

# La problématique du gestionnaire de réseau

Le réseau de transport assure la liaison entre les centres de production et les zones de consommation.

L'exploitation du système production – transport – consommation doit permettre de faire face aux aléas courants (pertes de ligne, perte d'un groupe de production...) et d'éviter les incidents majeurs (écroulements, ilotage, mise hors tension) ou, à défaut, d'en limiter les conséquences.

L'interconnexion des lignes impose que tous les groupes qui produisent de l'électricité fonctionnent en synchronisme.

Les capacités de transport sur les lignes sont limitées par les seuils de surcharge admissible et par les marges de sécurité liées au niveau de tension.

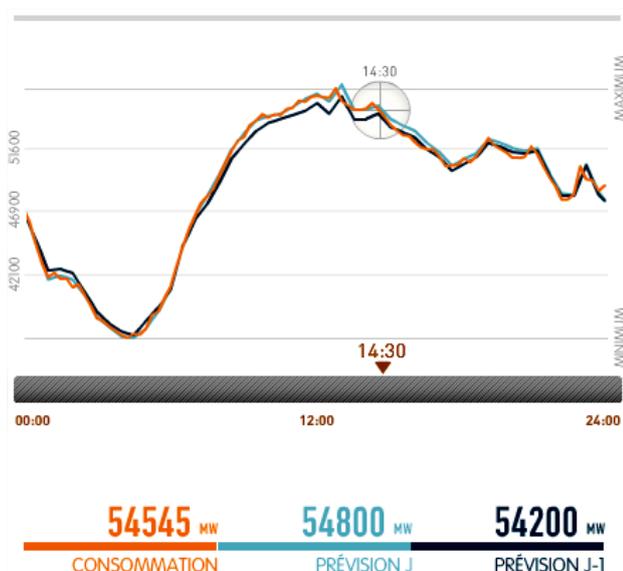
Le gestionnaire devra donc agir sur la fréquence et la tension afin d'assurer le bon fonctionnement du réseau.

## 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.



source : <http://www.rte-france.com>

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...)

## Stabilité

Une baisse brusque de consommation peut apparaître dans le cas d'un court-circuit en ligne. Durant 100 à 200 ms, temps d'élimination du défaut, la régulation rapide de vitesse n'a pas le temps d'agir et la puissance utile est nulle. La puissance non délivrée est accumulée sous forme d'énergie cinétique sur les arbres des alternateurs qui accélèrent : la fréquence augmente. Lorsque la liaison est rétablie, le renvoi de ce surplus d'énergie sur les lignes génère des oscillations qui peuvent s'amortir ou conduire au décrochage. Pour garantir la stabilité, le gestionnaire doit contrôler un paramètre appelé angle de transport qui doit rester inférieur à 20°.

## Contraintes liées à la fréquence

Les charges passives sont en général peu sensibles aux variations de fréquence. Par contre, pour les appareils à circuits magnétiques bobinés (transformateurs, moteurs...), une variation de la fréquence se traduit, à tension fixe, par une variation du flux ( $\Phi = k V / f$ ). Une baisse de la fréquence entraîne donc la saturation des circuits magnétiques, l'augmentation des pertes fer et la production d'harmoniques.

En France, le fonctionnement normal se situe entre 49,5 et 50 Hz.

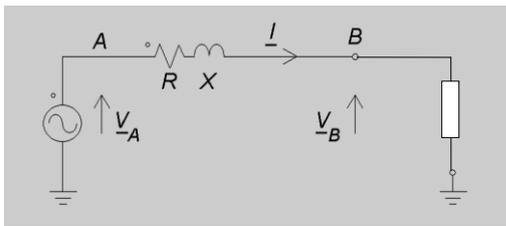
## Réglage de la tension

Pour les réseaux de transport (THT 400 kV et 225 kV), l'exploitant s'efforce de maintenir la tension dans la partie haute de la plage admissible. Cela permet de réduire les pertes joules (estimées à 30 TWh/an sur le réseau HT et MT soit environ 6% de la production annuelle) et d'augmenter la marge de sécurité de fonctionnement du réseau.

Pour le réseau de distribution, des transformateurs régleurs en charge assurent le maintien de la tension secondaire à sa valeur de consigne (20 kV). En cas de chute de tension sur le réseau de transport (primaire), le transformateur réduira son rapport de transformation et maintiendra la tension de distribution (secondaire) à sa valeur de consigne. Ainsi à charge constante, le retour à la consigne correspond au retour à la puissance initialement fournie.

### Chute de tension dans une ligne

Considérons une ligne ( $R, X$ ). Une charge connectée au point B appelle les puissances active  $P_B$  et réactive  $Q_B$ .



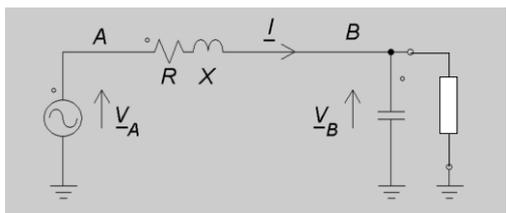
Si le réseau n'est pas trop chargé, on donne l'expression approchée de la chute de tension par :

$$V_A - V_B = \Delta V \approx RI \cdot \cos \varphi + XI \cdot \sin \varphi$$

Avec  $P_B = V_B \cdot I \cdot \cos \varphi$  et  $Q_B = V_B \cdot I \cdot \sin \varphi$ , on obtient :

$$\Delta V = \frac{R \cdot P_B + X \cdot Q_B}{V_B}$$

On voit qu'à  $R$  et  $X$  fixées (caractéristiques de la ligne) et qu'à  $P_B$  donné par la charge, on peut réduire la chute de tension en évitant le transit de puissance réactive  $Q_B$  entre la source et la charge. C'est donc localement, au plus près de la consommation, grâce à des systèmes de compensation de puissance réactive, que l'on réalisera l'équilibre ( $Q_B = 0$ ).



Ainsi, le réglage de la tension se fait en ajustant localement la production de puissance réactive à la consommation.

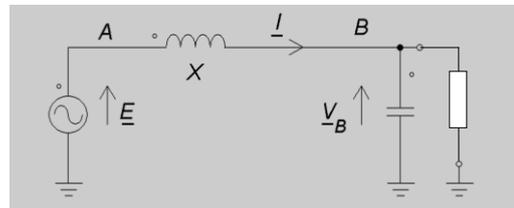
Le réglage du plan de tension (valeurs de la tension en différents points du réseau) nécessite donc de disposer du plus grand nombre possible de points de compensation de puissance réactive.

On notera également que la chute de tension est d'autant plus grande que la ligne est longue ( $R$  et  $X$  élevés) c'est à dire que la région concernée est éloignée ou dépourvue de centrale de production.

### Marges de sécurité

Dans l'exercice 7 on montrera que le contrôle de la tension au point B permet d'augmenter les capacités de transport de puissance sur le réseau. Ici nous allons voir qu'une baisse significative de cette tension peut, à partir d'une certaine limite, conduire à des incidents majeurs.

Considérons une ligne inductive ( $X$ ) où la tension au point A est fixée à  $E$ . Au point B une charge et un dispositif de compensation de l'énergie réactive, consomment les puissances active  $P_B$  et réactive  $Q_B$ .



Nous cherchons comment évolue la tension au point B en fonction de la puissance  $P_B$  appelée.

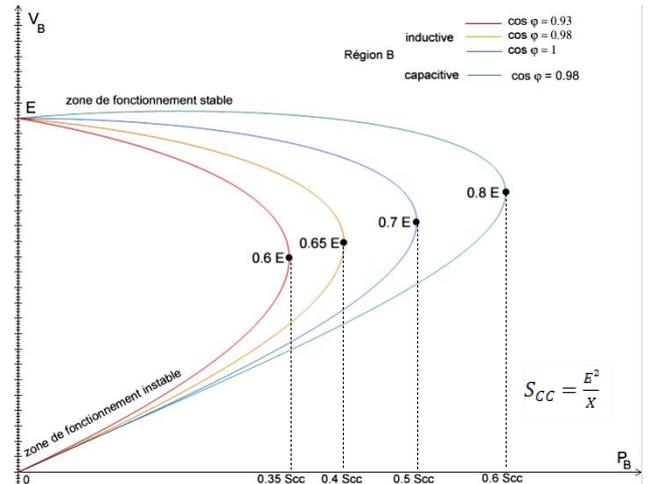
En écrivant le bilan de puissance  $S^2 = P^2 + Q^2$ , il vient :

$$(EI)^2 = P_B^2 + (Q_B + Q_X)^2 = P_B^2 + (P_B \cdot \tan \varphi + XI^2)^2$$

avec  $I = \frac{P_B}{V_B \cdot \cos \varphi}$ , on obtient :

$$V_B^4 + (2 \cdot X \cdot \tan(\varphi) \cdot P_B - E^2) \cdot V_B^2 + \frac{X^2}{\cos^2(\varphi)} \cdot P_B^2 = 0$$

On représente ci-dessous l'évolution de  $V_B$  en fonction de  $P_B$ , à facteur de puissance,  $\cos \varphi$ , de la région B constant.



Sur ce réseau de courbes, on peut voir :

- deux zones de fonctionnement séparées par un point critique ;
- qu'à  $P_B$  donné, rehausser le facteur de puissance de la région B permet de relever le niveau de tension du point B et qu'inversement un déficit de production de puissance réactive entraîne une chute de la tension ;
- que le rehaussement du facteur de puissance par compensation d'énergie réactive a pour conséquence d'éloigner le point critique et donc d'étendre la zone de fonctionnement stable, c'est à dire d'augmenter les capacités de transport de puissance du réseau ;
- que pour un réseau fortement compensé, la valeur de la tension  $V_B$  préjuge mal de la proximité du point critique.

### Mécanisme d'un écroulement de tension

Les flux de puissance sur les différentes lignes dépendent de la topologie du réseau et des charges qui y sont connectées.

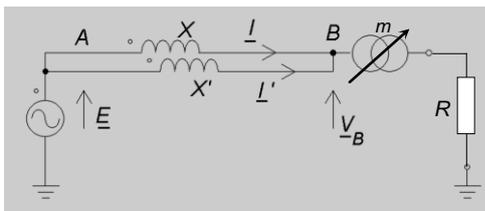
Une surcharge de la ligne apparaît lorsque celle-ci transporte plus de puissance qu'elle ne peut en supporter. Cette limitation est due à une valeur du courant qui, par effet Joule, allonge la longueur des conducteurs aériens et les rapproche du sol. Par exemple en 400 kV une ligne sera déclenchée au bout de :

- 20 min si elle est en surcharge de 130 %
- 10 min si elle est en surcharge de 150 %
- 1 min si elle est en surcharge de 170 %

En hiver l'effet de dilatation est moindre et on peut donc charger d'avantage les lignes.

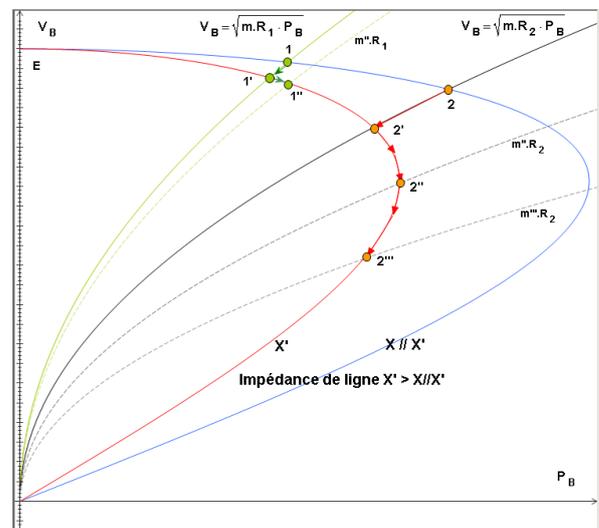
La perte d'une ligne est cause d'une chute de tension qui peut conduire à un écroulement (sans compter que l'augmentation du transit dans les lignes restantes peut conduire à de nouveaux déclenchements).

Considérons deux lignes en parallèle d'impédance  $X$  et  $X'$  alimentant la région B résistive ( $R$ ). Un transformateur régleur de charge est placé entre les lignes et la distribution. La charge équivalente au point B est  $m.R$  ( $m$  rapport de transformation). La charge a pour équation :  $V_B = \sqrt{mR.P_B}$ .



A la suite d'une surcharge, on perd la ligne  $X$ . La courbe  $V_B = f(P_B)$  est modifiée comme le montre le graphique suivant :

- Si le réseau est chargé par la résistance  $R_1$ , le point de fonctionnement (1) est déplacé en (1'). Pour maintenir la tension secondaire à sa valeur de consigne, le régleur de charge diminue son rapport de transformation. On arrive finalement au point de fonctionnement (1'') ( $P_{B1} = P_{B1''}$ ): c'est le cas stable.
- Si le réseau est chargé par la résistance  $R_2$ , le point de fonctionnement (2) est déplacé en (2'). Le régleur agit de même, la tension secondaire commence à remonter, précipitant le point de fonctionnement au point critique (2''). Or la tension secondaire n'a pas encore atteint son niveau de consigne ( $P_{B2''} < P_{B2}$ ). Le régleur va causer l'écroulement (2'' → 2''') en continuant à diminuer le rapport de transformation jusqu'à sa valeur la plus faible (m'''). Afin d'éviter cet incident il faudra bloquer le régleur, voire délester.



### Contraintes liées à la tension

Sur le réseau 400 kV, la tension composée en chaque point doit être comprise entre 380 kV et 420 kV (entre 200 kV et 245 kV sur le réseau 225 kV). La limite de tension haute est donnée par la tenue des isolants et des diélectriques. L'augmentation de tension peut aussi entraîner la saturation des transformateurs ( $\Phi = k V/f$ ).

### Conclusion

Nous venons de voir que sur un réseau faiblement chargé, les réglages de la fréquence et de la tension sont découplés. Le contrôle de la fréquence  $f$  est lié au réglage de la puissance active  $P$ ; le réglage de la tension  $V$  est lié au réglage de la puissance réactive  $Q$ . Mais alors que le réglage de la fréquence est global, le réglage de la tension se fait localement.

Bibliographie : Techniques de l'ingénieur : Plan de défense des réseaux contre les incidents majeurs [D4 807]; Réseaux d'interconnexion et de transport : fonctionnement [D4 091]; Réseaux d'interconnexion et de transport : réglages et stabilité [D4 092].