

Ch 3 : Réglerge du réseau Electrique .

La stabilité des réseaux Electriques est l'aptitude de maintenir les grandeurs de fréquence et de tension sur la totalité du réseau Electrique . Sortir de cet état peut provoquer une instabilité généralisée du réseau avec dégâts matériels (côté production - transport , distribution et clients) et / on mis hors tension d'une partie ou de la totalité du réseau .

Comme dans tout problème physique de stabilité , des actions de contrôle automatique ou manuel dit d'asservissement peuvent être mises en place suite à l'écart comparé à la valeur de référence de la fréquence et de la tension .

- Stabilité en fréquence :

La fréquence du réseaux Electriques interconnectés est exactement contrôlée . La raison première du contrôle de la fréquence est de permettre la circulation d'un courant électrique alternatif apporté par plusieurs générateurs à travers le réseau . Une variation de la fréquence du dispositif correspond à un écart entre consommation et production . Une surcharge due à une perte d'un générateur , va provoquer une baisse de la fréquence du réseau . La perte d'une interconnexion avec un autre réseau va ~~pro~~ provoquer une augmentation de la fréquence ①

Pour les grands réseaux électriques nationaux, des dispositifs automatisés permettent via des déclencheurs, des débranchements de lignes ou des manoeuvres, d'assurer le maintien de la fréquence dans une zone acceptable ($\pm 0,5$ Hz autour de 50 Hz). Des réserves de puissance peuvent être mobilisées. Pour de petits réseaux électriques, il n'est pas envisageable d'assurer une telle précision.

Quand un problème de fréquence apparaît, 3 réglages successifs interviennent :

Réglage primaire :

Chaque groupe participant au réglage de fréquence agit localement. Grâce à son régulateur de vitesse, il adopte sa puissance selon la vitesse (et par conséquent de la fréquence du réseau). Cette marge de puissance disponible se nomme la réserve primaire. Grâce à l'interconnexion des réseaux électriques, la réserve primaire totale correspond à la somme des réserves primaires de l'ensemble des groupes participant au réglage primaire de fréquence et connectés au grand réseau interconnecté. Le réglage primaire

permet de revenir à un équilibre production - consommation
Cependant la fréquence à la fin de la régleurage
n'est plus la fréquence nominale de 50 Hz.

Les transits sur les lignes d'interconnexions ne
sont plus les mêmes non plus.

Le temps de réponse doit être compris entre 15 s et 30 s
pour un écart de fréquence de 200 mHz

Pour les installations de production, le régleurage primaire
est mis en oeuvre par l'action des régulateurs de
vitesse des groupes de ~~production~~ production qui agissent
en général sur les organes d'admission du fluide
moteur à la turbine lorsque la vitesse du groupe
(image de la fréquence) s'écarte de la vitesse de
consigne par suite d'un déséquilibre entre la
production et la consommation de l'ensemble du
système national.

Pour chaque groupe j participant au régleurage
primaire de fréquence, la loi de régleurage statique
de la variation de puissance mécanique résultant
de l'action du régulateur de vitesse doit être
de la forme :

$$P_j - P_{j0} = -K_j (f - f_0)$$

(3)

avec :

P_j (MW) : Puissance réelle fournie par le groupe j

P_{c_j} (MW) : Puissance de consigne du groupe j à la fréquence de référence f_0 .

f (Hz) : fréquence déviante de la mesure du groupe j ,

f_0 (Hz) : fréquence de consigne

K_j (MW/Hz) : Énergie réglable du groupe.

$$P_j - P_{c_j} = \Delta P.$$

$$f - f_0 = \Delta f.$$

$$\Delta P = -K_j \Delta f.$$

K_j : Énergie réglable est en fait homogène à un couple, est proportionnel au gain

de la ligne du régulateur, lui-même étant égal à $\frac{1}{s}$, s étant le statisme permanent du régulateur.

Le statisme exprime la variation de la fréquence par rapport à la puissance.

Toute augmentation de la puissance active fournie provoque une baisse de fréquence et inversement. Ainsi par exemple un statisme de 4% garantit une

Fréquences varient de 49 à 51 Hz $|50 \text{ Hz} \times 4\% = 2 \text{ Hz}|$
lorsque la puissance fournie varie de 0 à P_n .

Le réglage ne fait que garder la fréquence constante dans une plage admissible donc il y a une erreur permanente de vitesse.

Le statisme représente une relation linéaire entre la variation de fréquence née par un changement de charge et la variation relative de puissance active produite due à l'action du régulateur de vitesse. Le statisme, paramètre ajustable au niveau de chaque générateur est défini :

$$S = - \frac{\Delta f / f_0}{\Delta P_G / P_n} \times 100 [\%]$$

S : statisme du générateur

Δf : Variation de fréquence

f_0 : fréquence nominale

ΔP_G : Variation de puissance active d'un générateur

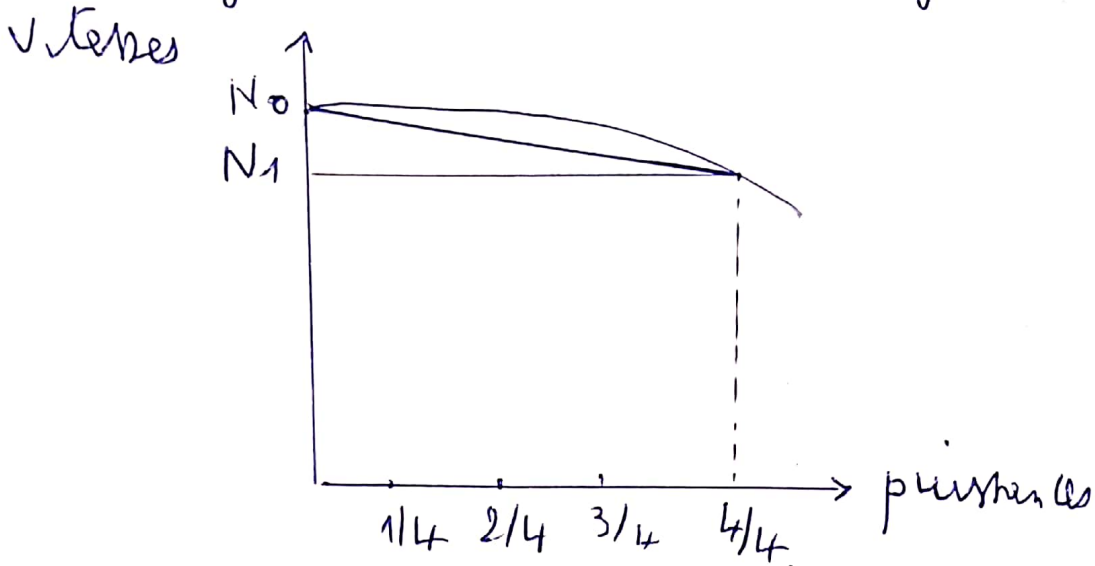
P_n : puissance nominale du générateur.

- Pour un groupe donné

Le régulateur de vitesse agit sur les organes d'admission du fluide moten à la turbine et cherche à imposer à l'équilibre une relation linéaire

stabilité :
 on appelle écart de réglage ou stabilité du régulateur
 le rapport

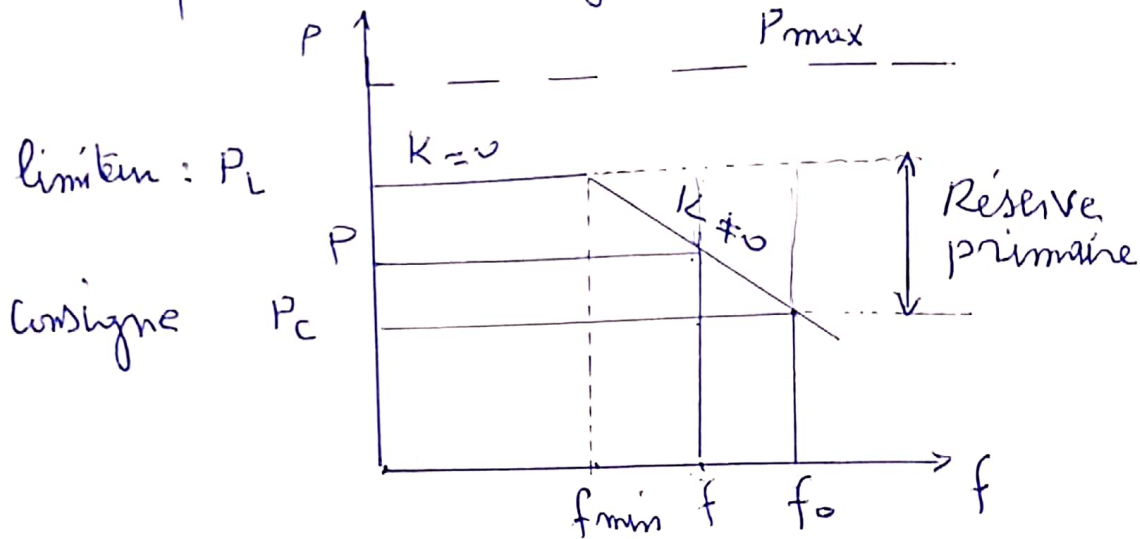
$$\frac{\text{vitesse à vide} - \text{vitesse en charge}}{\text{moyenne des vitesses (vide et charge)}} = \frac{N_0 - N_1}{\frac{N_0 + N_1}{2}} \approx \frac{N_0 - N_1}{N_0}$$



Le stabilité peut s'exprimer en pourcentage, on dirait par exemple que le stabilité d'un régulateur de vitesse est de 10%. Si l'ellure ob 1500 tr/min à vide, à 1350 tr/min en pleine charge.

Le stabilité est la pente de la courbe (qui nous ramènerons à la droite) $N = f(P)$

entre la vitesse (image directe de la fréquence) et la puissance. En tenant compte des limitations liées au matériel, la caractéristique statique de ce réglage est ~~celle~~ celle de la figure ci-dessous



P_{max} : Puissance maximale

P_L : Puissance affichée au limiteur (Puissance maximale autorisée au moment considéré)

P_c : Consigne de puissance affichée

f_0 : Fréquence de référence (50 Hz)

$$P - P_c = -k |f - f_0|$$

- Pour l'ensemble des groupes du réseau :

Au niveau du système, une variation de puissance de réserve ΔP est répartie sur l'ensemble des groupes participant au réglage primaire.

En fin de réglage on a donc pour n groupes

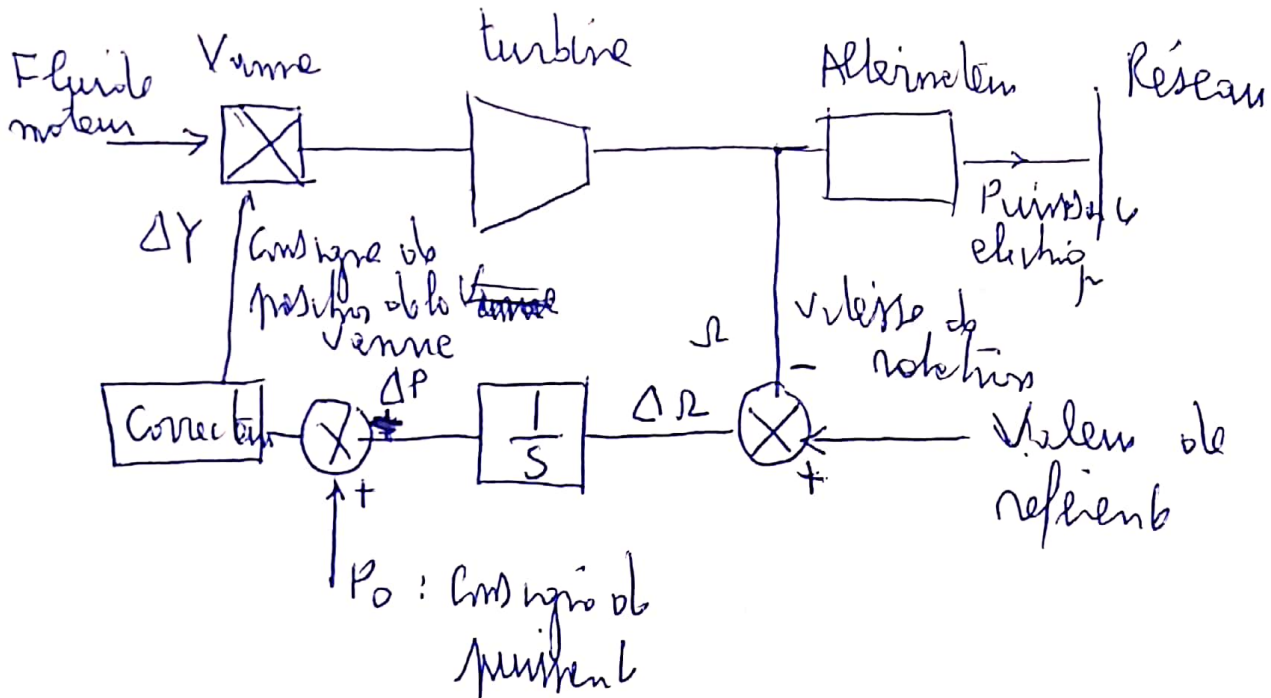
$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i$$

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n K_i \Delta f = K \Delta f \quad \text{avec}$$

$$K = \sum_{i=1}^n K_i$$

K : [MW/Hz]: énergie réglable de l'ensemble des groupes participant au réglage primaire.

Principe du contrôle de la puissance mécanique :



$$\frac{P - P_0}{P_m} = -\frac{1}{S} \frac{(f - f_0)}{f_0} \quad (1)$$

$$P - P_0 = -\frac{1}{S} (f - f_0) \quad (\text{pu})$$

$$\Delta P = -K \Delta f \quad (\text{pu}) \quad (2)$$



on peut obtenir l'expression de l'énergie réglable primaire du groupe selon les équations (1) et (2)

$$K = \frac{P_m}{f_0} \cdot \frac{1}{S} \quad (3)$$

Caractérisation des régimes transitoires de fréquence pendant le réglage primaire.

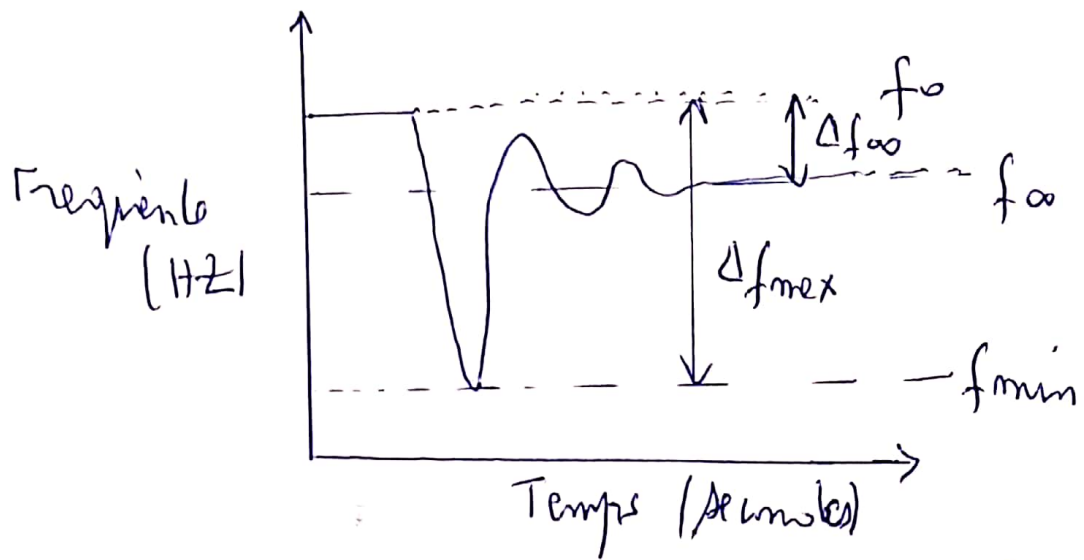
Le réglage primaire est basé sur l'action d'un correcteur proportionnel et présente ainsi une erreur statique, la fréquence du système est stabilisée en régime permanent à une inférieure à la fréquence de référence en fin de réglage. La figure 1 présente l'allure typique de la fréquence dans les secondes qui suivent une perte brutale de groupe. Face à un déséquilibre production - consommation du système ΔP_{sys} , il vient suite, à l'action du réglage primaire

$$\Delta f_{\infty} = \frac{\Delta P_{\text{sys}}}{K}$$

Δf_{∞} : erreur de fréquence stabilisée en fin du réglage primaire.

ΔP_{sys} : déséquilibre production - consommation
 K : énergie réglable totale de tous les groupes participant (n) de réglage primaire ($n \leq N$)

(9)



Comportement dynamique de la fréquence suite au déclenchement d'un groupe.

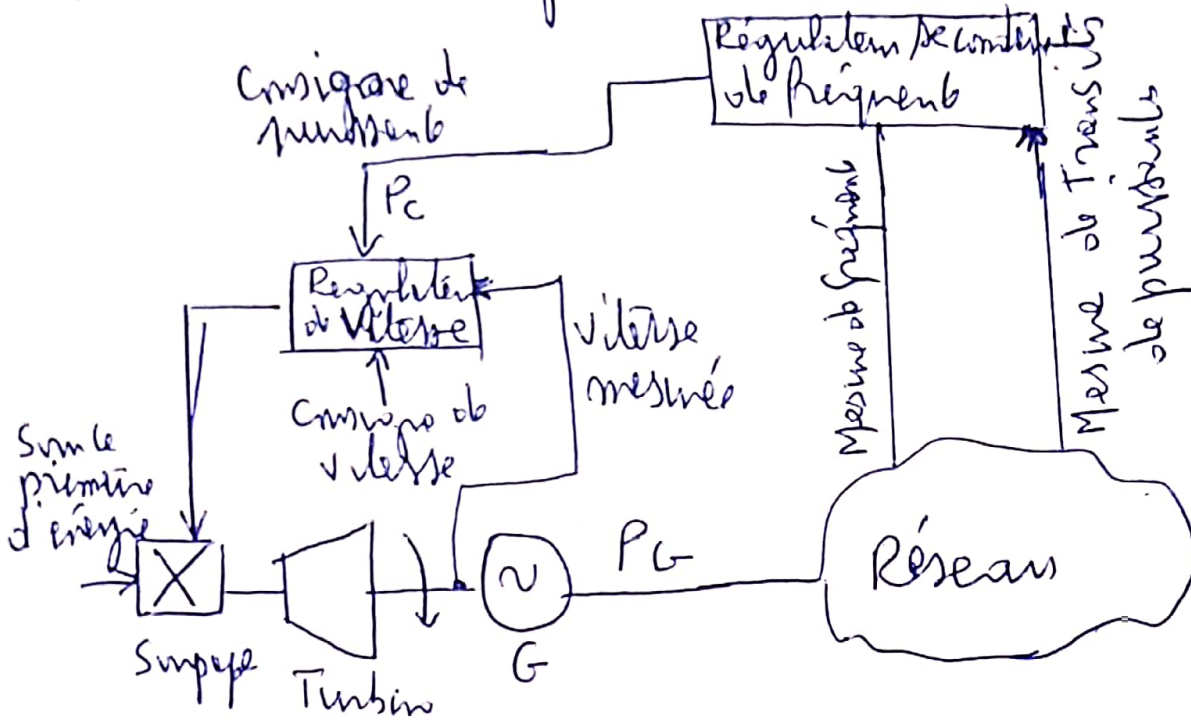
Réglage secondaire de fréquence :

Pour résoudre l'écart de fréquence, on fait appel à une énergie réglable secondaire. Le réglage n'est pas local mais national, le dispatching national calcule à partir des données de fréquence et de transits sur les lignes d'interconnexion, la production nationale indispensable pour ramener la fréquence à sa valeur nominale et de rétablir les transits sur les lignes d'interconnexions aux valeurs contractuelles.

Automatiquement, les groupes participant au réglage secondaire et connectés au dispatching national, vont faire évoluer leur puissance apportée pour apporter cette énergie réglable secondaire. A la fin de ce réglage, la fréquence retrouve sa valeur nominale et les échanges entre réseaux interconnectés sont rétablis à leur valeur contractuelle.

Le centre de dispatching (ou le l'opérateur du réseau) mesure la fréquence du réseau et les transits de puissance sur les lignes d'interconnexion. En fonction de ces mesures, on change les consignes de puissance pour chaque régulateur de vitesse afin de revenir au bout de quelques minutes à la valeur nominale de la fréquence et de corriger les transits de puissance

pertes sur les lignes d'interconnexion.



Principe de réglage de commande de fréquence

$$\text{Erreur contrôle régulier} = \Delta P + \beta \Delta f.$$

$$\beta = \frac{1}{S_G} \text{ l'énergie réglable de commande (MW/Hz)}$$

S_G : Stabilité

$$\Delta P = P_i - P_{i0} \text{ (différence instantanée)}$$

P_i : puissance réellement transmise sur les lignes d'interconnexion entre pays.

P_{i0} : les échanges contractuels à respecter
Le réglage de commande va alors intervenir avec un double objectif

- ramener la fréquence à sa valeur nominale $f = f_0$
- ramener les échanges entre partenaires à leurs valeurs contractuelles

* La Réserve tertiaire :

Il s'agit d'électricité mobilisable rapidement, hors programme préétabli et au delà des capacités du réglage automatique. Elle est sollicitée par le gestionnaire du système électrique, auprès des producteurs susceptibles d'en disposer, pour rétablir la fréquence en cas d'alarme.

C'est un réglage à actions manuelles. Les barrages hydro-électriques dont les durées de mise en service sont très rapides, font partie de cette réserve tertiaire.

Aussi, une unité de production nucléaire maintenue à sa puissance minimale « le minimum technique » et qui peut sous 30 mn et à la demande express du gestionnaire du réseau revenir à sa pleine puissance.

Dans le cas où les réserves sont insuffisantes pour rétablir l'équilibre, on procède à des coupures massives et si le dynamique est trop rapide, c'est le block out.

Réglage de tension dans les réseaux électriques

La tension et la fréquence sont les garants d'un bon fonctionnement et de l'exploitation du réseau tant du point de vue des consommateurs, dont certaines machines tournantes, ou autres appareils sont dimensionnés pour des valeurs de fréquence ou de tension fixe, que point de vue de l'exploitant puisqu'un contrôle efficace de tension et de fréquence garantit une bonne qualité et une bonne continuité de service.

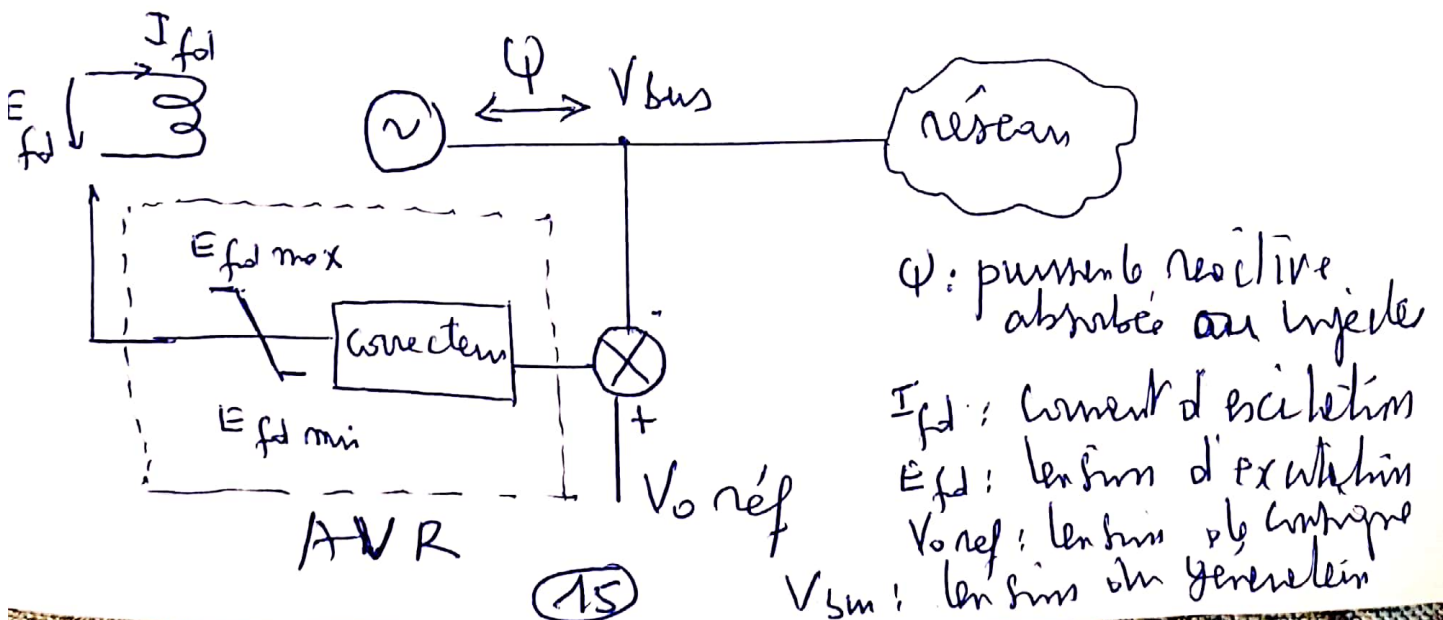
Les variations des puissances consommées sur le réseau sont inévitables et dépendentes de plusieurs facteurs comme la période de la journée, les saisons. Or cet équilibre entre la production et la consommation est un fluctuation de l'onde de tension. Les charges présentées sur le réseau électrique consomment une certaine quantité de puissance active, mais également de la puissance réactive. Cette puissance réactive appelée est une partie fournie par des groupes de production connecté au réseau de transport ou encore par des dispositifs de compensation d'énergie réactive. De plus, le fait de faire transiter de la puissance réactive dans une ligne diminue la puissance maximale transmissible. Ainsi le contrôle de la tension sur un réseau d'effectue non seulement

par des groupes de production, grâce à des réglages⁽²⁾ primaire, secondaire et tertiaire pour les réseaux HTB mais aussi par des dispositifs de compensation de puissance réactive placés au plus près de la consommation pour éviter les transferts élevés de puissance réactive dans le réseau de transport vers le réseau de distribution.

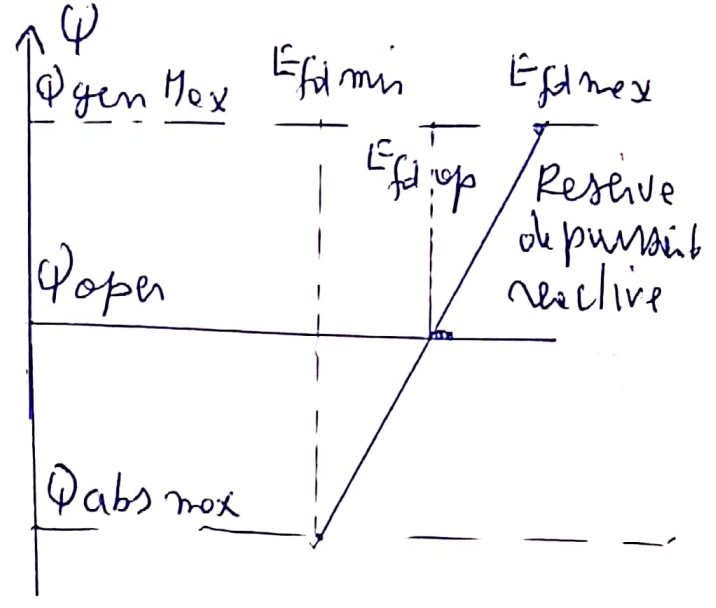
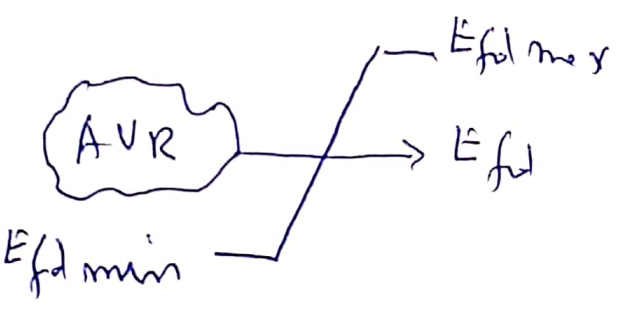
Le réglage primaire de tension

Seuls les alternateurs peuvent apporter de la puissance réactive pour régler la tension. Le réglage primaire de tension fixe automatiquement la puissance réactive apportée selon la tension. Il agit sur la tension d'excitation de l'alternateur. C'est une régulation locale.

Un schéma de principe de la régulation de tension est donné sur la figure suivante



Le régulateur automatique de tension (AVR) contrôle le courant d'excitation ou la tension d'excitation. La tension d'excitation de la machine en course est bornée inférieurement et supérieurement principalement à cause des limitations constructives.



Identification de la réserve de puissance réactive

En supposant que le point de fonctionnement à l'instant de l'analyse est $(E_{fd}^{open}, \phi^{open})$ on peut tirer la conclusion que la réserve de puissance réactive disponible est l'écart entre la puissance réactive maximale acceptable du point de vue constructif qui pourrait être produite et la valeur opérationnelle de la puissance réactive.

$$\text{Réserve de } \phi_{gen} = \phi_{gen}^{max} - \phi^{open}$$

Le réglage secondaire de tension :

Le réglage secondaire de tension se fait au niveau régional et est rajouté au réglage primaire afin d'améliorer la stabilité de tension. L'opérateur du réseau établit les tensions de consignes aux nœuds pilotes (les nœuds ayant le plus grande puissance ou sont le plus importants dans une région donnée). Le réglage secondaire détermine des nouvelles consignes pour les puissances réactives des unités de production afin de s'assurer que les tensions aux nœuds pilotes sont celles prévues par les calculs d'optimisation.

Un schéma de principe de réglage secondaire de tension est donné sur la figure suivante.

