

A propos du réglage automatique de vitesse des Turbines hydrauliques

INFLUENCE DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES INTERVENANT DANS LA CONDITION DE STABILITÉ

ON THE AUTOMATIC GOVERNING OF HYDRAULIC TURBINES :
INFLUENCE OF CERTAIN INTERVENING CHARACTERISTICS ON STABILITY CONDITIONS

English synopsis p. 671

par D. GADEN

Directeur du Bureau d'Études du Matériel hydraulique "ALSTHOM-CHARMILLES"

Chacun sait que les effets du coup de bélier, que toute variation de débit fait naître dans le système d'alimentation d'une turbine hydraulique, constituent une difficulté à vaincre pour assurer le fonctionnement correct de son réglage automatique de vitesse. Un fait dont la connaissance est déjà moins répandue est que l'utilisation de systèmes dits « à double réglage », comme le système pointeau-déflexeur d'une turbine Pelton ou le système vannage-orifice compensateur (ou déchargeur) d'une turbine Francis, n'apporte à cette difficulté qu'un remède partiel qui, loin de la supprimer complètement, la laisse, à certains points de vue, entière.

Ces systèmes permettent bien, en effet, de dissocier :

le processus de modification de la puissance de la turbine, grandeur de réglage à laquelle on a recours pour tendre au maintien de la vitesse, la grandeur réglée, au plus près de sa valeur de consigne,

du processus de modification du débit écoulé, modification qui engendre le phénomène du coup de bélier.

Mais cette dissociation n'a lieu que dans un cas particulier, celui d'une diminution relativement brusque et relativement importante de la puissance, diminution correspondant à une réduction du débit écoulé. Au moyen des systèmes dits « à double réglage », on réalise cette diminution de puissance à une allure rapide, tandis qu'en consentant temporairement à un déchet de rendement ou ce qui revient au même à une perte de débit non transformé en puissance motrice, on ne modifie que lentement la valeur du débit écoulé. On limite ainsi une des conséquences importantes du phénomène du

coup de bélier : la surpression maximum à laquelle sont soumises la turbine et sa conduite forcée d'alimentation.

Toutefois, en cas d'augmentation de puissance, fut-elle même brusque et importante, les systèmes dits « à double réglage » n'apportent aucune amélioration. En outre et surtout, ils restent absolument sans effet lors de petites variations de puissance relativement lentes, qui sont la règle courante du fonctionnement du réglage en exploitation, les diminutions brusques et importantes ne constituant au contraire que des exceptions. Il faut même ajouter que les systèmes en question doivent de toute nécessité rester sans effet dans la règle courante du fonctionnement du réglage, faute de quoi leur jeu entraînerait des déchets de rendement ou des pertes d'eau, qui sont bien exceptionnellement et momentanément admissibles, mais qui sont à proscrire dans les circonstances habituelles et normales dans lesquelles s'effectue le réglage.

Le phénomène du coup de bélier exerce donc son plein effet dans le processus courant du réglage automatique de vitesse d'une turbine hydraulique et il n'y a ici aucune différence à établir entre les systèmes dits « à double réglage » et les systèmes ordinaires à simple réglage, dans lesquels le vannage de la turbine règle simultanément la puissance et le débit de la machine.

La difficulté essentielle à laquelle se heurte alors l'ingénieur est l'obtention de la stabilité du réglage, eu égard à l'inertie des masses d'eau s'écoulant dans le système d'alimentation, à l'inertie des masses tournantes du groupe dont la turbine constitue l'organe moteur et à la meilleure promptitude ou rapidité de réponse, dont il est possible de doter le réglage.

Ce problème a fait l'objet de recherches de la part de nombreux auteurs ; je citerai seulement, parmi les plus anciens, A. STODOLA, 1893, et M. TOLLE, 1921.

C'est en 1943, par les soins de l'ancien Président de notre Section Machines : notre ami Louis BERGERON, dont le lumineux souvenir est présent à tous nos esprits et à tous nos cœurs, que j'ai eu l'honneur de soumettre à votre Comité une expression de la condition à respecter pour garantir au réglage un fonctionnement stable :

$$\tau' T > K \left(\frac{3}{2} \Theta \right)^2$$

expression dans laquelle :

τ' est le temps caractéristique de la promptitude du réglage,

$$T = \frac{PD^2 \times n^2}{0,27 N_0} 10^{-11}$$

est le temps caractéristique de l'inertie spécifique mécanique du groupe, ou temps de lancer de ses masses tournantes,

$$\Theta = \frac{\sum LV}{gH}$$

est le temps caractéristique de l'inertie spécifique hydraulique du système d'alimentation de la turbine, ou temps de lancer des masses d'eau qu'il contient, et

K un coefficient sur le compte duquel je reviendrai dans un moment.

Je rappellerai encore ici, en lui en rendant hommage, la précieuse contribution qu'ont apportée les travaux d'un des membres de notre Comité : M. P. ALMERAS, à l'étude de cet important sujet.

Avant d'aller plus loin dans l'examen de ce coefficient K et pour mieux éclairer le problème, je voudrais d'abord m'efforcer de répondre à une question que certains peuvent se poser : Quel est donc le mécanisme de l'incidence du coup de bélier sur le processus de réglage et pourquoi cette incidence se révèle-t-elle défavorable ?

Un des moyens les plus élégants pour fournir à cet égard les explications voulues, sous une forme bien expressive, est d'avoir recours à la méthode des sollicitations sinusoïdales, pour l'application du critère de NYQUIST. Suivant cette méthode, on considère le circuit de régulation ouvert, par la suppression de la liaison entre l'arbre du groupe à régler et l'arbre de commande du régleur (tachymètre ou accéléromètre et tachymètre). En conséquence, on distingue à l'entrée du circuit de régulation un écart de vitesse inducteur $\Delta\omega_e$ imposé à l'arbre

de commande du régleur (celui qui excite le jeu de réglage) et à la sortie du circuit de régulation un écart de vitesse induit $\Delta\omega_i$, subi par l'arbre du groupe à régler, fonctionnant à charge constante. Il s'agit de comparer en grandeur et en phase les deux écarts supposés évoluer suivant une loi sinusoïdale de pulsation β_* .

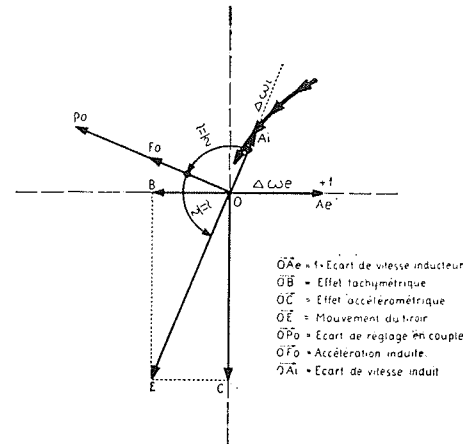


Fig. a)

Diagramme vectoriel du réglage sens coup de bélier

Or, dans la représentation de FRESNEL, on peut aisément passer du vecteur représentatif de l'oscillation de l'écart de vitesse inducteur $\Delta\omega_e$, au vecteur représentatif de l'oscillation de l'écart de vitesse induit $\Delta\omega_i$ par une série d'opérations vectorielles traduisant les équations différentielles du jeu des différents éléments du

circuit. Sur la fig. a) le vecteur $\vec{OA}_e = \Delta\omega_e$ est choisi comme unité et origine de phase. L'effet tachymétrique sur le mouvement du tiroir de distribution du servo-moteur correspond au vecteur $\vec{OB} = -\frac{1}{\tau'} \Delta\omega_e$ (le signe « moins » pro-

venant du fait qu'un écart positif de vitesse provoque un mouvement du tiroir dans le sens négatif « pour fermer ») et l'effet accéléromé-

trique au vecteur $\vec{OC} = -\frac{m}{\tau'^2} \beta_* \Delta\omega_e$ en qua-

drature et en avance sur \vec{OB} , m étant le temps caractéristique du dosage accélérométrique et β_* la pulsation de l'oscillation (sollicitation sinusoïdale). Le mouvement oscillatoire du tiroir de distribution correspond au vecteur $\vec{OE} = \vec{OB} + \vec{OC}$ qui caractérise également la vitesse du déplacement du piston du servo-moteur ou du vannage, en d'autres termes la dérivée de ce déplacement.

Le vecteur représentatif du mouvement oscillatoire du vannage vient dès lors en \vec{OP}_0 , en

quadrature et en arrière sur \vec{OE} . Ce vecteur \vec{OP}_0 caractérise aussi l'oscillation de l'écart de réglage en couple moteur, c'est-à-dire l'oscillation du couple moteur lui-même :

1°) si l'on suppose que ce couple moteur est indépendant de l'écart de vitesse et

2°) si l'on fait abstraction du phénomène du coup de bélier.

Plaçons-nous en outre dans l'hypothèse où le couple résistant, correspondant à la charge constante du groupe, est également indépendant de l'écart de vitesse; le vecteur \vec{OP}_0 représente alors aussi l'oscillation de la différence entre couple moteur et couple résistant. Il est par conséquent en phase avec l'accélération induite \vec{OF}_0 et le vecteur représentatif de l'écart de vitesse induit vient en \vec{OA}_i en quadrature et en arrière sur \vec{OF}_0 .

L'exécution de ces opérations vectorielles — ou l'expérience directe par laquelle on peut les remplacer — pour différentes valeurs de la pulsation β_* permet de déterminer le lieu géométrique de l'extrémité A_i du vecteur \vec{OA}_i : courbe de comportement de l'écart de vitesse induit. On démontre que la stabilité de réglage est assurée lorsque le point A_e est situé à la gauche d'un observateur parcourant la courbe de comportement précitée dans le sens croissant des valeurs de la pulsation. En outre, la stabilité est d'autant meilleure que la courbe de comportement se tient éloignée du point A_e .

Un réglage tachymétrique pur (sans accéléromètre, ni asservissement permanent ou temporaire) est à la limite de la stabilité parce que, le vecteur \vec{OC} (effet accélérométrique) étant annulé, le vecteur \vec{OP}_0 vient sur l'axe des ordonnées et la courbe de comportement de l'écart de vitesse induit, se confondant avec l'axe des abscisses, passe par le point A_e .

On constate donc que, développera un effet stabilisateur, toute action qui tendra :

1° à faire tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, le vecteur \vec{OE} (mouvement du tiroir de distribution) au delà de la direction du demi-axe négatif des abscisses et, en conséquence, à faire tourner dans le même sens le vecteur \vec{OP}_0 (écart de réglage en couple) au delà de la direction du demi-axe positif des ordonnées.

Il en est ainsi de l'action d'un accéléromètre et de celle d'un asservissement permanent ou temporaire.

2° à faire tourner dans le sens des aiguilles

d'une montre, le vecteur \vec{OD} (1) représentatif de l'écart en couple moteur, plus exactement de la différence entre couple moteur et couple résistant, au delà de la direction du vecteur \vec{OP}_0 (écart de réglage en couple).

Il faut encore ajouter ici que le fait de raccourcir la longueur du vecteur \vec{OD} (réduction de la différence entre couple moteur et couple résistant) par rapport à celle du vecteur \vec{OP}_0 exerce aussi un effet stabilisant, parce qu'il tend à rapprocher la courbe de comportement de l'origine et par conséquent à l'éloigner du point A_e .

Toute action qui tendra à l'inverse des effets précités, se révélera destabilisatrice ; or, c'est le cas de l'incidence du phénomène du coup de bélier. En effet, en présence de ce phénomène, l'écart de couple moteur comporte en plus de la première composante \vec{OP}_0 (écart de réglage en couple), une seconde composante $\vec{P_0D}$ proportionnelle et en phase avec l'oscillation de pression, laquelle est en arrière sur l'écart de réglage d'un angle φ_m plus grand que $\frac{\pi}{2}$.

Comme indiqué sur la fig. b), la courbe de comportement de l'écart de vitesse induit ainsi rejetée en arrière, risque de passer de l'autre côté du point A_e , ce qui dénote un réglage instable.

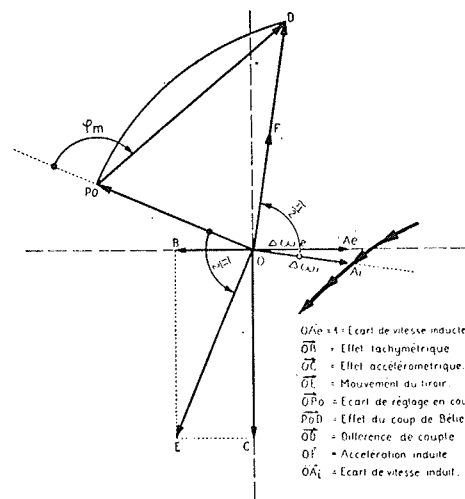


Fig. b)

Diagramme vectoriel du réglage avec effet de l'écart de pression (coup de bélier)

(1) Sur la fig. a) le vecteur \vec{OD} est confondu avec le vecteur \vec{OP}_0 , du fait des hypothèses placées à la base de ce premier diagramme.

C'est ici l'explication de l'effet très défavorable du phénomène du coup de bélier sur le processus du réglage : il introduit un retard entre l'écart de réglage (vecteur \vec{OP}_0) et l'écart de couple moteur (vecteur \vec{OD}).

A côté de ses avantages certains et nombreux, notamment le fait qu'elle permet de combiner les résultats d'expériences et de calculs et de tenir ainsi exactement compte de toutes les particularités qui peuvent influencer le comportement du réglage, la méthode des sollicitations sinusoïdales pour le contrôle de la stabilité n'est pas susceptible de conduire à des résultats généraux immédiatement applicables, avec le minimum de calculs. C'est la raison pour laquelle j'ai proposé d'en rester à l'expression :

$$\tau' T > K \left(\frac{3}{2} \Theta \right)^2$$

de la condition de stabilité obtenue par voie analytique et selon les influences qui s'exercent ainsi que leur importance, de faire varier la valeur du coefficient K. Ce mode de faire me paraît le plus souple, en vue des besoins courants de la pratique, et dans un récent mémoire (1), j'ai montré comment il pouvait être appliqué à l'aide d'abaques de lecture aisée, portant en coordonnées tels et tels paramètres caractérisant les influences à considérer.

La valeur du temps Θ caractéristique de l'inertie spécifique hydraulique du système d'alimentation ayant une valeur déterminée, plus celle du coefficient K sera faible plus on pourra :

soit diminuer la valeur du temps T caractéristique de l'inertie spécifique mécanique du groupe, en un mot faire une économie de PD^2 ,

soit diminuer la valeur du temps τ' caractéristique de la promptitude du réglage, en d'autres termes accentuer la rapidité de réponse du régulateur.

M. ALMERAS vous entretiendra des influences auxquelles on peut envisager de soumettre le régulateur de vitesse, pour réduire la valeur du coefficient K. Je voudrais, de mon côté, attirer votre attention sur des influences s'exerçant dans le même sens, ne concernant pas à vrai dire la construction de la turbine et de son régulateur de vitesse, mais notamment celle du régulateur de tension de l'alternateur, dont le

(1) Influence de certaines caractéristiques intervenant dans la condition de stabilité.

a) «La Houille Blanche», n° 3, mai-juin 1948.

b) Edition «La Concorde», Lausanne, 1949.

jeu ne peut pas être séparé de celui du réglage de vitesse.

Lorsqu'il existe une influence de l'écart de vitesse sur l'écart de couple moteur, comme c'est le cas des turbines hydrauliques, dans le sens d'une diminution du couple par valeurs croissantes de la vitesse, cette influence exerce un effet stabilisateur. A la première (\vec{OP}_0) et à la deuxième (P_0D_1) composantes de l'écart de couple moteur, vient en effet s'ajouter selon la fig. c) une troisième composante \vec{D}_1D en opposition de phase avec l'écart de vitesse induit \vec{OA}_1 et le vecteur \vec{OD} est rejeté dans le sens des aiguilles d'une montre.

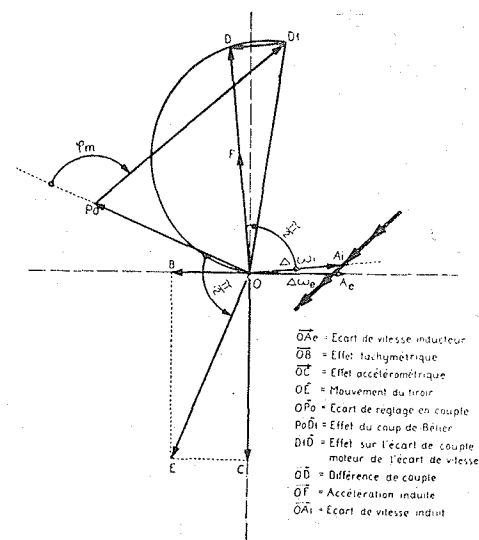


Fig. c)

Diagramme vectoriel du réglage avec effet de l'écart de pression et effet de l'écart de vitesse sur le couple moteur.

Lorsqu'il existe en outre une influence de l'écart de vitesse sur l'écart de couple résistant, dans le sens d'une augmentation du couple par valeurs croissantes de la vitesse, cette influence exerce pour la même raison un effet stabilisateur. A la troisième composante \vec{D}_1D_2 de la différence de couple, vient, selon la fig. d), s'en ajouter une quatrième \vec{D}_2D , encore en opposition de phase (1) avec l'écart de vitesse induit.

(1). En opposition parce que l'écart de couple résistant intervient dans la différence entre couple moteur et couple résistant avec le signe négatif.

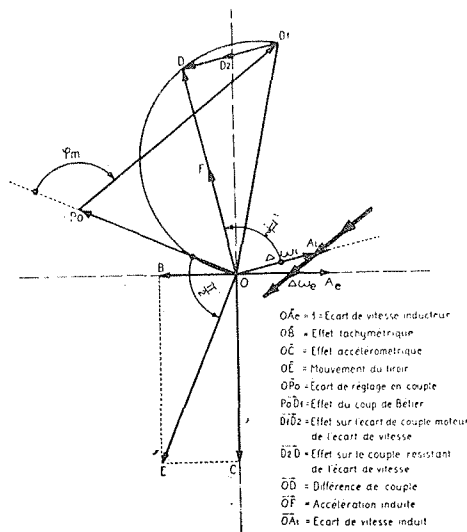


Fig. d)

Diagramme vectoriel du réglage avec effet de l'écart de pression, effet de l'écart de vitesse sur le couple moteur et effet de l'écart de vitesse sur le couple résistant (composante en phase).

Enfin, si l'oscillation du couple résistant a non seulement une composante en phase avec l'oscillation de vitesse (couple résistant croissant avec la vitesse), mais une composante en quadrature et **en avance**, à la quatrième composante $\vec{D}_2\vec{D}_3$ de la différence de couple, vient selon la fig. e) s'en ajouter une cinquième $\vec{D}_3\vec{D}_4$ qui réduit la longueur du vecteur \vec{OD} et exerce encore, de ce fait, un effet stabilisateur. La

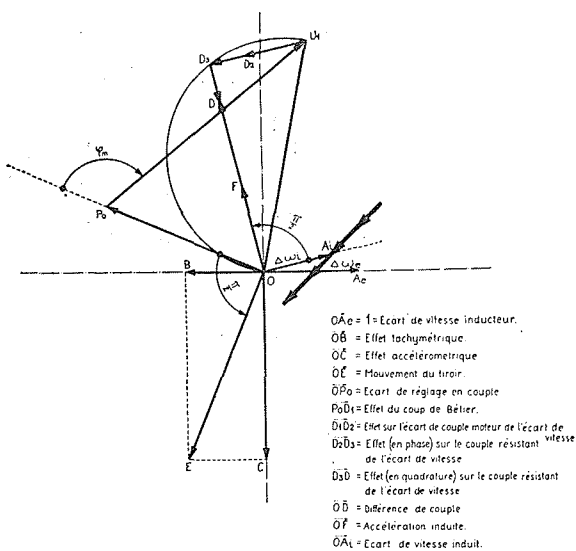


Fig. e)

Diagramme vectoriel du réglage avec effet de l'écart de pression, effet de l'écart de vitesse sur le couple moteur et effet de l'écart de vitesse sur le couple résistant (composante en phase et composante en quadrature).

courbe de comportement s'éloigne en effet du point A_e .

Voici donc trois influences, à effet stabilisant, résultant de l'incidence de l'écart de vitesse sur le couple moteur et sur le couple résistant. Toutes trois tendent par conséquent à réduire la valeur du coefficient K de la condition de stabilité, ainsi que l'expérience l'a abondamment vérifié.

Or, en raison de la nature ohmique d'une fraction généralement importante de la charge sur laquelle débite l'alternateur, celle correspondant aux appareils de consommation du réseau, le couple résistant développé par l'alternateur varie au moins partiellement, si ce n'est en majeure partie comme le carré de la tension que le dit alternateur engendre. En conséquence, pour nous aider à surmonter la difficulté que constitue pour nous, hydrauliciens, l'incidence du coup de bélier sur le réglage de vitesse de nos turbines, je conclus qu'il est indiqué de demander à nos collègues électriciens exploitants et constructeurs :

1°) d'admettre que, dans une certaine limite d'écart de fréquence, le régulateur de tension, au lieu de maintenir la tension constante, indépendamment de la fréquence, la laisse croître avec la fréquence. Le but poursuivi étant d'assurer le maintien plus strict de la fréquence de consigne, celui de la tension de consigne sera ainsi automatiquement obtenu,

2°) de chercher à éviter que la tension réglée évolue en arrière sur l'oscillation de fréquence et de tendre, au contraire, à assurer une avance de l'oscillation de tension sur l'oscillation de fréquence.

Je ne pense pas que le recours à ces influences éminemment favorables puisse soulever, en pratique, d'objections sérieuses et je me permets de souhaiter que la Société Hydrotechnique de France voudra bien elle-même le recommander.

M. ALMERAS a écrit dans sa communication que ces propositions tendaient à tourner le problème sans le résoudre. Il ne s'agit, à mes yeux, ni de tourner, ni de résoudre le problème, mais de le poser, et de le bien poser, c'est-à-dire sur la base de données susceptibles de satisfaire aux besoins de la pratique. Il n'y a aucune raison théorique de chercher à résoudre le problème de la stabilité en supposant que la différence entre couple moteur et couple résistant est indépendante de l'écart de vitesse, ou qu'elle croît ou qu'elle diminue avec cet écart. La vérité consiste à choisir l'hypothèse, ni trop favorable, ni trop défavorable, qui correspond à la réalité, telle qu'elle peut être acceptée par les exploitants et les consommateurs du réseau.

DISCUSSION

M. le Président félicite M. GADEN de son exposé magistral et ouvre la discussion en demandant aux Electriciens leur avis sur le point de vue qu'il a présenté.

M. NASSE prenant la parole en cette qualité, pense que la suggestion que fait M. GADEN et qui résulte des essais qu'ils ont faits ensemble à Kembs est susceptible de faciliter grandement la stabilité d'un groupe générateur.

En effet, les récepteurs électriques alimentés par l'alternateur comprennent :

— Des moteurs entraînant des récepteurs à couple constant indépendant de la vitesse.

— Des moteurs entraînant des récepteurs à couple croissant avec la vitesse.

— Des récepteurs ohmiques indifférents à la fréquence, donc à la vitesse, mais sensibles à la tension.

Une légère influence de la fréquence sur la tension de l'ordre de $\frac{\Delta U}{U} / \frac{\Delta f}{f} = 1$ à 1,5 donne le moyen d'accroître le couple résistant lorsque la vitesse croît et apporte de ce fait une aide efficace au problème de stabilité.

C'est ce qu'ont montré les essais faits à Kembs par les Ateliers des Charmilles et la Direction des Etudes et Recherches de l'Electricité de France.

M. NASSE ne pense pas pour sa part que l'exploitant électrique soit gêné par une telle influence de la fréquence sur la tension, d'autant plus qu'il serait possible de limiter dans le temps l'effet de cette influence en la faisant disparaître avec une constante de temps grande vis-à-vis des périodes des phénomènes mécaniques ou hydrauliques.

On éviterait ainsi le dérèglement permanent de la tension si pour une raison ou une autre, la fréquence doit rester différente après une perturbation de sa valeur initiale.

M. NASSE ne voit pas parmi les desiderata des Electriciens ce qui pourrait s'opposer aux suggestions que vient de faire M. GADEN.

M. le Président approuve le point de vue de M. NASSE, mais note le paradoxe qui consiste à augmenter la tension au moment où on veut corriger la vitesse, et se demande comment se comportera la méthode pour des écarts de vitesse plus grands.

M. GADEN estime qu'on pourrait soit suivre la suggestion de M. NASSE et rendre la loi tension-fréquence temporaire avec une constante de temps suffisamment longue, soit, selon la préférence, limiter cette loi à de petits écarts, ce qui ne présente pas de difficultés.

M. le Président estime nécessaire de se limiter aux petits écarts.

M. NASSE confirme que c'est parfaitement possible : à partir du moment où l'on accepte d'introduire un dispositif annexe dans un régulateur de tension, il est possible de limiter à une bande de fréquence la sensibilité de ce dispositif et faire en sorte qu'en cas de montée de la fréquence à la suite du déclenchement électrique de l'alternateur, la connexion fréquence-tension du régulateur de tension n'ajoute pas son effet à ceux de l'augmentation de la vitesse de rotation du groupe, et n'augmente pas la sur-tension électrique à laquelle l'alternateur est soumis.

M. DEJOU estime que la sensibilisation du régulateur de tension à la fréquence est certainement un excellent

moyen d'accroître la stabilité des groupes. Deux remarques peuvent cependant être faites, selon lui :

— D'une part, ce moyen n'est réellement efficace qu'avec des régulateurs de tension très rapides : les régulateurs de tension normalement utilisés jusqu'à ces derniers temps laissent apparaître, lors des oscillations de vitesse, une oscillation de tension importante qui est très favorable à la stabilité; pour des régulateurs relativement lents, la sensibilisation à la fréquence est donc inutile; elle pourrait même être défavorable, dans certains cas.

— D'autre part, l'action, même instantanée, des variations de tension sur la puissance consommée est très variable d'un point à un autre, et d'un instant à l'autre. Des essais entrepris récemment sur un réseau de la banlieue parisienne

ont montré que, pour ce réseau, le $\frac{\Delta P}{\Delta U}$ varie de 0 à 1,5 environ avec une moyenne de 0,25 à 0,3.

Avant de pouvoir tirer des conclusions générales, M. DEJOU pense qu'il serait utile de reprendre ces essais sur une plus grande échelle.

M. GADEN répond que, s'il n'existe qu'un aussi faible effet de la tension sur la charge consommée, c'est que cette charge est loin d'être de nature ohmique et qu'elle correspond en majeure partie à l'alimentation de moteurs. De ce fait, la loi du couple résistant en fonction de la vitesse répond par elle-même au désir qu'il a exprimé et il est moins utile d'avoir recours à une loi tension-fréquence.

M. NASSE expose qu'il existe deux phénomènes différents :

— Lors d'une perturbation de la vitesse de rotation du groupe, les récepteurs à couple variable en fonction de la vitesse voient leur couple augmenter si la vitesse croît et de ce fait tendent à stabiliser le groupe.

— Lors d'une perturbation de la tension, les récepteurs ohmiques engendrent une augmentation du couple résistant si la tension croît.

La suggestion de M. GADEN consiste à lier le second phénomène au premier et à rendre leurs effets complémentaires, c'est en quelque sorte jouer sur les deux tableaux !

A la suite des essais sur réseau qui viennent d'être cités, il lui paraît nécessaire de distinguer les variations de tension rapides et brèves des modifications de la tension d'assez longue durée, car un certain nombre d'industriels disposent de moyens de réglage qui leur permettent de ramener la tension à sa valeur initiale lors de modifications de durée appréciable.

M. GADEN rappelle que le chiffre de 0,25 % de variation de la charge pour 1 % de variation de tension lui paraît très faible et que l'ensemble des résultats américains conduit à un chiffre de l'ordre de 1 %.

M. CAHEN signale qu'il a été trouvé à peu près 1,6 sur le réseau de Lyon pour la journée.

M. le Président souligne que cela montre qu'un régulateur de turbine doit être prêt à faire face à bien des éventualités.

M. GADEN précise qu'il se peut que dans la journée, la charge corresponde en majeure partie à l'alimentation de moteurs et que, de ce fait, on bénéficie d'une allure favorable de la loi du couple résistant en fonction de la vitesse. Toutefois, la nuit, lorsque la charge devient presque entièrement de nature ohmique, le recours à une loi tension-fréquence reprend tout son intérêt.

M. CAHEN dégage ce qu'à son avis il faut retenir de ce qui a été dit par M. GADEN : la sensibilisation des régu-

lateurs de tension à la fréquence constitue un moyen commode de stabiliser le réglage de la vitesse des groupes hydro-électriques dans les cas difficiles. Il ne faut pas cependant en conclure à la nécessité de munir systématiquement tous les régulateurs de tension du réseau français d'un dispositif de sensibilisation à la fréquence, tout au moins si l'on ne cherche pas à résoudre d'autres problèmes que celui c'est la stabilisation du réglage de vitesse.

M. le Président remercie M. CAHEN et souligne la possibilité d'employer ou de ne pas employer le dispositif de sensibilisation à la fréquence selon les cas.

M. GADEN rappelle que la plupart des régulateurs de tension existants réalisent d'eux-mêmes une loi tension-fréquence et on l'a jusqu'à présent admise. Il demande surtout que dans les nouveaux régulateurs de tension on ne s'efforce pas de la supprimer.

M. REMENIERAS fait observer que l'on étudie le plus souvent le problème de la stabilité dans le cas tout théorique d'une usine unique alimentant un réseau séparé. En fait, en France par exemple, la quasi-totalité des usines sont étroitement interconnectées par un réseau de transport important, de sorte que les usines peuvent se porter un mutuel appui ; il paraît donc logique de ne pas rechercher une stabilité parfaite en **réseau séparé** pour certaines usines, pour lesquelles cela conduit à de lourdes dépenses (du fait de la nécessité d'augmenter le PD² des machines par exemple) ;

il semble plus indiqué de considérer la stabilité de l'ensemble des usines interconnectées (ou tout au moins d'une partie importante d'entre elles) ; celle-ci pourra être obtenue économiquement en dotant d'un supplément de stabilité certaines usines dont les caractéristiques sont telles que ce supplément peut être acquis à peu de frais. Un réglage ou une modification des régulateurs des usines existantes permettrait sans doute dès maintenant de dégager sur l'ensemble des usines françaises une réserve de stabilité qui permettrait de se contenter d'une stabilité médiocre pour certaines des usines actuellement en construction ou en projet.

M. le Président remercie M. REMENIERAS, mais se demande si le cas du réseau séparé, pour si rare qu'il soit dans l'organisation moderne, ne doit pas, toutefois, être prévu, étant donné les effets de l'instabilité qui se produisent alors.

M. GADEN confirme les réserves de M. le Président, en se basant sur les demandes formelles faites à ce sujet, par tous ses clients à la signature des marchés.

M. REMENIERAS estime qu'il faudrait envisager la probabilité de fonctionner en réseau séparé et calculer l'espérance mathématique.

M. le Président remercie M. GADEN et passe la parole à M. ALMERAS.

