

## Réglage de la fréquence

Le problème du réglage de la fréquence est global (en régime permanent la fréquence est identique dans tout le réseau). Ceci est dû au fait que le système de production – transport est un réseau électrique interconnecté. Le réglage de la fréquence consiste à réaliser l'équilibre, à tout instant, entre la production et la demande.

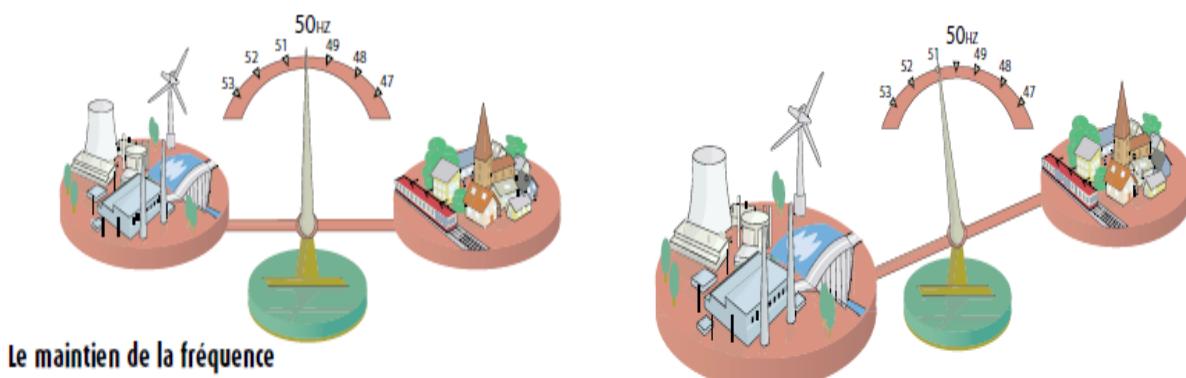
La puissance moyenne qui sera absorbée par l'ensemble des charges peut être prévue avec une bonne précision. En pratique, il y a des écarts inévitables entre la prévision de la consommation et la production des centrales.

Or, tout écart entre la puissance électrique appelée par les charges connectées au réseau et la puissance mécanique fournie par les machines d'entraînement aux alternateurs provoque des variations de vitesse de ces derniers, donc de la fréquence du réseau. En cas de surproduction ou de sous-consommation, la fréquence augmente ; en sous-production ou surconsommation, la fréquence diminue.

Face à une augmentation de la puissance appelée et pour éviter une baisse de la fréquence :

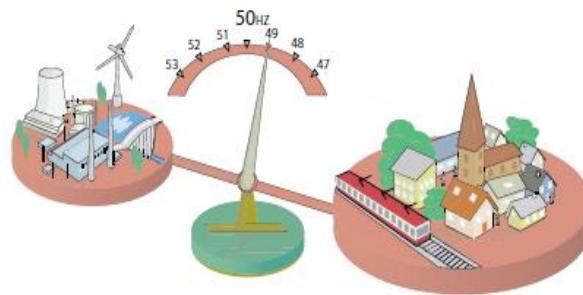
- Chaque groupe de production dispose d'une **régulation rapide de vitesse** qui permettra de maintenir la fréquence proche de celle de référence. Cette régulation joue sur la puissance active produite.
- En cas de surcharge des groupes, **on ajuste la production à la demande** par la mise en marche de centrales thermiques ou hydrauliques.

En cas de pénurie ou pour éviter la propagation d'incidents, **on peut ajuster la consommation à la production** (baisse momentanée du niveau de tension, délestage...)



*Figure I*

### Les variations de fréquence



**Figure II**

#### ➤ Que se passe-t-il en cas de variations de fréquence ?

Prenons l'exemple de variations de fréquence liées à des variations de consommation. **Lorsque la consommation augmente, la turbine de l'alternateur ralentit.** Cette variation de fréquence n'a pas d'effet sur le consommateur car elle dure très peu de temps et est très légère.

Pour mieux comprendre ce phénomène, nous prendrons l'exemple d'un cycliste (que nous appelons aussi « force motrice ») qui pédale en fournissant un effort constant, sur une route (que nous appelons aussi « force de résistance »). Pour cette illustration, nous supposons que la bicyclette n'a pas de dérailleur. **Ce cycliste représente la centrale qui doit maintenir sa fréquence.**

#### ➤ L'écroulement de fréquence

Lorsqu'un réseau est dans une situation tendue pour l'équilibre production / consommation, parce que la consommation atteint un niveau exceptionnel, ou à cause d'un parc de production en partie indisponible, une baisse de fréquence peut se produire. **En dessous d'un certain seuil de fréquence, les groupes de production se séparent du réseau pour éviter d'être endommagés.** La fréquence chute alors un peu plus, et de nouveaux groupes se séparent du réseau, accélérant le déséquilibre entre production et consommation, donc la chute de fréquence.

**C'est l'écroulement de fréquence.** Ce phénomène est très rapide : on constate une baisse de plusieurs Hertz par seconde. L'ensemble du réseau interconnecté se trouve alors dans une situation très critique. Le seul moyen de faire remonter la fréquence est alors de

diminuer rapidement la consommation en ayant recours à du **délestage**, c'est-à-dire la coupure maîtrisée d'une partie de la consommation.

### ➤ Statisme :

On appelle écart de réglage ou statisme du régulateur le rapport :

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

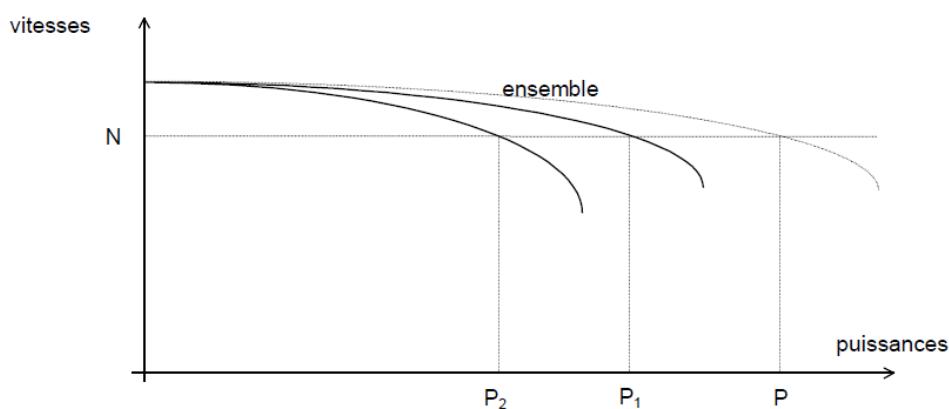
Le statisme peut s'exprimer en pourcentage, on dira par exemple que le statisme d'un régulateur de vitesse est de 10% si l'allure diminue de 1500 tr/min à vide, à 1350 tr/min en pleine charge. Considérons maintenant les moteurs de deux alternateurs en parallèle.

Le statisme est la pente de la courbe (que nous assimilerons à une droite)  $N = f(P)$ .

Nous pouvons poser que :

a) Il est rare que leurs statismes soient identiques : les courbes de réglage  $N(P)$  sont distinctes.

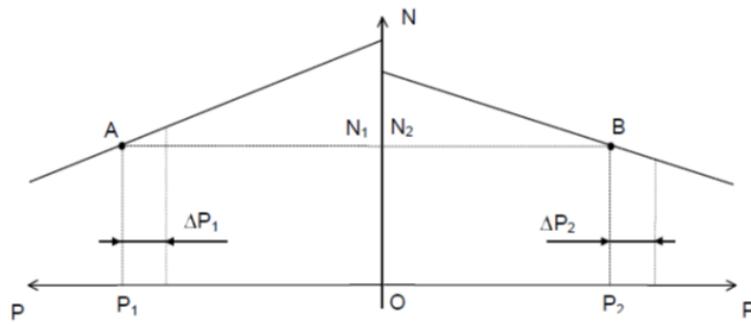
b) Leurs vitesses de rotation sont toujours égales comme s'ils étaient accouplés arbre à arbre. Il en résulte que l'on peut tracer, comme dans le cas de deux moteurs rigidement accouplés le diagramme  $N(P)$  de l'ensemble des groupes électrogènes en supposant que l'on ne touche pas aux régulateurs. La Figure montre, que la loi de répartition d'une puissance  $P$  entre les deux machines est parfaitement définie par la condition d'égalité des vitesses.



**Figure III**

➤ **Stabilité du couplage :**

Le statisme doit être positif pour que le fonctionnement de deux machines couplées soit stable. En effet, représentons les caractéristiques de réglage ( $N = f(P)$ ) de deux machines couplées :

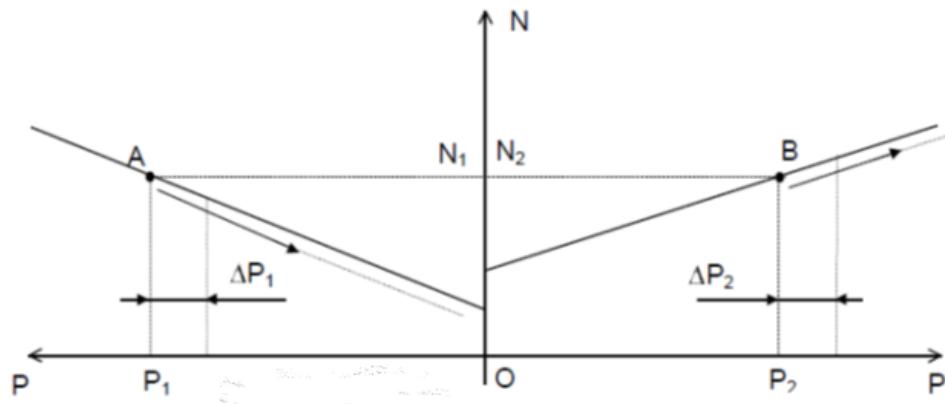


**Figure IV**

Pour une puissance totale donnée  $P$ ,  $N_1$  et  $N_2$  devant être égaux, on voit géométriquement sur la figure qu'il n'y a qu'une répartition possible des puissances  $P_1$  et  $P_2$  résultant des caractéristiques. **Cette répartition est-elle stable ?**

Imaginons qu'accidentellement,  $P_1$  diminue de  $\Delta P_1$ , alors  $N_1$  a tendance à augmenter.  $P$  (puissance totale absorbée par l'installation) étant fixe,  $P_2$  variera en sens inverse. Cette augmentation de  $N_1$  entraîne une augmentation de  $P_1 = N_1 C_1$ , c'est à dire le retour vers le point de fonctionnement A. Pour la machine n°2 qui entraîne l'alternateur 2, c'est le phénomène inverse : devant fournir le surcroît de puissance  $\Delta P_2 = \Delta P_1$ , la machine n°2 a tendance à ralentir, ce qui, d'après l'allure de la caractéristique  $N = f(P)$ , diminue  $P_2$ . Le point de fonctionnement est ramené vers B, le système est stable.

Un raisonnement identique conduit, pour des caractéristiques montantes (statisme positif), à la conclusion inverse : la répartition des puissances est instable et une machine aura tendance à prendre toute la charge pendant que l'autre fonctionnera à vide (la machine qui a pris toute la charge peut éventuellement débiter dans l'autre s'il n'y a pas de dispositif de non retour de puissance).

**Figure V**

### 1- Réglage primaire :

Le réglage primaire de fréquence est indispensable à la sûreté du système électrique. En effet, face aux aléas et incidents tels que fluctuations rapides de la consommation (enclenchements tarifaires, déclenchements de charges...) et déclenchements de groupes de production, c'est le dispositif qui rétablit automatiquement et très rapidement l'équilibre production - consommation et maintient la fréquence à une valeur proche de la fréquence de référence. Le réglage primaire est mis en œuvre par **l'action des régulateurs de vitesse des groupes** de 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 interconnecté synchrone. Pour chaque groupe  $j$  participant au réglage primaire fréquence - puissance, la loi de réglage statique de la puissance mécanique résultant de l'action du régulateur de vitesse doit être de la forme :

$$P_j - P_{c,j} = -K_j \cdot (f - f_0)$$

$P_j$  [MW] = Puissance réelle fournie par le groupe  $j$  en mode quasi stationnaire.

$P_{c,j}$  [MW] = Puissance de consigne du groupe  $j$  à la fréquence de référence  $f_0$ .

$f$  [Hz] = fréquence déduite de la mesure de vitesse du groupe  $j$ .

$f_0$  [Hz] = fréquence de consigne, généralement égale à la fréquence de référence (50 Hz).

$K_j$  [MW/Hz] = « Energie réglante » du groupe j.

Cependant, le réglage primaire ne rétablit l'équilibre offre - demande que si on dispose d'une réserve de puissance - la réserve primaire - suffisante. La réserve primaire disponible est la somme des réserves primaires des groupes de l'ensemble du système interconnecté synchrone.

## 2- Le réglage secondaire fréquence - puissance

L'action du réglage primaire laisse subsister un écart de fréquence par rapport à la fréquence de consigne  $f_0$ . Elle provoque également des écarts sur les échanges entre les pays du système interconnecté synchrone : en effet, tous les groupes des différents pays du système interconnecté synchrone participant au réglage primaire réagissent à la variation de fréquence commune, que la perturbation se produise sur le système électrique du pays ou en dehors de celui-ci.

Le réglage secondaire d'une zone de réglage 3 a donc pour but :

- De solliciter essentiellement la réserve secondaire de la seule zone de réglage où est apparu ce déséquilibre ;
- De retrouver le programme d'échange initialement convenu entre la zone origine de la perturbation et l'ensemble des zones voisines auxquelles elle est interconnectée, et de ramener la fréquence du système synchrone à sa valeur de référence ;

Ce réglage secondaire est réalisé par un organe centralisé situé au centre de conduite de chaque zone de réglage i, avec pour rôle de modifier automatiquement le programme de production des groupes réglants, jusqu'à annuler l'écart de réglage.

La fonction d'écart de réglage  $\Delta E$  utilisée pour le réglage secondaire :

$$\Delta E = \Delta f + \frac{\Delta P_i}{\lambda}$$

avec,

$\Delta f$  [Hz] = écart de fréquence par rapport à la fréquence de référence.

$\Delta P_i$  [MW] = écart entre le bilan des puissances mesurées sur les lignes d'interconnexion internationales et le bilan des échanges.

$\lambda$  [MW/Hz] = énergie réglante secondaire.

### 3- Réglage tertiaire fréquence - puissance

La réserve tertiaire sert non seulement à pallier un éventuel déficit de réserve secondaire en cas d'accroissement rapide de l'écart entre production et consommation, mais également à rééquilibrer le système en cas d'accroissement lent de l'écart entre production et consommation.