



ESSAI DE MARCHE EN DÉCHARGEUR DU GROUPE BULBE DE BEAUMONT-MONTEUX

Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 16 novembre 1967

PAR P. CAMPMAS *

Introduction

La marche en déchargeur consiste à faire débiter par la turbine une fraction importante de son débit nominal sans que le groupe, déconnecté du réseau, fournisse de l'énergie. Dans sa communication, M. Cazenave expose l'intérêt d'un tel fonctionnement et les divers moyens de l'obtenir. Rappelons seulement que le passage à un tel régime après un déclenchement non provoqué par une défaillance mécanique de la machine permet de réduire la variation de débit consécutive à l'incident, donc de diminuer, où même éventuellement de supprimer les déchargeurs.

En l'absence de tout dispositif spécial, l'annulation du couple moteur à une vitesse voisine de la vitesse de synchronisme ne peut être obtenue que par une modification de la conjugaison pales/vannage ramenant le rendement global du groupe à zéro. Après divers essais, on s'est orienté vers l'ouverture de la roue au maximum, le débit étant réglé par le vannage évidemment maintenu à des ouvertures partielles.

Des essais ont été exécutés en septembre 1960 à Beaumont-Monteux dans le but d'expérimenter cette méthode sur un groupe bulbe de petite puissance : 9,1 MW sous 11 m de chute (diamètre de roue 3,8 m); nous nous proposons ici d'analyser les

divers résultats obtenus et de les comparer aux observations faites sur d'autres turbines afin de déterminer s'ils ne concernent que le cas particulier de Beaumont-Monteux ou s'ils ont une portée plus générale.

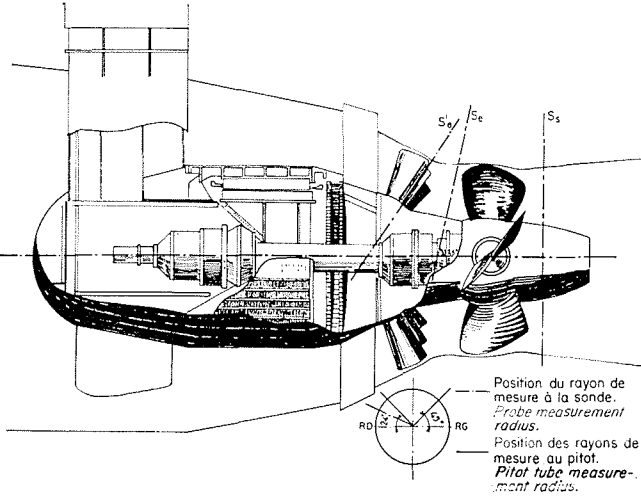
Dispositif expérimental et conduite des essais

Les contrôles ont porté sur :

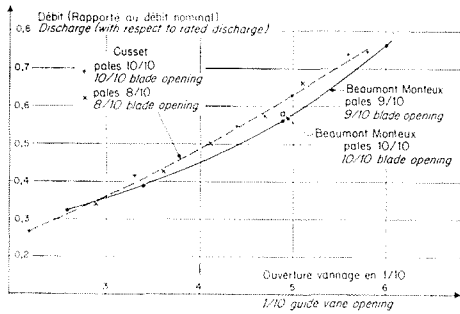
- la tenue mécanique du groupe et les instabilités de l'écoulement;
 - les caractéristiques moyennes (dans le temps) de l'écoulement de part et d'autre de la roue.
- La première catégorie de mesures comprenait le relevé de la vitesse de rotation et l'enregistrement :
- des mouvements transversaux de l'arbre entre le palier turbine et l'alternateur (deux capteurs de déplacements à 90°);
 - des efforts sur les supports du palier turbine et de la butée;
 - des fluctuations de la pression en paroi, en amont et en aval de la roue.

La bande passante des voies était de 0-100 ou 0-200 Hz. Afin de disposer d'une base de comparaison pour interpréter les résultats, les essais ont débuté par des enregistrements en marche normale et au cours d'un déclenchement de la puissance maximale.

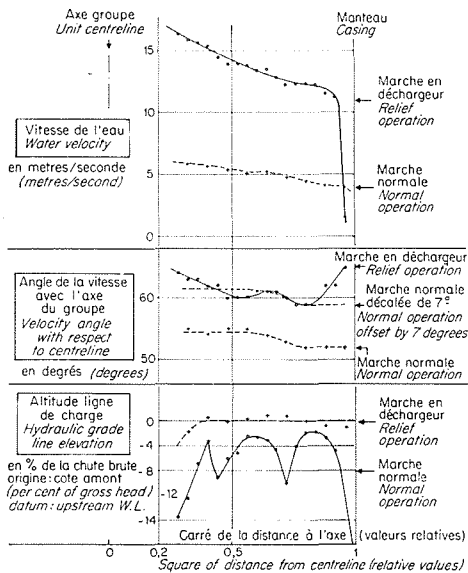
* Chef de Service à la Division Technique Générale, Service de la Production Hydraulique d'Electricité de France.



1/ Position des rayons de mesure et des sections de référence.
Positions of measurement radii and reference sections.



2/ Débit déchargé / Bypassed flow.



3/ Beaumont-Montoux. Caractéristiques de l'écoulement entre distributeur et roue,

en marche en déchargeur : vannage 4,9/10, pales 9/10. en marche normale : vannage 6/10, pales 2/10.

Beaumont-Montoux. Flow characteristics between distributor and runner, relief operation : 4,9/10 guide vane opening, 9/10 blade opening. normal operation : 6/10 guide vane opening, 2/10 blade opening.

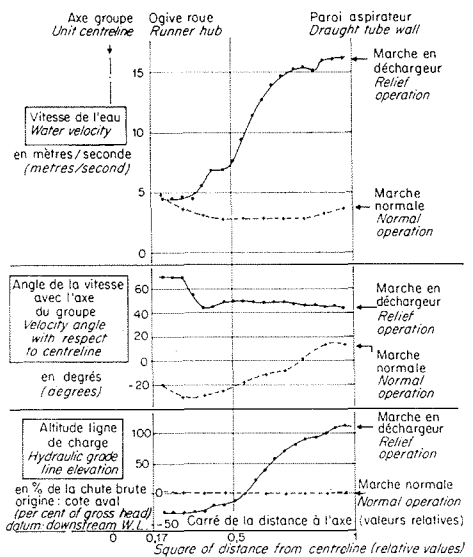
Les caractéristiques moyennes de l'écoulement ont été étudiées grâce à un contrôle piézométrique du débit installé sur un des bras supportant le bulbe et à deux sondes mesurant la répartition des vitesses de l'eau (en grandeur et direction) et des pressions suivant :

- un rayon de l'aspirateur, près de la sortie de la roue;
- une génératrice d'une section normale à la direction moyenne de l'écoulement entre distributeur et roue.

Leurs positions exactes sont repérées sur la figure 1.

L'axe du groupe étant axe de symétrie du conduit hydraulique, on a admis que l'écoulement était de révolution autour de cet axe; cette propriété avait été vérifiée en marche normale.

La sonde aval était un tube de Pitot classique. La sonde amont possédait une tête de mesure spéciale permettant son effacement complet au moment du démarrage du groupe; elle avait été tarée *in situ* au cours d'essais antérieurs en marche normale. De plus, des impératifs pratiques la plaçaient très près de l'extrémité des pales ouvertes au maximum. Aussi les essais ont-ils débuté avec la roue calée à 9/10 d'ouverture seulement, les mesures étant exécutées aux paliers 2,6/10, 3,4/10 et 4,9/10 du vannage. Cette dernière valeur étant voisine de la limite jugée acceptable, un essai à 4,9/10 d'ouverture vannage et 10/10 d'ouverture roue a été exécuté sans sondage amont. Enfin, revenant à 9/10 d'ouverture roue, le vannage a été ouvert à 6/10 pendant les quelques minutes nécessaires au relevé de la vitesse de rotation et des indications du contrôle piézométrique.



4/ Beaumont-Montoux. Caractéristiques de l'écoulement à l'entrée de l'aspirateur,

en marche en déchargeur : vannage 4,9/10, pales 9/10. en marche normale : vannage 6/10, pales 2/10.

Beaumont-Montoux. Flow characteristics at the draught tube entry, relief operation : 4,9/10 guide vane opening, 9/10 blade opening. normal operation : 6/10 guide vane opening, 2/10 blade opening.

Indiquons pour terminer que des essais antérieurs avaient fourni la forme de l'écoulement dans les deux sections de contrôle en marche normale.

Résultats

1. Caractéristiques moyennes dans le temps de l'écoulement dans la turbine.

A - DÉBIT-DÉCHARGE.

Les essais destinés à établir la conjugaison optimale entre pales et vannage en marche normale ont montré que le contrôle piézométrique du débit équipant le groupe bulbe présente des défauts de fidélité se traduisant par une dispersion sur le débit de $\pm 5\%$ environ. De tels écarts sont totalement inacceptables dans des mesures relatives de rendement; mais ils nous ont paru acceptables ici. Aussi avons-nous utilisé les valeurs fournies par ce dispositif.

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 2. On constate que le débit déchargé est important : 35 et 75% environ du débit nominal pour les ouvertures du vannage 2,6/10 et 6/10. Un tel résultat n'est pas exceptionnel, car les valeurs trouvées à Cusset avec un classique contrôle piézométrique de bêche sont très voisines de celles relevées à Beaumont-Monteux (fig. 2). Dans les deux cas, l'influence de l'ouverture de la roue (supérieure ou égale à 8/10) est faible.

Notons que dans la zone la plus intéressante en pratique (vannage compris entre 4/10 et 6/10), le débit déchargé est égal ou supérieur au double du débit que l'on aurait en marche normale à la même ouverture du distributeur.

B - ECOULEMENT ENTRE DISTRIBUTEUR ET ROUE.

Il peut être caractérisé par la répartition des vitesses, en grandeur et direction, et de l'altitude de la ligne de charge en fonction du carré de la distance à l'axe du groupe. La figure 3 représente ces termes pour la marche en déchargeur à 4,9/10 d'ouverture du vannage et 9/10 d'ouverture des pales, qui est comparée au fonctionnement normal à 6/10 d'ouverture du vannage, valeur la plus faible ayant fait l'objet de mesures sur l'écoulement en amont de la roue.

Ligne de charge :

En déchargeur, l'altitude de la ligne de charge présente quelques irrégularités qui n'existent pas en marche normale, mais, sauf au voisinage des parois, il s'agit d'anomalies locales d'amplitude modérée. Notons qu'il paraît difficile de les attribuer à des erreurs accidentelles sur la « pression totale » (hypothèse pouvant être suggérée par les difficultés de réalisation de tels essais) : en effet, les vitesses mesurées présentent une continuité satisfaisante. En valeur moyenne, la perte de charge en amont de la roue est de l'ordre de 6% de la hauteur de chute; en marche normale, pour un débit environ deux fois plus faible, elle n'était pas mesurable avec les moyens expérimentaux mis en œuvre.

Directions des vitesses :

Entre 4,9/10 et 6/10 d'ouverture du vannage, la rotation des directrices est de 7° ; si l'on corrige de ces 7° les angles des vitesses avec l'axe, en marche normale, on constate que la distribution obtenue coïncide avec celle relevée en déchargeur à 2° près, sauf au voisinage des parois. Dans la majeure partie de la section, l'orientation des vitesses est assez peu affectée par l'inclinaison des pales.

Vitesses :

Durant la marche en déchargeur, la vitesse de l'eau présente une nette singularité au manteau de roue. En dehors de cette zone très étroite, elle croît régulièrement quand on s'approche de l'axe. Cette évolution se retrouve en marche normale, mais plus atténuée car la vitesse moyenne dans la section est plus faible; elle n'a rien de surprenant : en raison de l'importante rotation de l'eau, la pression diminue nécessairement quand on gagne le centre; l'altitude de la ligne de charge ne subissant parallèlement aucune variation systématique, les vitesses doivent augmenter.

Notons que le débit calculé par intégration des composantes méridiennes des vitesses coïncide à 3% près avec la valeur indiquée par le contrôle piézométrique.

En conclusion, mise à part une zone de quelques centimètres d'épaisseur contre le manteau, les principales modifications de l'écoulement provoquées par le passage à la marche en déchargeur ne sont que les inévitables conséquences de l'augmentation du débit. On en déduit que la réaction hydraulique sur les directrices, donc les efforts de manœuvre du vannage, sont sensiblement accrus.

Cas des autres régimes :

Pour des débits déchargés plus faibles, on retrouve les mêmes caractères fondamentaux. La singularité près du manteau et les anomalies locales de l'altitude de la ligne de charge disparaissent (ce qui montre qu'elles n'étaient pas dues à une erreur systématique liée à l'enfoncement de la sonde); par contre, une zone à faible vitesse tend à s'établir près de l'axe. L'importance de ces particularités n'est pas assez grande pour justifier une analyse spéciale.

Cas des autres turbines :

Aucun sondage de l'écoulement entre distributeur et roue n'a été exécuté sur d'autres turbines fonctionnant en déchargeur; mais d'après les propriétés qui ont pu être dégagées en marche normale, il est probable que, dans les turbines Kaplan également, la forme de cet écoulement n'est pas sérieusement altérée (en tenant compte des écarts du débit).

Indiquons qu'à Cusset l'accroissement des efforts de manœuvre du vannage a été clairement mis en évidence.

C - ECOULEMENT A L'ENTRÉE DE L'ASPIRATEUR.

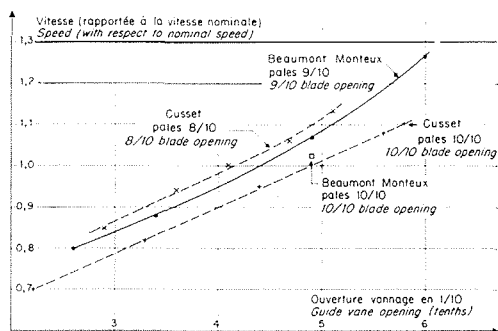
Forme de l'écoulement :

Elle est représentée sur la figure 4 grâce aux mêmes facteurs et pour les mêmes régimes que sur la figure 3.

L'altitude de la ligne de charge varie considérablement en fonction de la distance au centre. Elle est maximale au bord de l'aspirateur où, si l'on prend comme origine la cote aval, elle tend à dépasser la hauteur de chute, comme si les filets liquides correspondants avaient reçu de l'énergie des filets voisins ou de la roue. Elle est nettement négative au centre de l'aspirateur. Comme, à la sortie du distributeur, les écarts étaient minimes, on voit que l'évolution de l'énergie hydraulique à la traversée de la roue est très différente suivant la zone considérée.

L'angle de la vitesse de l'eau avec l'axe du groupe est toujours élevé : compris entre 45 et 70°. Ceci n'est pas surprenant car, le couple exercé sur les pales étant faible, la rotation moyenne de l'eau à la sortie de la roue doit être presque aussi élevée qu'à la sortie du distributeur.

Quant aux vitesses, elles passent de 16 m/s au bord de l'aspirateur à 4,5 m/s près de l'ogive où la composante méridienne est très faible. Le débit déduit des mesures dans l'aspirateur confirme à quelques pour-cent près les valeurs données par le contrôle piézométrique et la sonde amont.



5/ Vitesse de rotation / Rotational speed.

En marche normale les caractéristiques ne peuvent être que profondément différentes. Par souci d'homogénéité avec le paragraphe précédent, la figure 4 reprend la comparaison à ouvertures du distributeur voisines. En ce point de la machine, on pourrait songer à utiliser aussi comme référence le régime normal de même débit, ou de même inclinaison des pales. Avec l'échelle adoptée sur la figure 4, l'incidence de ces changements sur la courbe représentant l'altitude de la ligne de charge ne serait pas lisible. Quant aux vitesses et aux angles, leur répartition serait plus uniforme et les différences avec la marche en déchargeur aussi accentuées.

La même allure d'écoulement est retrouvée non seulement à tous les autres régimes de marche en déchargeur essayés à Beaumont-Montoux, mais également sur les turbines de Bollène et Logis-Neuf, de type Kaplan classique, soumises à des essais de ce type. Précisons bien que seule l'allure est commune; quantitativement les différences sont parfois profondes.

Il est à remarquer que l'on rencontre systématiquement des formes analogues sous les roues de turbines Francis à très faible charge, donc ame-

nées à un point de fonctionnement très éloigné de l'optimum par fermeture du distributeur (*).

Localisation de la dissipation d'énergie dans la turbine.

Compte tenu de l'origine choisie, l'altitude moyenne H de la ligne de charge est égale à la perte de charge dans l'aspirateur proprement dit augmentée de la hauteur dynamique résiduelle qui se dissipe dans le canal de fuite. A Beaumont-Montoux, H est voisine de 60 % de la hauteur de chute quand la roue est ouverte à 9/10. En tenant compte des pertes en amont de la roue, on en déduit que les pertes dans la roue proprement dite sont comprises entre 30 et 40 %; dans la plage utile, elles varient peu avec l'ouverture du distributeur : la puissance dissipée dans la roue est donc en première approximation proportionnelle au débit déchargé.

Le vannage étant fixé à 4,9/10, l'ouverture de la roue de 9/10 à 10/10 a pour effet d'augmenter H de plus de 10 % de la hauteur de chute et de réduire d'autant les pertes dans la roue. Cette évolution semble favorable car *a priori* il paraît préférable de dégrader l'énergie dans l'aspirateur droit du bulbe qu'au niveau des pales.

L'influence de l'inclinaison des pales sur la localisation des pertes est confirmée à Bollène où, avec une vitesse de rotation du groupe voisine du synchronisme comme à Beaumont-Montoux, la roue relativement fermée est devenue le siège de la plus grosse partie des pertes.

Par contre une mesure exécutée à Logis-Neuf montre qu'à positions comparables du vannage et des pales, les pertes dans la roue sont nettement plus élevées qu'à Beaumont-Montoux : la répartition des pertes entre roue et aspirateur dépend donc beaucoup de la turbine considérée.

2. Tenue mécanique du groupe et instabilités de l'écoulement.

A - VITESSE DE ROTATION DU GROUPE.

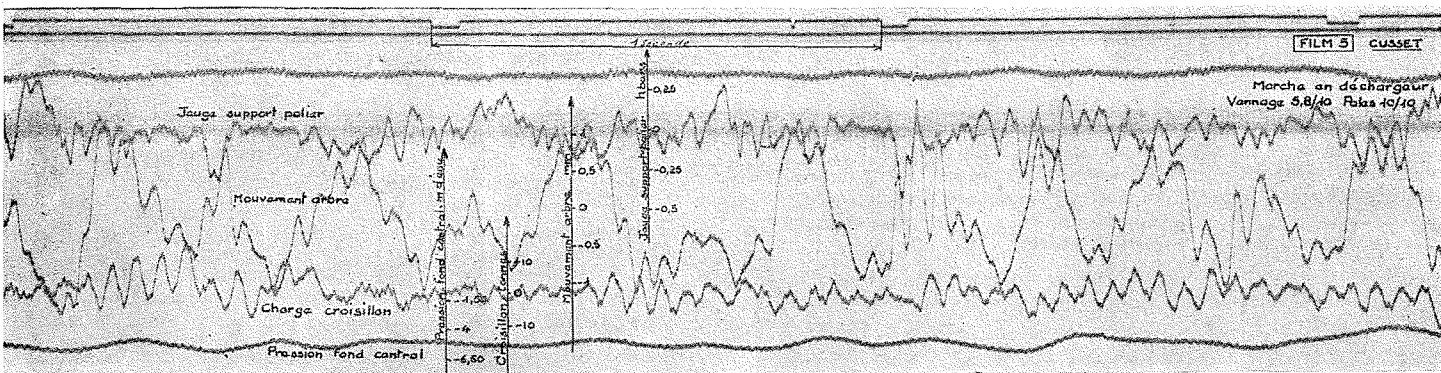
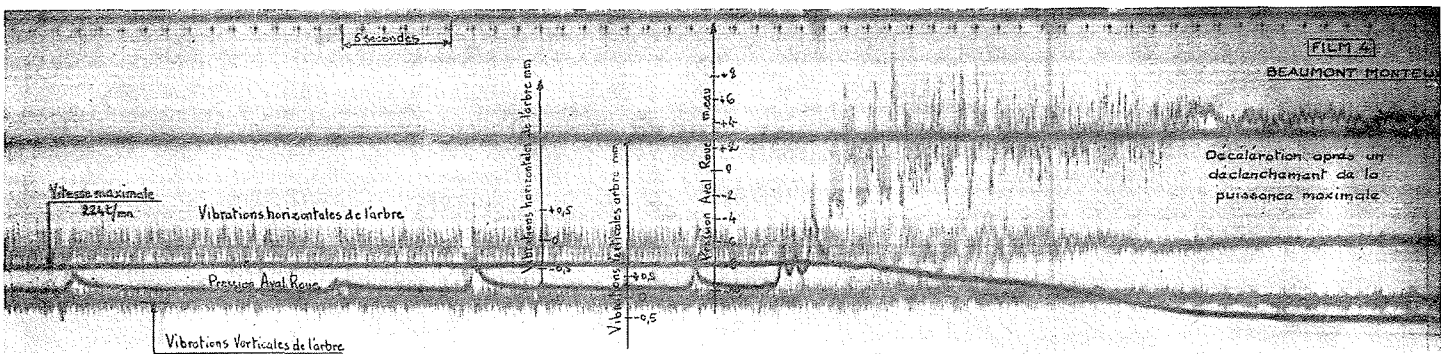
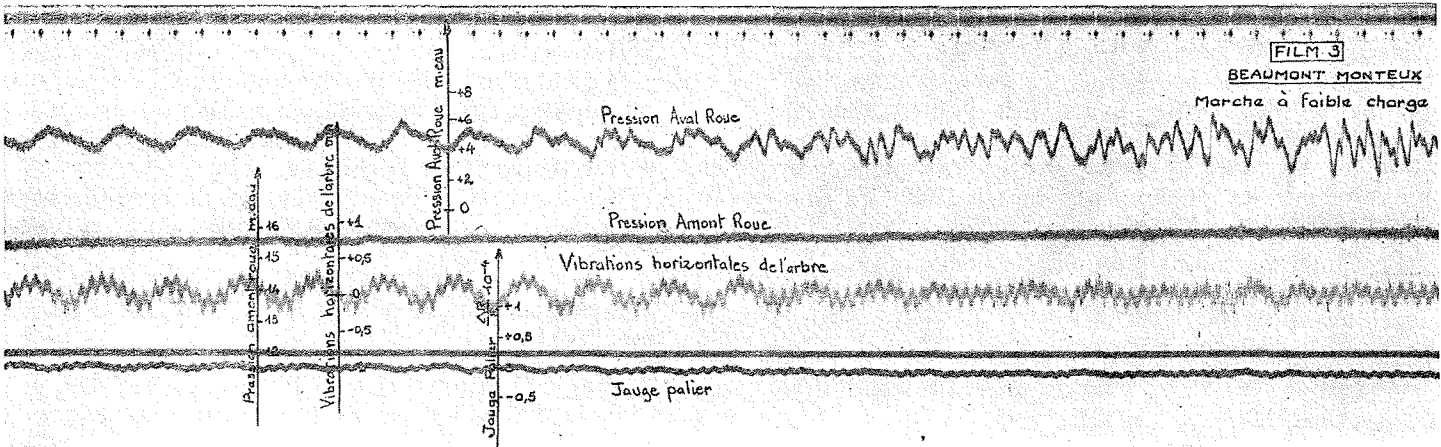
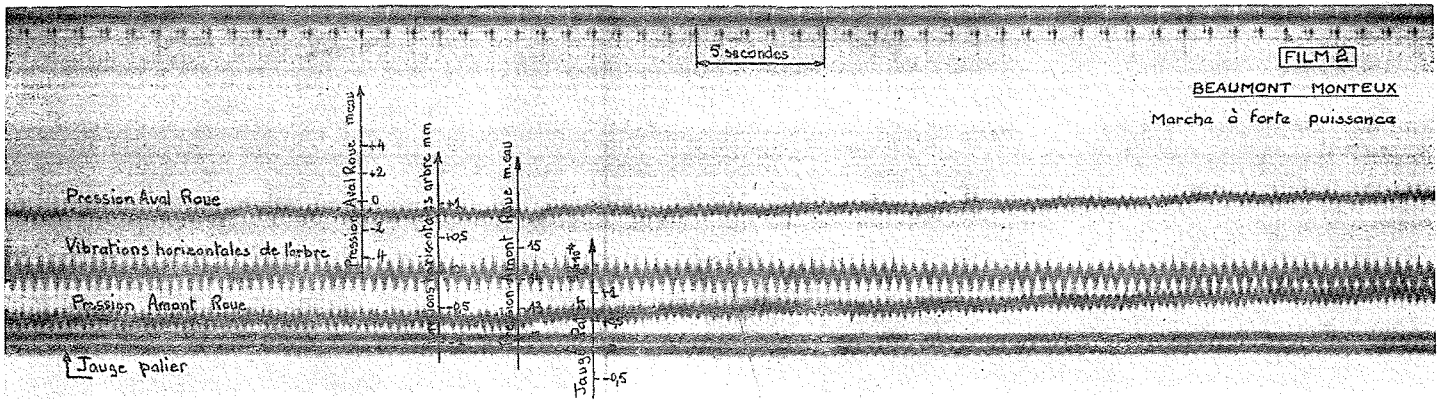
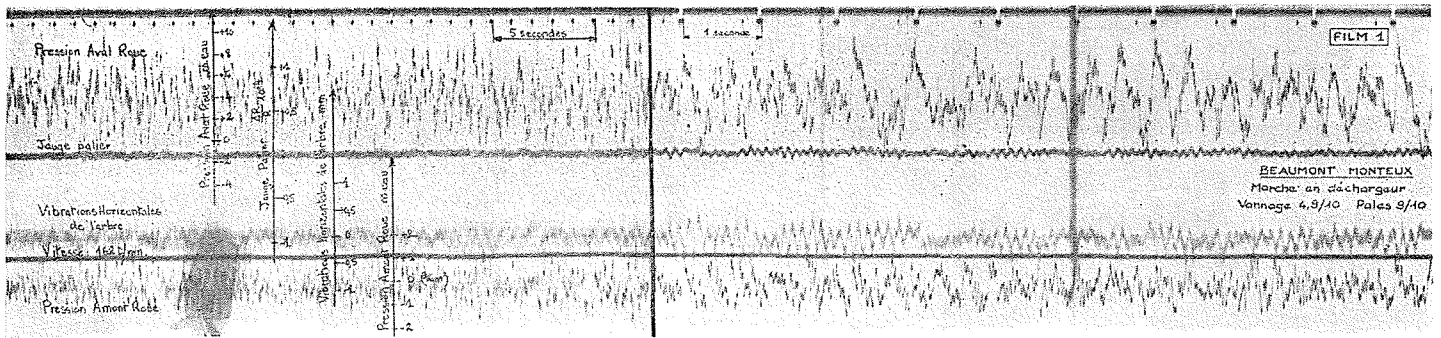
C'est un facteur évidemment important et très facile à mesurer. Les résultats obtenus à Beaumont-Montoux sont représentés sur la figure 5. On voit qu'aux points 4,9/10 du vannage et 9/10 des pales, où le débit déchargé est de l'ordre de 55 % du débit nominal, le groupe est en survitesse de 7 % ce qui est parfaitement acceptable. L'ouverture de la roue à 10/10 abaisse la vitesse : cette propriété est tout à fait générale. A Beaumont-Montoux on se retrouve ainsi à 2 % de la vitesse de synchronisme.

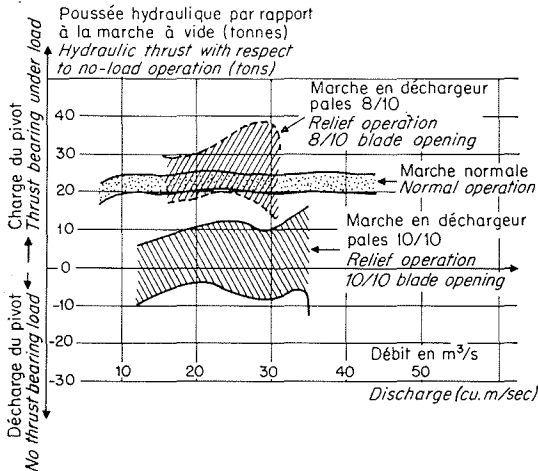
A Cusset, les valeurs relevées sont tout à fait comparables. Le groupe de Beaumont-Montoux ne constitue donc pas un cas singulier.

B - GÉNÉRALITÉS SUR LES ENREGISTREMENTS EXÉCUTÉS A BEAUMONT-MONTEUX.

L'examen des films montre que l'on retrouve les mêmes phénomènes variables à tous les régimes;

(*) Le régime de surcharge des Francis peut être fort différent.





6/ Poussée hydraulique. Aération fermée.
Hydraulic thrust. No aeration.

seules les amplitudes croissent avec le débit déchargé.

Aussi n'étudierons-nous désormais que le point, vannage 4,9/10 pales 9/10, déjà analysé en détail aux paragraphes précédents et correspondant au régime le plus sévère ayant fait l'objet d'essais complets. Pour cette position du vannage, l'ouverture de la roue à 10/10 n'a qu'une incidence mineure sur les phénomènes (ainsi d'ailleurs que sur le débit).

Le film 1 reproduit une partie (*) des grandeurs enregistrées, qui illustre particulièrement bien les observations faites. Des éléments de comparaison sont fournis par les films :

- 2 : régime de forte charge ordinairement utilisé (**);
- 3 : régime de faible charge considéré comme le moins stable en marche normale (**);
- 4 : phase de décélération du régime transitoire suivant un déclenchement de la puissance maximale.

C - MOUVEMENTS TRANSVERSAUX DE L'ARBRE, EFFORTS SUR LES SUPPORTS DU PALIER TURBINE ET DE LA BUTÉE.

Bien qu'elles portent sur des points différents, ces trois mesures sont groupées, car elles concernent en fait des manifestations d'un même phénomène : la réaction hydraulique sur la roue.

Observations faites à Beaumont-Montoux :

Pendant la marche en déchargeur, l'arbre a des mouvements transversaux se présentant sous la forme de fluctuations généralement assez anarchi-

(*) Afin de bien séparer les phénomènes tout en conservant une sensibilité satisfaisante, nous avons été conduit, pour un régime donné, à répartir les diverses grandeurs sur deux films pris successivement. Nous ne reproduisons ici que le film présentant le plus d'intérêt.

(**) Extraits de l'enregistrement d'une lente baisse de charge depuis la puissance maximale jusqu'à la marche à vide.

ques mais où l'on relève épisodiquement des fréquences de l'ordre de 8 à 9 Hz. Les amplitudes ne sont pas très élevées : 0,4 à 0,5 mm entre crêtes au maximum, soit sensiblement moins que durant la phase de décélération suivant un déclenchement du groupe. Ces mouvements sont provoqués par des variations rapides et dissymétriques des efforts hydrauliques sur les pales.

Un tel phénomène est absent ou négligeable dans la plage d'utilisation habituelle du groupe; on ne décèle alors que des oscillations entretenues, à la fréquence de rotation de l'arbre, dues à un balourd magnétique et donc sans rapport avec un effort déséquilibré sur la roue. On n'observe des mouvements transversaux d'origine hydraulique que :

- à faible puissance, où une évolution cyclique à 0,4 Hz du régime d'écoulement à la sortie de la roue entraîne des mouvements synchrones de l'arbre de 0,3 mm environ entre crêtes;
- au voisinage de la marche à vide, où de petites vibrations apparaissent.

Ces deux régimes sont beaucoup moins sévères pour la machine que la marche en déchargeur.

Les fluctuations des contraintes dans le support du palier-turbine sont très petites : 0,1 hbar entre crêtes environ. Aussi le contrôle est-il peu sensible. Il semble néanmoins que les amplitudes maximales ne dépassent pas le double de ce qui est observé à faible charge; mais la fréquence est nettement plus élevée (souvent de l'ordre de 10 Hz).

Les contraintes dans le support de la butée sont trop faibles pour permettre l'analyse de la poussée hydraulique.

Comparaison aux observations faites sur d'autres machines.

Des fluctuations dissymétriques des efforts appliqués aux pales paraissent prendre naissance à toutes les marches en déchargeur du type expérimenté à Beaumont-Montoux (on les rencontre d'ailleurs souvent pendant les régimes transitoires).

Elles ont été mises en évidence de manière particulièrement nette à Cusset où l'on a pu enregistrer avec une bonne sensibilité leurs réactions sur le pivot (composante axiale) sur le palier-turbine (composante perpendiculaire à l'axe) et sur la flexion de l'arbre (déséquilibre entre pales). Le film 5 illustre ce résultat (*). L'allure des fluctuations est la même qu'à Beaumont-Montoux; la fréquence maximale relevée est seulement plus élevée (de l'ordre de 20 Hz). On retiendra en outre que la valeur moyenne de la réaction sur le palier est nulle. La poussée hydraulique moyenne sur le pivot est également nulle quand la roue est ouverte à 10/10; elle tend par contre à dépasser la valeur de marche normale si la roue est ramenée à 8/10 d'ouverture (fig. 6).

(*) Dans ce film l'effort sur le palier est suivi avec une seule jauge. En réalité quatre jauges ont été montées en quatre points à 90° d'une collerette. Deux points diamétralement opposés donnent des indications semblables, mais en opposition de phase. Les phénomènes sur les deux diamètres perpendiculaires sont sensiblement les mêmes.

D'autre part, dans le mouvement de l'arbre, il faut faire abstraction d'une oscillation à la fréquence de rotation du groupe, ici 0,25 Hz, présente à tous les régimes de marche.

D - PRESSION DE PART ET D'AUTRE DE LA ROUE.

La marche en déchargeur s'accompagne de fluctuations complexes de la pression, où l'on décèle des fréquences allant jusqu'à 30 Hz. L'amplitude totale entre crêtes peut atteindre 30 % de la hauteur de chute à l'amont de la roue et 70 % à l'aval, mais une fraction importante de ce dernier terme provient d'une oscillation à 2 Hz.

On ne rencontre jamais un tel régime en marche normale. La pression amont est toujours stable; la pression aval ne fluctue qu'à faible charge, avec des amplitudes et des fréquences nettement inférieures. Il faut se reporter à un déclenchement pour retrouver un régime comparable ou même plus sévère.

Notons qu'il existe des fréquences sortant de la bande passante de nos appareils; elles sont responsables du bruit relativement intense qui accompagne cette marche.

À Cusset, la pression au fond central était stable. Cette constatation laisse supposer que les perturbations décelées par ailleurs au niveau de la roue étaient localisées à l'extrémité des pales. Le manteau de roue étant inaccessible, comme sur la plupart des turbines Kaplan classiques, nous n'avons pu exécuter des mesures analogues à celles de Beaumont-Monteux pour confirmer expérimentalement cette interprétation.

Conclusion

À Beaumont-Monteux, le débit déchargé par déconjugaison des pales et du vannage a été maintenu à 55 % environ du débit nominal, au total pendant plusieurs heures. En ouvrant les pales au maximum, ce qui ne présente que des avantages, la vitesse de rotation est alors très voisine de la vitesse de synchronisme.

Le régime de la turbine est nettement plus perturbé qu'en marche normale, mais moins sévère que le régime transitoire suivant le déclenchement du groupe de la puissance maximale. Or cette manœuvre est admise et n'est pas exceptionnelle en exploitation.

Le débit déchargé a d'ailleurs été porté sans incidents à 75 % du débit nominal pendant quelques minutes, ce qui prouve qu'à 55 % on dispose d'une certaine marge de sécurité, car les sollicitations croissent relativement vite avec le débit déchargé.

Ce type de marche pourrait donc être utilisé industriellement pour évacuer à l'aval 50 à 60 % du débit nominal; il est difficile d'accepter un dépassement important de ces chiffres. Ces limites supposent que le fonctionnement en déchargeur est peu fréquent et de courte durée; dans le cas contraire, il serait vraisemblablement préférable d'installer une vanne de réglage aval afin d'éviter qu'une fatigue prolongée ne soit préjudiciable à la bonne tenue mécanique du groupe.

Plus de la moitié de l'énergie hydraulique est dissipée en aval de la roue : par leur aspirateur droit, les groupes bulbes étaient susceptibles de former une famille particulière; l'exemple de Cusset montre qu'une machine à axe vertical peut présenter des performances comparables.

Qualitativement, la description des phénomènes observés à Beaumont-Monteux est vraisemblablement valable pour toutes les turbines de type Kaplan classique ou bulbe. Par contre, les différences importantes mises en évidence dans le rôle de la roue laissent supposer que l'intensité des efforts hydrauliques sera variable avec le groupe considéré : en dehors de toute considération de conception mécanique des machines, la limite supérieure du débit déchargé fixée à Beaumont-Monteux ne sera pas forcément valable dans d'autres usines.

Discussion

Président : M. WECKEL

M. le Président remercie M. CAMPAS pour son intéressant exposé et rappelle que M. CAMPAS est le co-auteur du rapport sur « la régulation des groupes bulbes de grande puissance », présenté lors des IX^e Journées de l'Hydraulique et qui a obtenu les félicitations du jury du Prix d'Hydrotechnique 1967.

M. CASACCI intervient en ces termes :

« Je félicite vivement M. CAMPAS pour son brillant exposé sur les mesures industrielles réalisées sur le groupe bulbe de Beaumont-Monteux. Je voudrais ici simplement préciser que toutes les mesures que nous avons faites sur les groupes Kaplan verticaux et sur les groupes bulbes montrent une meilleure stabilité de ces derniers lors des régimes transitoires, les régimes de marche à l'emballlement et les régimes de marche normale. En ce qui concerne les régimes de marche normale, pour être tout à fait objectif, il faut préciser que les efforts hydrauliques perturbateurs demeurent faibles pour les deux types de machines; les parties tournantes des « Kaplan » verticales peuvent se déplacer légèrement dans les jeux des paliers sans que pour cela les efforts hydrauliques perturbateurs soient élevés. Il faut, en effet, très peu d'effort pour déplacer l'ensemble des masses tournantes sur le film d'huile de la butée et dans le jeu des paliers, surtout si les fréquences des forces perturbatrices ne sont pas trop élevées. Dans les groupes bulbes, le poids stabilise les parties tournantes et seuls de légers déplacements de l'arbre au droit du palier situé à l'amont de l'alternateur peuvent se produire, surtout si la charge sur ce palier reste relativement faible. Par contre, l'écoulement dans les groupes bulbes, pratiquement axisymétrique, doit être moins perturbé que dans les machines verticales lors des régimes transitoires; c'est la raison pour laquelle les machines axiales ont un comportement plus satisfaisant lors de ces régimes perturbés. Il est d'ailleurs indispensable que la stabilité des groupes axiaux soit excellente, car ils sont sensibles aux déformations en raison du faible entrefer de la machine électrique. »

M. CAMPAS indique que pour tenir compte au maximum des particularités propres à chaque machine, il prend toujours comme référence un régime du groupe considéré, admis en exploitation normale (déclenchement, par exemple).

LA HOUILLE BLANCHE

rappelle
ses volumes
hors-série
et ses
numéros
spéciaux

HYDRAULIQUE ET ÉLECTRICITÉ FRANÇAISES

Édition anglaise : Un volume (1950), 413 pages..... Broché 22 F

B O R T

Un volume (1953), 367 pages..... Broché 20 F

DONZÈRE-MONDRAGON

Un volume (1955), 486 pages..... Relié 48 F

T I G N E S

Un volume (1958), 440 pages..... Relié 80 F

LE DANUBE

N° 2/1964 de « La Houille Blanche », 218 pages..... Broché 40 F

LES ÉNERGIES DE LA MER

IV^{es} Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1956).
Deux volumes, 751 pages..... Brochés 80 F

TURBINES ET POMPES HYDRAULIQUES

V^{es} Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1958).
Deux volumes, 730 pages..... Brochés 100 F

L'HYDRAULIQUE SOUTERRAINE

VI^{es} Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1960).
Deux volumes, 663 pages..... Brochés 160 F

BULLES ET GOUTTES

La tension superficielle en hydraulique

VII^{es} Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1962).
Deux volumes, 624 pages..... Brochés 200 F

LES INSTABILITÉS EN HYDRAULIQUE ET EN MÉCANIQUE DES FLUIDES

VIII^{es} Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France (1964).
Deux volumes, 674 pages..... Brochés 250 F

L'HYDRAULIQUE DU POINT DE VUE MÉDICAL

N° 2/1966 de « La Houille Blanche », 150 pages Broché } France : 25 F
Etranger : 30 F