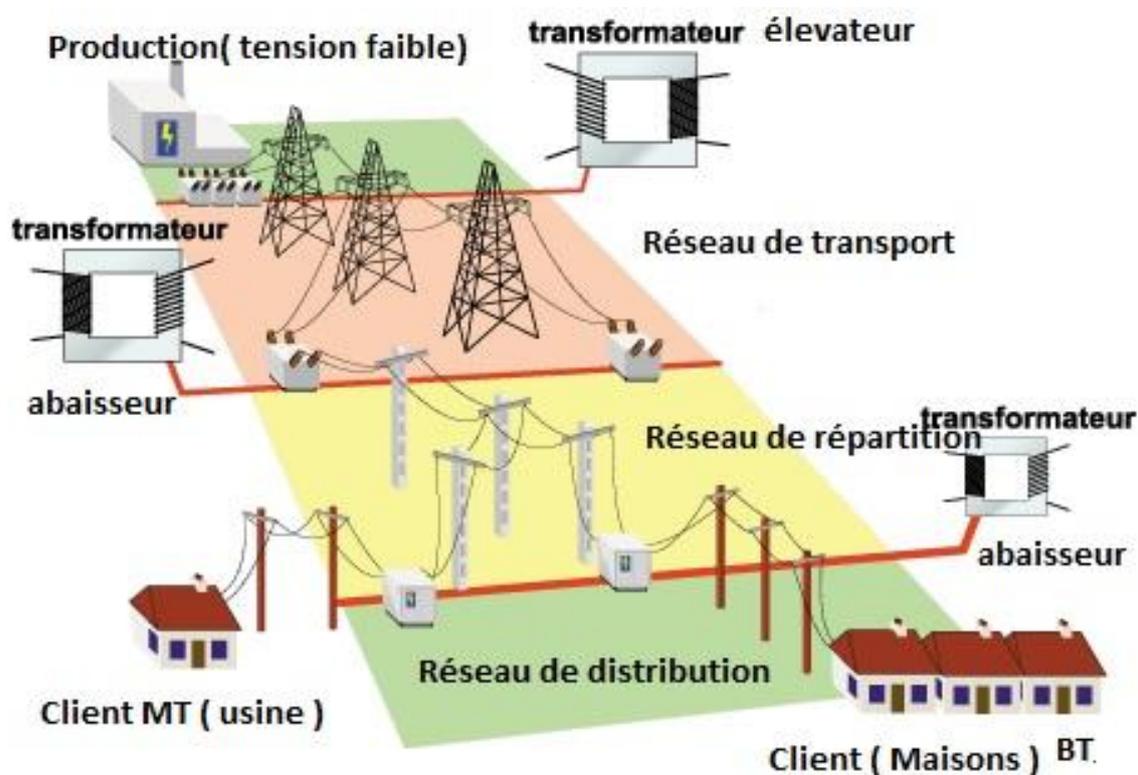


Figure 1 : Schéma du modèle général de réseau électrique

4. Besoin de transformation

4.1 Transformateur élévateur

Les centrales électriques se trouvent généralement très lointaines de lieux de consommation à cause de la position des sources, d'où le besoin de faire transporter cette énergie à des distances importantes mais malheureusement les chutes de tensions dans les lignes seront très grandes à cause des tensions faibles à la sortie des génératrices des centrales entre 10 et 20 kV d'où des courants d'intensités très grandes.

Pour remédier à ce problème on doit diminuer les courants en élevant la tension de transport ce qui justifie le recours au transformateur élévateur en très haute (220 kV ou 400 kV et ultra tension selon le besoin).

4.2 Transformateurs abaisseurs

En s'approchant des agglomérations nous devons abaisser la tension pour des causes sécuritaire et fonctionnelle, cette opération se fait dans des centres de répartition d'où le nom de cette phase est répartition.

D'une façon similaire, à l'entrée des agglomérations, on diminue les tensions afin de distribuer l'électricité à des clients ordinaires en basse tension.

Les réseaux de distribution de l'électricité acheminent l'énergie électrique jusque chez les particuliers, mais aussi chez les artisans, PME et petites industries.

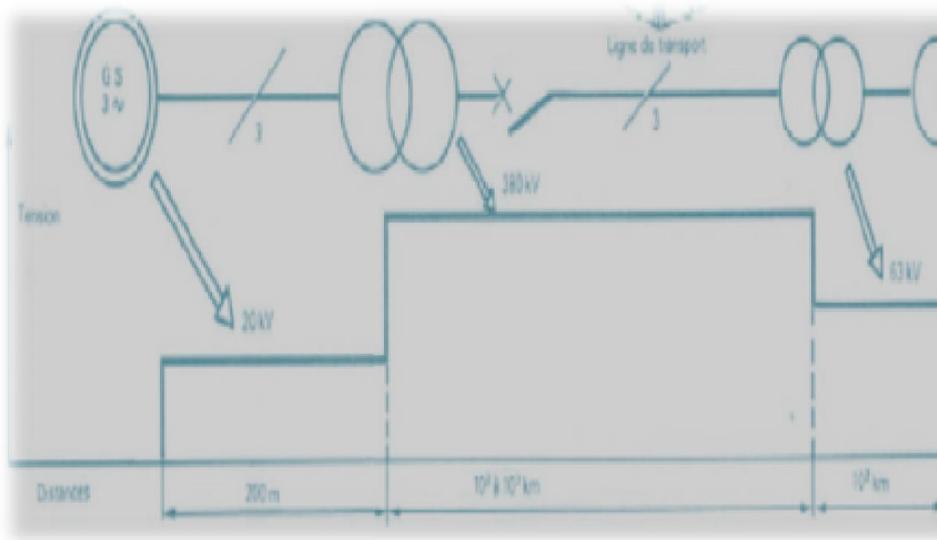


Figure 2 : Schéma du structure générale de réseau électrique

5. Eléments principaux du réseau électrique

2 Fonctionnement d'une centrale

Le système électrique constitué d'abord de l'ensemble des moyens de production que sont les centrales de divers types, situées en différents lieux d'un territoire, ensuite d'un réseau de transport par lequel l'énergie est transmise des centrales aux zones de consommation comme le montre la figure (2).

A l'exception de la centrale photovoltaïque, tous les autres types de centrales produisent l'électricité à partir du principe dit "dynamo" où un débit de fluide crée un couple mécanique appliqué sur l'arbre du rotor faisant tourner celui-ci sous un champ magnétique produit au niveau du stator à l'aide d'une source d'excitation généralement indépendante d'où le stator sera le siège d'une force électromotrice (f.é.m.).

Afin d'avoir des tensions et des fréquences tolérables assurant une certaine stabilité ; il a fallu contrôler ces paramètres en les comparant avec leurs valeurs de référence. Les grandeurs électriques (V , I , P , Q) sont mesurées grâce à des éléments de mesure.

Le contrôle de la tension en module est assuré par le contrôle de l'excitation (source d'énergie réactive) en variant le courant d'excitation, ce qui provoquera une variation de champ magnétique au niveau du stator donnant comme résultat la variation de la tension, ce contrôle est assuré par l'AVR (Automatic Voltage Regulator).

Par contre la tâche du contrôle de l'angle (fréquence) est confiée au gouverneur où la puissance électrique est comparée à une puissance de référence. Cette variation est traduite par une variation d'ouverture d'électrovanne afin de contrôler le débit de fluide de la turbine

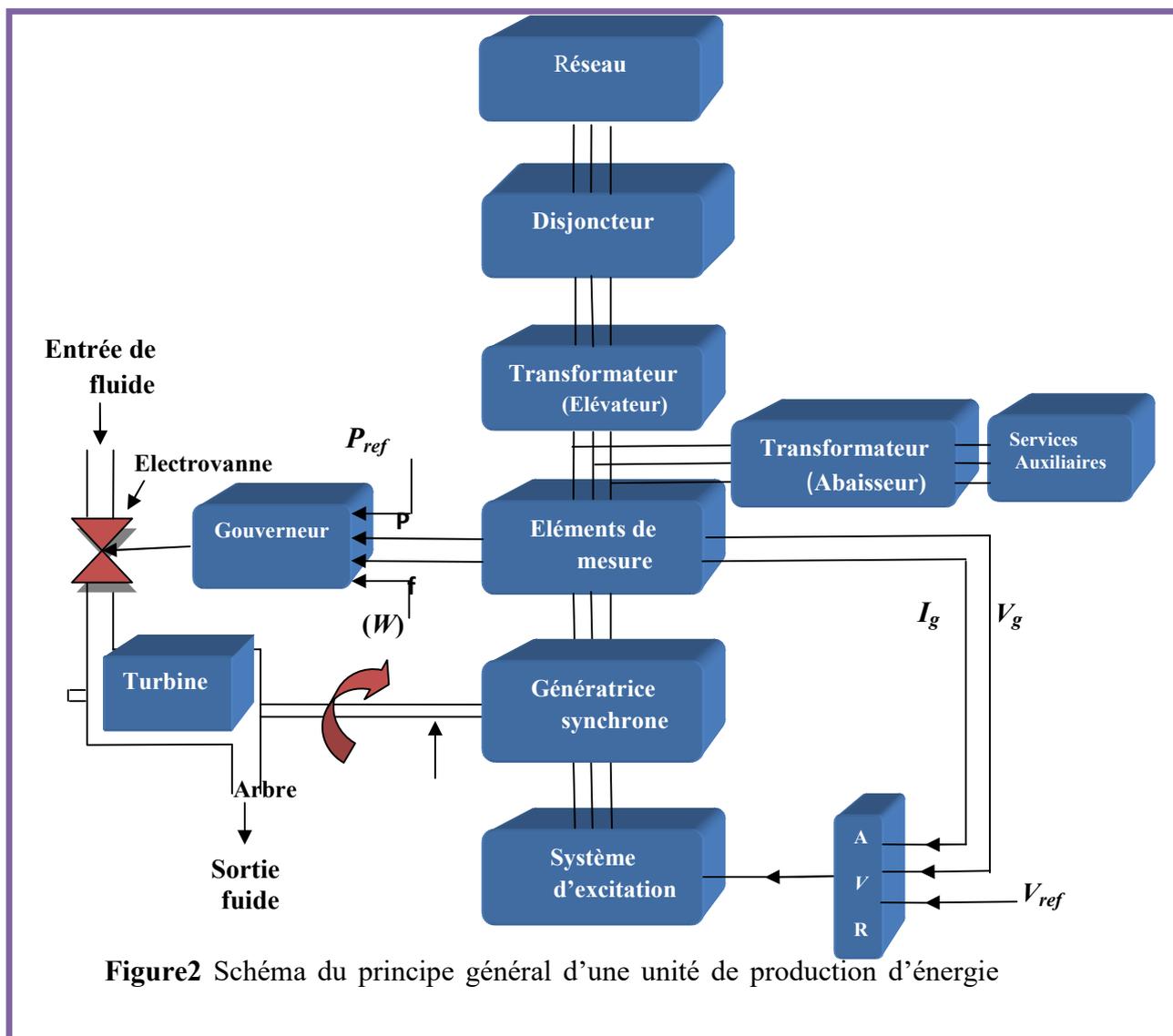


Figure2 Schéma du principe général d'une unité de production d'énergie

1.1 Générateur

Les générateurs synchrones participent de façon extrêmement importante aux phénomènes dynamiques et à la qualité globale de l'alimentation en énergie. Il est donc nécessaire de développer des modèles pratiques et réalistes des machines synchrones.

Le modèle du générateur et de ses contrôles se limite habituellement aux équations différentielles ordinaires couplées entre elles via les équations algébriques du réseau de transport. Chaque équation différentielle exprime la dérivée d'une variable d'état (tels l'angle de rotor, la tension d'excitation,...) en fonction d'autres variables d'état et variables algébriques. Le nombre d'équations différentielles décrivant le modèle du générateur définit l'ordre du modèle. Il existe plusieurs modèles, allant du plus simple, le modèle classique représentant seulement les caractéristiques électromécaniques du générateur, au plus complexe, à savoir le modèle du huitième ordre tenant compte de tous les circuits de rotor, de stator, d'amortissement et de champ de saturation .

1.4 Modèle de transformateurs

Le transformateur permet d'élever l'amplitude de la tension alternative disponible à la sortie de l'unité de production pour l'amener aux niveaux requis pour le transport. A l'autre extrémité de la chaîne, côté consommateurs, les transformateurs sont utilisés pour abaisser la tension et la ramener aux valeurs utilisées dans les réseaux de distribution -BT-. Outre la transmission de l'énergie électrique avec modification des tensions, les transformateurs peuvent être utilisés pour contrôler les tensions de nœuds des réseaux. Ce contrôle de tension utilise la variation du nombre de spire des transformateurs. La figure (I.3) montre le schéma équivalent du transformateur (sans circuit magnétique) : il est doté de plusieurs prises (côté haute tension) permettant de modifier le nombre de spires du primaire. L'impédance Z_T correspond à l'impédance équivalente totale vue du primaire .

Dans certains transformateurs, la modification de spires requiert de mettre l'appareil hors-service et de changer manuellement les connexions. Plus généralement, cette modification peut être effectuée en charge c'est à dire sans interrompre le courant qui parcourt l'enroulement dont on modifie le nombre de spires. Le dispositif correspondant, appelé régleur en charge, comporte un contacteur conçu pour éviter la formation d'arcs électriques (susceptibles d'endommager les contacts) et un moteur électrique pour entraîner ce contacteur.

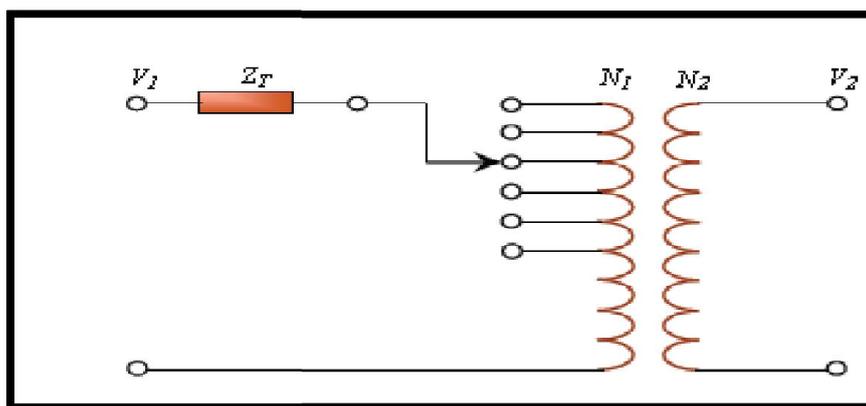


Figure 3 Modèle simplifié du transformateur

Si N_1 est le nombre de spires côté haute tension et N_2 est le nombre de spires côté basse tension, le rapport de transformation M est défini par :

$$M = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad (2)$$

La relation entre la tension du côté primaire V_1 et la tension du côté secondaire V_2 à vide est:

$$V_2 = \left(\frac{V_1}{M} \right) \quad (3)$$

1.5 Modèle des lignes de transport

Les réseaux de transport assurent la liaison entre les centres de production et les zones de consommation. Ils permettent aussi d'échanger de la puissance à travers les lignes d'interconnexion, entre pays ou grandes zones relevant de gestionnaires de réseaux différents.

Les modèles des lignes de transmission utilisés dans l'analyse dynamique des réseaux électriques sont habituellement classés en trois groupes, en fonction des longueurs des lignes (l), (longues, moyennes et courtes) [KAL 09]

Compte tenu des longueurs et de la fréquence de fonctionnement, typiquement 50-60 Hz, une ligne de transmission se caractérise par un modèle à constantes localisées (les phénomènes de propagation sont négligés car $l \ll \lambda / 2\pi$, où λ est la longueur d'onde associée à la fréquence (f). La structure la plus employée pour ce modèle est le schéma équivalent en π représentée par la figure 2.4. Il se caractérise par trois paramètres principaux :

- ✓ Une résistance série R.
- ✓ Une réactance constituée d'une inductance de série L due au couplage par champ magnétique entre les conducteurs.
- ✓ Une capacité de shunt C due au couplage par champ électrique.

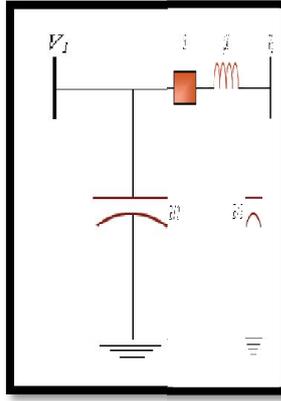


Figure 4 Modèle en π d'une ligne de transmission

1.6 Modèle des charges électriques

La charge peut représenter une charge matérielle réelle ou bien une impédance d'entrée équivalente d'un système de puissance, non explicitement représenté dans le modèle du système.

En conséquence, lorsque les systèmes de puissance sont analysés, seuls les réseaux et les sous-réseaux de transport sont modélisés, tandis que les réseaux de distribution ne le sont habituellement pas : ils sont simplement remplacés par des charges équivalentes. Pour l'analyse de la stabilité, chaque charge représente habituellement une partie relativement importante du système comportant typiquement des réseaux de distribution de basse et moyenne tension, de faibles sources d'énergie fonctionnant au niveau de la distribution, les régulateurs de tension de distribution, ...etc. Elle inclut également les différentes charges réelles telles les moteurs, les éclairages et les appareils.

Les caractéristiques des charges ont une influence importante sur la stabilité et la dynamique du système. En raison de la complexité et la variation continue des charges et de la difficulté d'obtenir des données précises sur leurs caractéristiques, une modélisation précise des charges est très difficile. Ainsi, des simplifications sont indispensables selon le but de l'étude demandée. Pour les études de stabilité dans lesquelles la gamme de temps considérée est de l'ordre de 10 secondes après la perturbation, les modèles de charges les plus utilisés sont généralement des modèles statiques. Le caractère statique est lié à la description de la charge par des équations purement algébriques. Soit un nœud de tension V_L , auquel une charge consommant une puissance « $P_L + jQ_L$ » est reliée. Cette charge peut être représentée par des admittances statiques $G_L = \frac{P_L}{V_L^2}$ et $B_L = \frac{Q_L}{V_L^2}$ comme le montre la figure 5 :

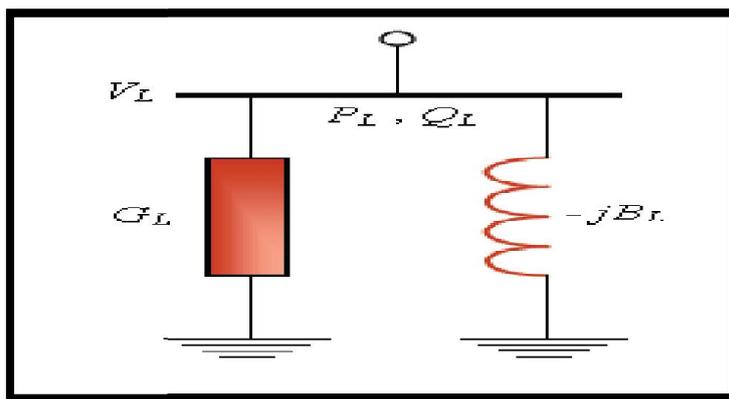


Figure 5 Modélisation d'une charge par son admittance équivalente

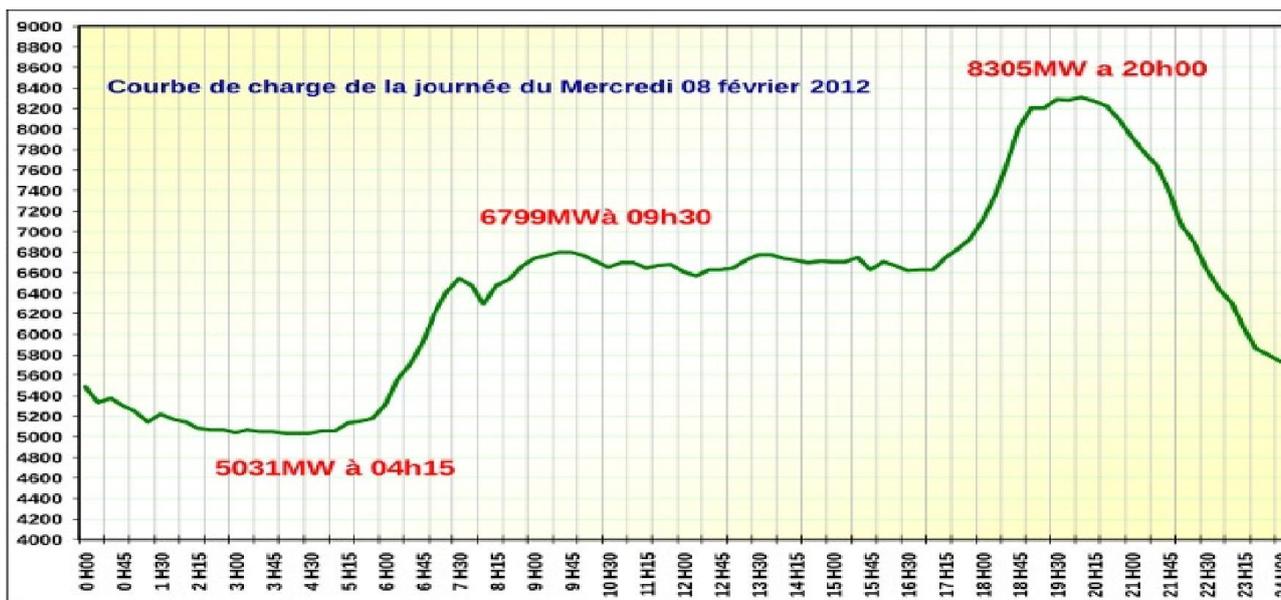


Figure 6 Modélisation d'une charge par courbe de charge