SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE

Comité technique — Session n° 128 — Paris — 12 et 13 juin 1985

CERTAINS ASPECTS DE L'HYDROÉLECTRICITÉ DE FAIBLE PUISSANCE
QUELQUES ÉTUDES DE CAS DE TRANSITOIRES HYDRAULIQUES

Pic de surpression des Francis horizontales doubles Résultats d'expériences industrielles

*Overpressure peak in dual horizontal Francis turbines
Industrial experiments results*

J.P. Taulan

Neyrpic, BP 75, 38041 Grenoble Cedex

Certaines turbines Francis horizontales doubles présentent lors des déclenchements un pic de surpression, accroissement brutal de la pression à l'amont alors que le coup de bélier classique semble achevé. Les essais à Monistrol d'Allier ont permis une réflexion tentant d'expliquer cette singularité par la présence d'une forme en « S » au-delà du couple nul dans la caractéristique $Q11$ ($n11$) de la turbine. Une simulation sur ordinateur tenant compte du « S » et introduisant une très légère dissymétrie entre les deux roues conduit à une évolution de la pression à l'amont de la turbine comparable à celle obtenue lors des essais.

Récemment, les mises en service d'Ocana et Tolla ont apporté un éclairage nouveau permettant une nouvelle analyse : on envisage en particulier l'influence du tracé de la roue et de l'entrefer entre les aubes et les directrices et on étudie celle du rapport θ/τ , du temps de lancer de la conduite au temps de lancer des parties tournantes.

During initiation, certain horizontal Francis turbines exhibit an overpressure peak, a sudden increase in upstream pressure when the conventional hammer seems completed. Tests at Monistrol d'Allier were analyzed to attempt to explain this singularity by the presence of an "S" shape beyond the zero torque in the $Q11$ ($n11$) characteristic of the turbine. Simulation on a computer taking into account the "S" and introducing a very slight asymmetry between the two runners leads to a variation in the pressure upstream of the turbine comparable to that observed during tests.

Recently, commissioning of Ocana and Tolla shed a new light allowing a new analysis : in particular, the influence of the design of the runner and the gap between the blades and guide vanes is considered and that of the θ/τ ratio, i.e. the time of initiation of operation to the time of initiation of the rotating parts.

Sommaire

- Introduction

1 Hypothèse : le "pic" expliqué par le "S"

2 Eléments de recherche numérique

3 Résultats d'expériences industrielles

4 Conclusion

Pic de surpression des

Francis horizontales doubles

Résultats d'expériences industrielles

Le pic de surpression dont il est question dans la présente étude est un phénomène difficile à expliquer. Il a été découvert par EDF il y a plus de 30 ans sur la turbine Francis horizontale double de LA BRIDOIRE. Il s'agit de l'accroissement brutal que subit la pression à l'amont de la turbine à la suite d'un déclenchement alors que le coup de bélier classique semble achevé, une sorte de sursaut inattendu de la pression dont l'allure sur un enregistrement justifie son appellation de pic. A l'époque EDF a effectué de nombreuses recherches pour comprendre ce phénomène transitoire et a fourni des conclusions ouvrant la voie aux réflexions actuelles, en particulier dans le rapport très complet de M. CAMPMASS (8). Malheureusement cette curieuse surpression est restée dans l'oubli pendant plus de 20 ans simplement parce qu'elle n'entraînait pas de dépassement excessif des garanties de surpression, choisies avec de bonnes marges. Aujourd'hui par contre les marges sont plus réduites et les garanties plus serrées grâce à la précision des calculs sur ordinateur et le phénomène aurait pu se rappeler à notre bon souvenir de façon cruciale sans l'heureuse intervention de la DTG : M. SIMONOT nous a en effet fort à propos rafraîchi la mémoire en nous rappelant l'existence de ce pic à l'occasion de projets récents de Francis horizontales doubles.

Les essais industriels qu'ont réalisés EDF et NEYRPIC pour tenter d'expliquer cette singularité ont commencé au moment de sa découverte à LA BRIDOIRE en échangeant la roue avec celle de MOUTHIERS ST PIERRE : bien qu'identique, celle-ci ne présentait pas le phénomène dans son cadre de fonctionnement original et pourtant ne changeait rien au problème de LA BRIDOIRE. Sauf différences éventuelles passées inaperçues entre les deux turbines, il y a là une bonne présomption pour rendre responsables du pic de surpression, les conditions d'alimentation de la turbine (inerties de conduite différentes) et les conditions de fonctionnement transitoires (lois de manœuvre du distributeur différentes). Récemment, pour redécouvrir le phénomène de façon pratique et essayer d'en comprendre les causes, des essais spéciaux ont été conduits à MONISTROL D'ALLIER avec l'aide de la DTG sous l'impulsion de MM. VIRIEUX et BERGERET de la REAM et grâce à l'extrême compréhension de M. RABICHON, chef de la centrale.

Aujourd'hui, après les mises en service industriel d'OCANA & TOLLA et malgré l'impossibilité de poursuivre les essais prévus par la REAM, la DTG, et NEYRPIC à cause de l'incident intervenu sur la roue d'OCANA, un éclairage nouveau est apporté sur les recherches grâce à la comparaison des résultats obtenus sur ces 2 Francis horizontales doubles avec ceux enregistrés sur les turbines des PIQUES. A n'en pas douter, comme l'ont suggéré MM. DOTT, DAUCHEL et BASSEREAU du SPH, lors de la réunion à NEYRPIC du 27.09.84, des essais complémentaires devraient être organisés en France sur des Francis horizontales doubles implantées dans des centrales faciles d'accès de façon à permettre, lors de campagnes d'essais légères ne perturbant pas trop l'exploitation, d'apporter une démonstration rigoureuse des causes exactes du phénomène ainsi qu'une parade possible dans tous les cas où il s'avèrerait gênant.

La présente étude ne prétend pas en effet aboutir à la solution du problème, mais vise plutôt à en cerner les différents paramètres possibles afin d'orienter la recherche qu'EDF et NEYRPIC ont la volonté de poursuivre en étroite collaboration pour expliquer, voire réduire ou même supprimer cette curieuse singularité.

1 - Hypothèse : Le "pic" expliqué par le "S"

Le pic de surpression intervient sur les Francis horizontales doubles dans une zone de la colline, au voisinage de la survitesse maximale donc de la ligne de couple nul, où l'on peut raisonnablement s'attendre à trouver la forme classique en "S" des équiouvertures qu'on rencontre toujours sur les caractéristiques des turbines pompes et plus généralement sur celles des turbines de faible vitesse spécifique. De là à penser qu'il pouvait exister une corrélation entre la singularité du "S" et le phénomène du "pic", il n'y avait qu'un pas que nous avons franchi à NEYRPIC dans le domaine des hypothèses, mais qui reste à achever dans le domaine de la démonstration expérimentale : en effet, le "S" existe sur des caractéristiques de roues de faible et même de moyenne vitesse spécifique. On a pu en particulier le mettre en évidence sur celles du POUGET (ns 90 (kW)) et de LA GRANDE 4 (ns 184). Il faudrait le retrouver lors d'un essai sur plate forme de la roue simple qui montée en roue double sur une Francis horizontale donne lieu au pic de surpression. (ns d'OCANA, TOLLA, MONISTROL D'ALLIER et PIQUES voisins de 100). Une fois admise l'existence du "S" dans la caractéristique de chacune des roues simples constituant la roue double d'une Francis horizontale double, il reste à comprendre deux particularités du pic de surpression :

- 1) pourquoi la montée de la pression est si brutale ?
- 2) pourquoi l'amplitude du pic est si importante ?

1.1. Montée brutale de la pression :

En effet, le "S" très prononcé des turbines pompes ne donne pas lieu à une remontée brutale de la pression mais plutôt à une sorte de bosse, dans l'évolution de la pression en fonction du temps, qui reproduit bien dans le graphique $p(t)$ celle correspondant au "S" dans le graphique $Q_{11}(n_{11})$.

Alors pourquoi en est-il autrement dans les Francis horizontales doubles ?

Si les 2 roues pouvaient passer simultanément leur "S", en se comportant de façon absolument symétrique comme une seule roue, on retrouverait effectivement cette même bosse avec remontée progressive de la pression.

Ceci se vérifie facilement par un calcul sur ordinateur dans lequel on traite symétriquement les deux roues (voir § 2.1).

Mais en réalité, les 2 roues ne peuvent réagir de façon parfaitement symétrique, et le résultat de la moindre dissymétrie entre elles est une importante différence des fonctionnements transitoires de l'une et l'autre à l'instant où la première aborde la zone en "S" de sa caractéristique

La pente raide de la montée en pression qui est la première particularité du pic de surpression trouve une explication dans la dissymétrie de fonctionnement entre les deux roues.

En effet, il est possible de comprendre la raison de cette remontée rapide de la pression en voyant que dans un fonctionnement dissymétrique des deux roues, elle correspond à la coupure du débit par une seule roue, celle qui a vu son point de fonctionnement entrer dans le "S", tandis que l'autre roue, restant à même vitesse et même chute que la première, donc à même n_{11} , se retrouve dans le même temps en train d'absorber au contraire davantage de débit, comme tente de le montrer le graphique 1 ci-dessous.

En conséquence, la valeur de dQ/dt qui explique le coup de bélier Δp correspondant au Δn_{11} du "S", est atteinte par une variation globale du débit plus faible mais dans un temps plus court que si les deux roues avaient fonctionné de façon strictement semblable. D'où la rapidité du phénomène. D'où la première pente très raide du pic de surpression.

1.2. Amplitude importante du pic

Par contre l'importance du pic de surpression est difficile à comprendre car il faudrait pour l'expliquer une forme en "S" très accentuée de la caractéristique qu'on ne retrouve pas habituellement sur les équiuvertures d'une turbine de faible vitesse spécifique. Il faudrait un "S" aussi marqué que celui rencontré dans les collines de turbines pompes comme celles de MONTEZIC, pour justifier une telle remontée de la pression à l'amont de la roue.

Deux axes de recherche viennent alors à l'esprit pour tenter d'expliquer cette amplitude importante du pic et du "S" qui lui aurait donné naissance.

- la première recherche une possibilité d'explication dans le fait que la roue double a une géométrie de l'entrée différente de celle d'une roue simple avec en particulier l'absence de plafond juste à l'amont de la roue.

Mais là, seul un essai sur plate forme d'une roue double pourrait permettre d'y voir plus clair.

- le second fait jouer un rôle fondamental à la dynamique du phénomène en cherchant dans sa rapidité même une cause possible de l'amplitude du "S". L'évolution rapide de la pression amont donc de la chute, c'est-à-dire du n_{11} met en jeu la capacité de la turbine à suivre l'évolution correspondante du Q_{11} qu'elle adopterait sans problème dans un transitoire plus lent. Mais on retombe là sur la grande difficulté de connaître la fonction de transfert réelle de la turbine $\Delta Q_{11} / \Delta n_{11}$ à fréquences élevées. Elle pourrait bien être différente de celle à faibles fréquences correspondant à la caractéristique de fonctionnement en régime permanent obtenue sur modèle (voir § 2.2.).

On peut en effet, en restant pour l'instant dans le domaine qualitatif, accepter l'idée qu'en faisant varier la chute sur la turbine à fréquence f , $\Delta Q / \Delta H \rightarrow 0$ quand $f \rightarrow \infty$, c'est-à-dire physiquement qu'une variation très rapide de la chute entraînerait une variation de débit inférieure à celle que produirait la même variation de chute effectuée plus lentement.

Et inversement une variation donnée du débit, obtenue rapidement, ne pourrait l'être que par une variation de la chute d'amplitude plus importante que celle nécessaire en régime permanent. En particulier, comme indiqué sur le schéma du graphique n° 2, quand le point de fonctionnement de la turbine, entrant dans le "S", aboutit à une certaine variation très rapide du Q_{11} , ce pourrait être grâce à une variation correspondante de la chute, donc du n_{11} , plus importante que celle nécessaire dans un fonctionnement transitoire plus lent. Le "S" obtenu de façon transitoire serait ainsi plus creusé que celui de la caractéristique de régime permanent.

Fig. 2

Il faut cependant tenir également compte de l'influence non négligeable de la cavitation sur l'importance du "S", une cavitation développée pouvant même entraîner sa suppression, comme le montre la courbe à $\sigma = 0,1$ du graphique n° 1 (7).

2 - Eléments de recherche numérique

2.1. Modélisation numérique du phénomène

2.1.1. - Un calcul de transitoires effectué sur ordinateur pour un déclenchement du groupe en introduisant comme caractéristique de la Francis horizontale double la colline classique d'un tracé sans "S", donne lieu au coup de bélier habituel dû à la coupure du débit par le distributeur s'il ferme et par la roue même du fait de sa montée en vitesse. C'est sur le graphique n° 3 l'évolution de la pression à l'amont de la turbine représentée sur la courbe 1.

2.1.2. - Si maintenant on introduit une colline présentant un "S" dans la caractéristique de plusieurs équivalences pour décrire le fonctionnement de la roue double de façon absolument symétrique on obtient alors l'évolution bien connue de la pression amont lors du passage dans le "S", telle que celle représentée sur la courbe 2 du graphique n° 3, avec la bosse classique dont on a parlé au début du paragraphe 1.1., et qui ne ressemble en rien au pic de surpression des Francis horizontales doubles.

2.1.3. - Si par contre on s'attache à décrire chacune des roues de la turbine à roue double grâce à un schéma traitant chacune d'elle comme une turbine à part entière avec pour chacune une colline présentant la même forme en "S", on obtient alors deux résultats vraiment différents suivant qu'on traite les deux roues de façon strictement symétrique ou non : dans le cas de la symétrie parfaite, on obtient évidemment la même évolution de la pression que celle représentée sur la courbe 2 puisque tout se passe comme si on avait une turbine simple. Au contraire dans le cas où on introduit la moindre dissymétrie entre les deux roues, soit dans le traitement numérique, soit dans le circuit hydraulique qui les alimente, soit dans leur caractéristique, on obtient alors par le calcul l'allure recherchée de l'évolution de la pression telle qu'elle apparaît sur la courbe 3 du graphique n° 3, c'est-à-dire le pic avec la pente raide de la montée en pression.

Fig. 3

2.2. Calcul inverse

Le calcul inverse de l'évolution du débit au cours du phénomène transitoire à partir de la connaissance du débit initial et de l'évolution de la pression à l'amont de la turbine permet en suivant l'idée de M. SIMONOT de la DTG, de retracer le cheminement du point de fonctionnement dans un diagramme (n_{11} , Q_{11}), du moment qu'on connaît à chaque instant la vitesse transitoire de la turbine.

Il suffit par exemple en utilisant un programme classique de calcul de transitoires sur ordinateur d'isoler la partie du circuit hydraulique à l'amont de la turbine, qui est généralement celle présentant la plus grande inertie de conduite, et de rentrer en conditions aux limites une pression constante en haut de conduite représentant le niveau amont et une pression en bas de conduite variant en fonction du temps comme celle mesurée à l'entrée de la turbine : on obtient alors l'évolution recherchée du débit.

Connaissant à chaque instant la chute correspondante sur la turbine, la vitesse de rotation et l'ouverture du distributeur on peut en déduire les variations dans le temps du débit réduit et de la vitesse réduite Q_{ll} et n_{ll} permettant de suivre le point de fonctionnement sur la caractéristique de la turbine en fonction de l'ouverture. Cela permet de mettre en évidence au moment du pic de surpression une réduction brutale du n_{ll} accompagnée d'une diminution du Q_{ll} qui ressemble fort à ce que pourrait provoquer une forme en "S" très marquée dans la caractéristique de la turbine.

Cela ne signifie pas qu'on puisse reconstituer la caractéristique de chacune des roues et encore moins leur caractéristique de régime permanent. En effet, on peut craindre qu'une dissymétrie dans les fonctionnements des deux roues interdise cette simplification consistant à répartir le débit global instantané de la turbine de façon égale entre les deux roues.

Néanmoins, cette méthode par calcul inverse du débit donne une bonne idée de la singularité qui pourrait provoquer le pic de surpression : une forme en "S" dans la caractéristique de la turbine.

2.3. Influence du rapport θ/τ

Partant donc de l'idée qu'un "S" dans la caractéristique de la turbine peut être à la base d'une explication possible du pic de surpression rencontré lors du déclenchement de certaines Francis horizontales doubles, il fallait tenter de comprendre pourquoi le phénomène ne se produisait que sur certaines d'entre elles.

Deux explications simples peuvent être trouvées à cela :

- soit le "S" de la caractéristique ne peut pas toujours être atteint au cours du fonctionnement transitoire,
- soit le "S" est insuffisant ou même inexistant du moins dans les zones de la colline traversées par le point de fonctionnement pour certaines raisons qu'on essaiera de présenter au paragraphe 3.

Mais s'il existe, pourquoi le "S" ne serait-il pas toujours atteint?

Tout dépend de son éloignement sur la colline par rapport à la courbe de couple nul et du dépassement transitoire de celle-ci par le point de fonctionnement.

Nous n'évoquerons pas ici les paramètres influant sur cet éloignement du "S" par rapport au couple nul. Nous avons par contre vérifié numériquement l'influence du rapport θ/τ sur le dépassement transitoire de la courbe de couple nul.

Quand on augmente la valeur de θ/τ , quelle que soit la cause de l'augmentation de ce rapport, on obtient toujours un écart transitoire du point de fonctionnement par rapport à la courbe de couple nul plus grand.

C'est-à-dire qu'une même turbine pourra ou non atteindre la zone en "S" de sa caractéristique suivant que le rapport θ/τ est plus ou moins grand.

3 - Résultats d'expériences industrielles

3.1. MOUTHIERS ST PIERRE et LA BRIDOIRE

Ce pourrait justement être une différence entre les valeurs du rapport θ/τ de ces deux installations qui explique la présence du pic de surpression lors des déclenchements du groupe de LA BRIDOIRE alors qu'il n'existe pas à MOUTHIERS ST PIERRE. Les deux Francis horizontales doubles sont en effet identiques, la roue double de l'une pouvant être montée sur l'autre. Cependant la première est alimentée par une conduite plus longue et une valeur plus grande du rapport θ/τ pourrait lui permettre d'atteindre le "S" tandis que la seconde pourrait au contraire l'éviter du fait d'une moins grande inertie de conduite (L.V) et d'une valeur plus faible de θ/τ .

En fait, la zone en "S" de la colline quand elle existe est assez souvent limitée aux moyennes ouvertures du distributeur dans la gamme de vitesses spécifiques des tracés généralement utilisés dans les Francis horizontales doubles. Ce qui pourrait également expliquer l'absence de pic de surpression à MOUTHIERS ST PIERRE où la conduite plus courte permet de fermer le distributeur plus rapidement qu'à LA BRIDOIRE

et permet ainsi d'éviter la zone en "S" en se retrouvant à couple nul sur des ouvertures assez faibles pour ne pas présenter la singularité.

3.2. LE HOURAT et MONISTROL D'ALLIER

Inversement dans le cas du HOURAT, c'est par une loi de fermeture très lente qu'on a réussi à éviter le pic de surpression initialement obtenu lors des premiers essais sans doute parce qu'en partant ainsi à l'emballlement sur des ouvertures assez grandes hors de la zone en "S", on a pu éviter celle-ci lors du franchissement de la courbe de couple nul et ensuite traverser les ouvertures avec "S" suffisamment près du couple nul pour ne pas accrocher la singularité.

C'est ce même type de loi de manoeuvre qu'on voulait tester à MONISTROL D'ALLIER pour tenter de réduire, voire supprimer, le pic de surpression soumettant à rude épreuve cette machine à chaque déclenchement de charges supérieures à la mi-charge. Malheureusement, même en laissant le distributeur ouvert jusqu'à obtention de l'emballlement et même au-delà le pic a continué à sévir, sans doute parce que le tracé de cette roue double a une zone en "S" étendue jusqu'aux plus grandes ouvertures utilisées. Par contre, les moyens d'essais mis en oeuvre à MONISTROL D'ALLIER, avec l'aide de la DTG, de la REAM et du chef de centrale ont permis de mieux appréhender ce phénomène du pic de surpression en particulier en effectuant toute une série d'enregistrements rassemblés dans le recueil des essais de juin 1982 sur le groupe n° 4 (5).

La bonne concordance entre l'allure des pics enregistrés et celle des pics calculés sur ordinateur par la méthode indiquée au paragraphe 2.1.3. conduit à penser qu'effectivement le "S" pourrait bien expliquer le pic, même si actuellement les calculs sur ordinateur ne permettent pas de prévoir l'importance du pic de surpression, dans la mesure où elle dépend de l'amplitude du "S" rentré dans les données décrivant la colline de chacune des roues qui composent la roue double.

3.3. Après le pic des PIQUES, plus de pic à OCANA :

Les Francis horizontales doubles des PIQUES dans les Pyrénées donnent lieu au pic de surpression dans les déclenchements de fortes charges. La même roue a été reconduite sur les turbines d'OCANA et TOLLA avec pour seule différence une entrée des aubes retaillée afin d'augmenter légèrement sa vitesse spécifique, ce qui a pour effet d'augmenter l'espace entre distributeur et roue. Or cet entrefer doit pouvoir jouer un rôle prépondérant dans l'existence ou non du "S", en tous cas sur sa forme, son amplitude et son positionnement dans la caractéristique des roues. En particulier, l'augmenter devrait aller dans le sens d'une réduction du "S", singularité qu'on explique par une interinfluence entre le tourbillon dans la roue dû à un effet de pompe centrifuge et le distributeur (6).

Bien sûr d'autres paramètres pourraient expliquer la quasi disparition du pic sur la machine initiale d'OCANA et sur celle de TOLLA où l'on ne découvrirait qu'une petite pointe de surpression vers la fin de fermeture du distributeur, très éloignée du vigoureux pic constaté sur les turbines des PIQUES.

Mais l'incident survenu sur la roue d'OCANA où l'entrée des aubes a été rognée par un corps étranger, vient apporter une raison supplémentaire pour penser que l'entrefer entre distributeur et roue peut jouer un rôle important dans la présence ou non du pic de surpression. En effet, l'augmentation de cet espace du fait des aubes accidentellement rognées a entraîné la disparition totale de la moindre trace de pointe de surpression assimilable au pic incriminé. On peut il est vrai penser aussi qu'indépendamment de l'augmentation de l'entrefer, le rognage des aubes à l'entrée a suffisamment augmenté la vitesse spécifique de la roue pour réduire l'effet centrifuge et par là même le tourbillon qu'on rendait responsable du "S", et expliquer ainsi à OCANA la disparition totale du pic de surpression qu'on avait de façon très marquée sur les Francis des PIQUES.

4 - Conclusion

Un essai industriel sans doute coûteux mais tellement concluant s'il s'avérait positif consisterait justement à récupérer la roue rognée d'OCANA, après son remplacement par la nouvelle roue en préparation,

et à la monter pour la durée de l'essai sur la Francis des PIQUES afin de vérifier si les aubes rognées et l'espace accru entre distributeur et roue conduisent à la suppression, du moins à une diminution du pic de surpression. Ce serait un essai voisin de celui effectué il y a plus de 30 ans à la BRIDOIRE, mais cette fois avec une différence notable entre les géométries des deux roues.

La recherche sur le pic de surpression des Francis horizontales doubles n'est pas terminée, il s'en faut. Elle a jusqu'à maintenant été surtout conduite dans le domaine de la réflexion et des hypothèses, manquant des moyens industriels que seule pourrait permettre une affaire importante. Mais une série d'affaires plus modestes comme celle de l'ensemble des Francis doubles restant à installer en France pourrait tout autant justifier l'intérêt de cette recherche. Outre des essais sur prototype en centrale, il serait primordial de prévoir des essais sur plate-forme pour mettre en évidence l'influence des divers paramètres.

Le but essentiel de ce rapport d'études était de marquer notre volonté, commune à EDF et NEYRPIC, d'arriver à comprendre parfaitement, prévoir et calculer ce pic de surpression et si possible le supprimer ou du moins le réduire dans tous les cas où il pourrait conduire à des valeurs critiques de la pression dans la conduite, ou à des vibrations dangereuses pour la machine. Notre souci principal est de ne pas laisser tomber dans l'oubli ce phénomène curieux tant que l'installation de nouvelles Francis horizontales doubles pourra être envisagée.

Bibliographie

- (1) The calculation of water hammer problems by means of a digital computer, par SUTER
Revue Technique SULZER, 1966
- (2) Modèles mathématiques d'installations hydrauliques, par A. NEMET
Bulletin ESCHER-WYSS, 1/1974
- (3) Calcul du coup de bélier et sécurité des installations hydro-électriques, par A. NEMET
Bulletin ESCHER-WYSS, 1/1978
- (4) MONISTROL D'ALLIER - Essais de juin 1982 sur le groupe n° 4, par Mme BORNANCIN
- (5) Effets spéciaux dus à la caractéristique particulière des turbines de vitesse spécifique faible, par JP TAULAN
- (6) Rapports d'essais de mise en service d'OCANA et TOLLA, par MM VIVET et BRUSA-PASQUET
- (7) Influence de la cavitation sur les caractéristiques moyennes et instantanées des turbines et des pompes-turbines, par M. BORCIANI Guido, HYDROART S.p. A. et M. THALMANN Raoul, A.C.M. VEVEY
SHF Comité technique 1981
- (8) LA BRIDOIRE - Etude des surpressions engendrées dans les conduites forcées par les déclenchements du groupe principal - Synthèse des essais exécutés de 1953 à 1963, 24 août 1965 par M. P. CAMPMAS.

Discussion

Président : M. M. PACCARD

Monsieur le Président pense que l'exposé de *Monsieur TAULAN* ouvre des voies pour élucider les problèmes posés par ces types de Francis. Davantage d'essais en laboratoire, in situ, et des calculs devraient permettre de confirmer ces théories.

Monsieur MAGRI demande la vitesse spécifique des machines et si celles-ci ont été essayées au σ d'installation, au-delà de l'emballlement ? *Monsieur TAULAN* précise que ce σ est inférieur à 100 tr/min (puissance indiquée en kW) et que les Francis doubles n'ont jamais été essayés sur plateforme. Par contre, des essais ont été effectués sur des roues simples de même σ . *Monsieur AMBLARD* ajoute que pour les petits σ le σ a peu d'importance (ce que d'autres constructeurs ont également observé). Pour les grands σ , le phénomène est important. Pour les Francis doubles, comme le σ est petit le σ n'a pas une influence notable dans la zone d'emballlement. On n'arrive pas à réduire le « s » par la cavitation (cas de Montezic).

Monsieur TAULAN indique une modification de la courbe en « s » qui permet de retrouver l'enregistrement fait lors des essais.

Monsieur ROVARO demande des précisions sur la loi de fermeture et le temps caractéristique de la conduite.

M. TAULAN indique à titre d'exemple que le temps de lancer de la conduite est 0,5 s à Tolla et 1,8 s à Ocana et la loi de fermeture linéaire; il précise qu'il a essayé de faire disparaître le pic obtenu avec des lois linéaires en introduisant des paliers et des cassures dans la loi de fermeture.

M. ROVARO pense que changer la vitesse de fermeture peut être contre indiqué, notamment si la première partie de manœuvre entraîne la formation de bulles de cavitation, car l'implosion de ces bulles provoque des surpressions pas toujours détectables à l'aval qui peuvent passer en amont.

M. AMBLARD rappelle que ce « s » apparaît souvent dans les pompes-turbines et que cela peut poser des problèmes pour les phénomènes transitoires. Ils sont généralement résolus à l'aide de lois de manœuvre du distributeur adaptés.

Monsieur le Président demande si la durée du phénomène serait de l'ordre de grandeur de celle observée s'il s'agissait d'une implosion de poche de cavitation. *M. TAULAN* note que la durée observée est longue pour correspondre à une telle implosion et qu'il n'y a aucune surpression dans l'aspirateur.

Monsieur SIMONNOT, à propos des implosions dans l'aspirateur, relate les essais de la Bridoire, effectués il y a plus de trente ans. Ceux-ci montraient que la brutalité du phénomène transitoire était liée à une perturbation de l'écoulement entre distributeur et roue : on observait de violentes réactions de torsion sur les directrices et le palier de la turbine. Comme il n'y avait pas d'à-coups de pression en sortie de roue, ni de poussée sur la butée, l'éventualité d'une implosion était à rejeter. La fermeture de la machine à vitesse rapide ne donnait plus lieu au phénomène, au contraire de la manœuvre inverse, qui consistait à retarder la fermeture du distributeur.

Ce qui est caractéristique pour les pompes-turbines ne l'est pas systématiquement pour les Francis remarque *Monsieur ROVARO*. Les roues de pompes et de pompes-turbines ont des caractéristiques telles qu'il s'y crée des instabilités.

Monsieur TAULAN s'inquiète de savoir si ce phénomène a été observé chez Hydroart ou chez Voith pour des Francis doubles de faible σ . *Monsieur ROVARO* et *Monsieur LIESS* répondent que non.

Monsieur SIMONNOT pense que le passage du fonctionnement en turbine à l'hyperemballement n'est pas représenté par une courbe de transition unique et invariable; il faut tenir compte du caractère aléatoire des perturbations de l'écoulement dans l'entrefer.

Monsieur TAULAN à ce sujet signale que plus le transitoire est rapide, plus cette courbe de transition s'éloigne du permanent suivant lequel la caractéristique a été mesurée. Le « s » pourrait se trouver accentué du fait de l'écoulement rapide et de la variation rapide de cet écoulement.