Les pompes à huile de 20 à 60 kg/cm² de pression utilisées dans les centrales hydroélectriques

Screw pumps in hydroelectric power stations

PAR R. VAZEILLE

INGÉNIEUR A LA COMPAGNIE NATIONALE DU RHONE

L'observation du programme de production d'énergie d'une centrale hydroélectrique, qui comporte généralement une fourniture de base en régime continu, dépend dans une large mesure du parfait fonctionnement du mécanisme de réglage charge-vitesse des turbines.

Ce mécanisme détecte les moindres variations des grandeurs qu'il contrôle et provoque aussitôt les mouvements de réglage propres à rétablir l'équilibre rompu.

Il assure aussi les manœuvres de sécurité, la mise hors service et l'arrêt complet du groupe en cas de défectuosité grave de fonctionnement. Pour exécuter ces divers ordres, il dispose d'une source permanente d'énergie, constituée par une réserve d'huile maintenue en pression au moyen d'un groupe de pompage et d'un accumulateur sous pression d'air.

D'autres manœuvres de sécurité, comme la fermeture d'urgence des pales d'une roue Kaplan ou la commande d'une vanne de coupure, sont effectuées également par des dispositifs de pompage du même genre.

Les conditions de fonctionnement et les caractéristiques particulières des pompes utilisées imposent pratiquement le type à vis, notamment lorsqu'il s'agit de puissantes turbines de basses ou moyennes chutes, et la qualité de fabrication requise pour assurer sans défaillance le service que l'on en attend limite assez vite le choix des utilisateurs.

Le mémoire traite du rôle important de ces pompes, de leurs conditions de fonctionnement, et des difficultés rencontrées dans leur fabrication.

Les incidents auxquels elles ont donné lieu sont relatés brièvement, et diverses suggestions concernant leur installation et le contrôle de leurs qualités techniques sont proposées.

Keeping to a hydroelectric power station power production programme, which usually allows for a continuous basic output, largely depends on the load-speed governing machinery working faultlessly.

This machinery detects the least variation of the factors it controls and immediately actuates suitable control activity to reestablish equilibrium.

It also actuates emergency operations, closing down and completely stopping the unit when serious defects occur.

These various operations depend upon a permanent source of power consisting of an oil supply pressurized by a pump unit and an air pressure tank.

Other emergency operations such as closing a Kaplan turbine's blades or controlling a shut off gate are also actuated by similar pumping devices.

The need for screw pumps is determined by the special operating conditions and the required pump characteristics, especially where low and medium head turbines are concerned. The choice of pumps is very limited by the high manufacturing standards required to ensure that they will operate without failures.

This paper describes the important part played by such pumps, their operating conditions and the difficulties encountered during their manufacture.

GÉNÉRALITÉS

Le système de réglage charge-vitesse d'une turbine hydraulique, et notamment d'une Kaplan,

met en jeu des efforts considérables, et, par suite, demande de puissants moyens d'action,

pour produire avec la promptitude voulue le travail nécessaire aux manœuvres de réglage, et aussi aux manœuvres urgentes de sécurité en cas d'incident.

Les moyens mis ainsi à la disposition du régulateur se présentent habituellement sous la forme d'une réserve d'huile maintenue en pression par

un groupe de pompage à fonctionnement continu, et par un accumulateur tampon sous pression d'air.

Nous nous proposons d'examiner spécialement le matériel de pompage utilisé dans ces installations.

CONDITIONS D'UTILISATION DES POMPES DE RÉGULATION

Les caractéristiques essentielles demandées, caractéristiques qui déterminent le choix du matériel de pompage, sont généralement les suivantes :

PRESSION : la pression de service préconisée par les constructeurs des turbines varie habituellement entre 20 et 30 hpz.

DÉBIT : le débit est lié à la puissance et au type de la turbine considérée, mais il est souvent élevé et peut atteindre 800 à 1.200 l/mn.

MISE EN PRESSION : le pompage ne doit produire aucune émulsion qui risquerait de provoquer des désordres dans le fonctionnement des mécanismes de régulation. Ceci est très important et l'installation comporte toujours un grand réservoir de tranquillisation où l'écoulement de l'huile est spécialement étudié en vue de favoriser la résorption des bulles d'air introduites aux points de décharge des tuyauteries d'évacuation, et surtout d'éviter que ces bulles d'air soient entraînées vers le compartiment d'aspiration et reprises par les pompes.

Les pompes à vis satisfont remarquablement à l'ensemble de ces conditions, ce qui justifie leur présence dans la plupart des systèmes de régulation, étant indiqué cependant que pour les faibles débits, les pompes à engrenages conviennent également très bien.

Le service que l'on demande à ces pompes de régulation est extrêmement dur. Il n'est pas rare, en effet, qu'elles fonctionnent de façon continue durant des semaines, voire des mois sans la moindre interruption, toute défaillance entraînant la mise hors service immédiate d'une grosse unité de production, et par suite des pertes énormes d'énergie. Pour réduire d'ailleurs le risque coûteux d'un tel arrêt, le maître de l'œuvre prévoit toujours une pompe de réserve qui intervient automatiquement si la pompe normale s'arrête.

La marche de la pompe de régulation s'effectue suivant un cycle assez régulier lorsque la

turbine est en régime stable. Ce cycle comprend :

- Une période de marche à vide, où la pompe refoule sans pression dans le réservoir à air libre;
- Une période de marche en charge, où la pompe débite sur les circuits de réglage et leur accumulateur, et remonte la pression de sa valeur minimum à sa valeur maximum, l'écart entre ces deux valeurs étant de 10 à 15 % de la pression maximum.

Un dispositif automatique contrôle la pression du circuit et oriente le débit de la pompe.

Dans certaines installations, la pompe débite en permanence à pression sensiblement constante et des soupapes de sûreté protègent le circuit contre une élévation de pression.

A côté des pompes assurant la production d'huile sous pression dans les systèmes de régulation, on trouve également dans les installations hydro-électriques d'autres pompes à vis utilisées pour la commande de vannes, ou pour l'exécution de manœuvres de sécurité, telle la fermeture des pales d'une roue Kaplan en cas d'emballlement.

Le fonctionnement de ces pompes est très rare, voire exceptionnel, mais il doit être absolument sûr, une défaillance au moment de leur intervention n'étant pas concevable en raison des conséquences catastrophiques qu'elle pourrait avoir.

Les conditions d'emploi sont donc assez différentes de celles des pompes de régulation, d'autant plus que la pression de service est ici plus élevée (40 à 100 hpz) et que le mode d'entraînement, par turbine ou par engrenage calé sur l'arbre du groupe, ne permet pas un fonctionnement à une vitesse constante, bien connue à l'avance.

Description sommaire

La pompe à vis est une pompe volumétrique à déplacement axial. Elle comprend essentielle-

ment une vis hélicoïdale menante, et une ou plusieurs vis menées, ces vis tournant dans les alésages parallèles et sécants d'une pièce massive solidaire du corps de pompe, ou du corps de pompe lui-même.

Les profils conjugués des filets ont une ligne de contact parfaite, ce qui fait agir les vis comme un piston à déplacement continu dans le même sens.

Ainsi le fluide pompé est mis en pression par un mouvement de translation, sans aucune turbulence.

Une garniture d'étanchéité et un dispositif de butées absorbant les réactions axiales complètent ce schéma extrêmement simple.

Matériels proposés

Peu de constructeurs se sont intéressés à la fabrication délicate des pompes à vis, et trois ou quatre concurrents européens seulement se trouvent actuellement connus en France. Ce sont :

- la Société I.M.O., de Stockholm,
- la S.C.A.M., filiale de la C.E.M., qui construit au Havre, sous licence I.M.O.,
- la maison LEISTRITZ, de Nuremberg,
- la Société S.I.G., à Neuhausen, près de Schaffhouse.

POMPES S.C.A.M. ET I.M.O.

Les pompes I.M.O. et celles construites par la S.C.A.M. sont évidemment identiques. Leur particularité est la liberté totale des vis dans le sens axial. Celles-ci sont en outre partiellement équilibrées grâce à un système de canaux qui amène le fluide en pression sur la face chargée, et pour chacune d'elles, une butée reçoit la poussée résiduelle.

La garniture est du type à anneau tournant.

POMPES LEISTRITZ.

Les pompes Leistritz ont des vis à profil rectangulaire alors que celui des vis S.C.A.M.-I.M.O. est trapézoïdal.

Les vis Leistritz sont aussi équilibrées par une contre-pression d'huile, mais les poussées résiduelles des satellites sont reportées sur la vis principale au moyen de collets de butée, ou d'engrenages à taille oblique.

Une seule butée-pivot à coin d'huile, disposée sur la vis principale, reçoit donc les réactions axiales de l'ensemble rotor.

L'étanchéité est du type classique à presse-étoupe.

POMPES S.I.G.

Mentionnées simplement pour mémoire, ces pompes semblent assez peu connues en France.

Une nouvelle version de ce matériel est cependant utilisée de façon courante en Suisse depuis quelques années.

Les vis ont des filets trapézoïdaux.

La garniture comporte un joint en néoprène.

Difficultés de fabrication

Les pompes à vis sont d'un dessin remarquablement simple, mais leur bon comportement en service exige une fabrication de haute qualité, qui ne peut être obtenue que par la mise en œuvre de moyens importants :

- Outillages de grande précision;
- Traitements thermiques ou autres, délicats;
- Contrôles rigoureux en cours de fabrication;
- Essai final en plateforme.

Les difficultés d'exécution concernent notamment les pièces suivantes :

Vis. — Leur profil doit être parfaitement réalisé; le rendement de la pompe en dépend.

Or, pour les pressions d'utilisation qui nous intéressent, les vis, et surtout la vis principale, sont généralement en acier allié de premier choix, et subissent, en fin d'usinage, un traitement de nitruration qui leur confère une grande dureté superficielle et permet un polissage parfait, d'où une grande résistance à l'usure et un coefficient de frottement extrêmement réduit. Ce traitement, lié à la rectification finale du profil, est une opération extrêmement délicate, pour laquelle chaque constructeur applique sa technique particulière, mais malgré les progrès accomplis ces dernières années, les déformations après traitement, les accidents thermiques, et par suite les rebuts ne sont pas très rares. Aussi les constructeurs ont-ils cherché à obtenir les qualités requises au moyen d'autres procédés aux résultats moins aléatoires, et la S.C.A.M., par exemple, pratique depuis quelque temps le traitement de sulfinisation.

CHEMISES. — Les chemises, généralement en fonte, quelquefois en bronze, demandent également beaucoup de soins et un contrôle minutieux du matériau. Nous avons pu constater, en effet, qu'il est indispensable que la matière soit parfaitement saine, le moindre défaut de surface dans les alésages risquant d'amener rapidement de graves détériorations. Une intransigeante sévérité est donc manifestée vis-à-vis du fondeur qui fournit ces pièces.

Incidents d'exploitation

Ils sont de deux sortes :

- Les incidents mineurs, fuites des garnitures, ou échauffement exagéré des paliers ou des butées.

On peut y remédier assez vite, généralement, sans compromettre le service assuré.

- L'incident grave, qui est le grippage d'une ou de plusieurs vis, ou quelquefois des butées. Heureusement rares aujourd'hui, de tels grippages affectaient souvent et successivement les pompes d'une même installation, ce qui était fort gênant pour l'exploitation de ladite installation, mais permettait par contre de trouver plus aisément et plus sûrement la cause profonde de l'incident, et par suite d'y porter remède efficacement.

On connaît ainsi maintenant les précautions spéciales à prendre pour le montage et la mise en service de ces pompes et l'on sait que certaines conditions doivent être réalisées de façon impérative pour obtenir un fonctionnement sûr.

Nous citerons notamment les points suivants, pour lesquels l'expérience acquise a permis de retenir les meilleures solutions.

1° ROTATION A SEC :

Elle doit être absolument évitée, le grippage des vis étant à peu près certain dans un temps très court. En conséquence, la pompe est installée, chaque fois que cela est possible, avec une légère charge à l'aspiration. Dans le cas contraire, on prévoit un élément en forme de siphon sur la tuyauterie d'aspiration, ce qui évite le dénoyage total de la pompe à l'arrêt.

Nous pensons toutefois que le traitement de sulfinitation, en améliorant les conditions de frottement, rend le fonctionnement à sec beaucoup moins dangereux et les vis traitées de cette façon permettent peut-être un amorçage direct de la pompe dénoyée.

2° DÉMARRAGE SOUS COUPLE ÉLEVÉ :

Les vis à filets trapézoïdaux supportent mal les fortes accélérations de démarrage.

Le profil du filet des satellites et la forme aiguë de l'arête expliquent assez bien cette particularité : la forte pression spécifique sur la ligne de contact entre vis risque, en effet, de provoquer un léger arrachement de métal, généralement fatal.

Dans le cas, le plus fréquent, où l'entraînement est effectué par un moteur électrique, on prévoit donc un démarrage en plusieurs temps au moyen de résistances statoriques.

L'entraînement par turbine ne pose habituel-

lement pas de problème, la montée en vitesse étant régulièrement progressive.

Les pompes dont les vis ont des filets à section carrée, supportent bien par contre des couples de démarrage élevés. Avec ce matériel, le mode de démarrage est uniquement conditionné par la puissance du moteur et par l'intensité du courant appelé.

3° DÉMARRAGE EN CHARGE CONTRE UN CLAPET DE RETENUE :

De même que le démarrage sous couple élevé, et pour les mêmes raisons, la prise de charge au cours de la montée en vitesse est à éviter lorsque l'on a affaire à des vis à filets trapézoïdaux. Certains constructeurs recommandent vivement d'ailleurs l'emploi d'une soupape auxiliaire qui dérive le débit refoulé sur le bac d'aspiration pendant la période de démarrage, et le rétablit sur les circuits d'utilisation lorsque la vitesse nominale est atteinte.

Les pompes comportant des vis à filets carrées ne demandent par contre aucune précaution spéciale à ce sujet et il est courant de les faire démarrer en charge contre un clapet de retenue.

4° FILTRATION INSUFFISANTE :

Il est indispensable que l'huile véhiculée par la pompe soit parfaitement filtrée. La valeur très faible des jeux entre les pièces actives impose cette condition de façon impérative, la moindre particule métallique entraînée dans les vis risquant de commencer un grippage.

Des filtres très efficaces sont donc prévus systématiquement sur l'aspiration des pompes.

5° ROTATION EN SENS INVERSE :

Un tel fonctionnement est évidemment fatal pour tout genre de pompe à vis. Il n'est cependant pas exceptionnel. Nous pouvons citer par exemple le cas d'une centrale mise hors de service pendant plusieurs jours à la suite du branchement des services auxiliaires sur le réseau définitif d'alimentation.

L'entreprise chargée de faire ce travail avait omis de vérifier l'ordre des phases et il s'est trouvé que le sens de rotation était inversé.

A la remise en route des turbines de la centrale, les pompes de régulation, entraînées à l'envers, ont grippé immédiatement. Les pompes de secours, qui se substituent automatiquement aux pompes normales en cas de défaillance de celles-ci, n'ont pas manqué d'intervenir et ont grippé à leur tour avant que le personnel ait eu le temps d'intervenir. Certes, il y avait là une faute grave, heureusement très rare, à l'origine

de l'incident; le sens de rotation est toujours soigneusement vérifié après installation de la pompe, au moment du branchement de son moteur d'entraînement. C'est précisément au cours de cette opération que la pompe risque d'ailleurs d'être détériorée. Généralement averti de l'importance qu'il y a à faire tourner la pompe dans le bon sens, l'électricien qui fait le branchement vérifie presque toujours la rotation au moyen de quelques impulsions successives. Il y a ainsi une chance sur deux pour que la pompe subisse un lancer en sens inverse. Au surplus, le remplissage d'huile n'est souvent pas effectué à ce moment et la rotation a lieu à sec. Tout ceci est plus que suffisant pour amorcer un sérieux grippage qui se développera à la mise en service effective de la pompe, quelques semaines ou même quelques mois plus tard, et il est fort probable que bien des incidents survenus au cours des premières heures de service peuvent s'expliquer de cette façon.

6° EFFETS DE LA DILATATION :

La précision de la fabrication, les faibles jeux entre pièces actives, font que les effets d'une dilatation provoquée par l'échauffement rapide de l'huile véhiculée par exemple, sont mal supportés. Ce cas n'est toutefois pas à retenir pour les installations qui nous préoccupent, où l'huile est à une température pratiquement constante et peu élevée.

Vœux de l'exploitant — Suggestions diverses

Le rôle essentiel des pompes à vis utilisées dans les systèmes de réglage des turbines hydrauliques a été souligné : la faculté de produire d'une centrale est directement liée au fonctionnement correct de ces pompes.

De même les conséquences désastreuses du fonctionnement à l'emballlement, risque le plus grave encouru par un groupe hydro-électrique, sont évitées grâce à l'intervention rapide d'une pompe à haute pression.

L'exploitant souhaite donc des pompes parfaitement sûres, même si cette sécurité de marche, en régime continu pour les pompes de régulation, exceptionnelle pour les pompes d'emballlement, devait être obtenue au prix d'une légère baisse de leur rendement.

Bien qu'une amélioration continue de la qualité de fabrication soit observée, il semble que la sécurité de fonctionnement de ces matériels

pourrait être encore accrue, moyennant l'application de quelques règles, dont l'efficacité a déjà pu être vérifiée dans des cas particuliers. Ce sont :

1° LES VÉRIFICATIONS ET CONTRÔLES EN PLATE-FORME :

Habituellement le constructeur se contente d'un court essai permettant de vérifier les caractéristiques de la pompe.

Ceci est utile, mais ne donne pas une garantie suffisante, alors que l'expérience a montré qu'une épreuve plus complète en plateforme constituait une véritable assurance contre une défaillance ultérieure du matériel.

Cette épreuve comportait :

- Un essai de fonctionnement de longue durée, reproduisant les conditions réelles maximales (pression, débit, viscosité, vitesse) du service industriel;
- Une série de démarrages et de prises de charge successives;
- Un démontage et une vérification minutieuse des pièces essentielles.

L'avantage d'une telle épreuve est, en fait, de reporter chez le constructeur, où tous les contrôles sont possibles, la période difficile des premières heures de fonctionnement au cours desquelles les incidents se produisent le plus souvent.

Ne serait-il pas possible, par conséquent, de généraliser son application?

Pour les pompes dont le fonctionnement industriel est exceptionnel, comme les pompes d'emballlement, les essais en plateforme devraient être encore prolongés de façon à réaliser un véritable rodage des pièces en mouvement.

2° LES CONSIGNES RELATIVES A LA LIVRAISON ET AU MONTAGE :

Souvent la pompe est livrée avec son moteur, l'ensemble étant complètement réglé avec l'accouplement et monté sur un socle commun.

Pour se prémunir contre les risques d'une rotation en sens inverse lors du branchement du moteur, il serait bon :

- 1° D'attirer l'attention du personnel installateur sur ce danger par une inscription très visible sur la pompe;
- 2° De démonter les pièces d'entraînement entre plateaux d'accouplement et d'en faire un colis annexe, en précisant qu'elles ne doivent être replacées qu'au moment de la mise en service effective de la pompe.

CONCLUSION

Cette courte communication a eu pour objet principal de souligner le rôle difficile mais essentiel des pompes à vis utilisées dans les centrales hydro-électriques, et de montrer l'importance qu'il faut attacher à certaines conditions d'installation et d'emploi.

Au cours de ces dernières années, les nombreuses centrales mises en service ont utilisé de non moins nombreuses pompes à vis, et il est certain que si cet accroissement des besoins a imposé la mise en œuvre de nouveaux moyens

de fabrication, il a entraîné aussi une amélioration de sa qualité.

Cependant, il n'est pas exclu que d'autres améliorations soient encore réalisables, et, devant le peu de variété des formules constructives, ce n'est que par une collaboration étroite entre constructeurs et utilisateurs que l'on obtiendra les meilleurs résultats.

Dans cet ordre d'idées, il serait extrêmement intéressant de connaître l'avis et les suggestions d'autres utilisateurs, pour des domaines d'application probablement assez différents.

DISCUSSION

Président : M. GABRIEL

M. le Président rend hommage à la technologie profonde qui ressort de l'exposé de M. VAZEILLE dans le domaine des circuits d'huile relatifs aux servo-moteurs des grandes turbines et des grandes vannes et souligne les remarques pertinentes qu'il a faites sur tous les types de pompe relative à ces circuits, et qui concernent :

- Les dangers des émulsions, que l'on vainc par la mise en charge de la pompe;
- Les dangers des poussières (poussières métalliques, débris de maçonnerie, débris de chiffons) contre lesquels on n'a pas encore trouvé de solution, sinon de recommander aux monteurs un soin vraiment extrême;
- Les mérites respectifs des divers types de pompes (pompes à vis et pompes à engrenages, celles-ci n'ayant pas dit leur dernier mot).

M. LEPESSOR signale que les pompes à vis Guinard, licence Quimbey, sont, par construction, équilibrées rigoureusement. A l'inverse des constructions citées, chaque mobile comporte deux vis opposées, le refoulement se faisant au centre, en opposition.

M. VAZEILLE indique que, dans les constructions citées, il existe également des variantes à vis opposées symétriques, mais qu'à sa connaissance cette disposition est assez rarement rencontrée dans les installations de régulation des grosses turbines.

M. DE SAINT-VAULRY pense que les caractéristiques des pompes à huile citées par M. VAZEILLE (débits de 600 à 1.200 l/mn et pressions de 20 à 30 kg, viscosité comprise entre 5 et 9 degrés Engler) sont parfaitement réalisables avec des pompes centrifuges qui, par rapport aux pompes à engrenages, auront certes un rendement moins bon, mais une sécurité bien supérieure.

M. VAZEILLE pense que les pompes centrifuges conviendraient parfaitement, mais qu'elles ne sont pas utilisées à cet effet, probablement à cause de l'émulsion qu'elles provoquent plus abondamment que les autres types de pompes.

M. le Président estime, toutefois, que l'évolution des régulateurs nécessite, maintenant, la construction de pompes à huile dépassant 30 kg de pression et allant

jusqu'à 60 kg au moins; que, d'autre part, aucune pompe, centrifuge ou autre, ne fait d'émulsion si l'on ne permet pas l'entrée de l'air, qui est d'ailleurs un véritable danger puisque, par sa présence, les vitesses de fermeture ne sont plus déterminées.

M. FÈVRE (S.F.A.C.) indique que, dans les circuits d'huile des groupes hydroélectriques, l'air qui produit l'émulsion provient, au démarrage à froid, des retours d'huile au réservoir d'aspiration des pompes. Cette émulsion disparaît généralement au bout d'une demi-heure.

M. le Président estime que cela ne devrait pas se produire si on noyait les tuyauteries de retour, comme en est bien d'accord M. VAZEILLE.

M. DE SAINT-VAULRY remarque que de toute façon l'émulsion est surtout superficielle et qu'il y a possibilité de pomper au fond du réservoir, où la quantité d'air est réduite.

M. FOCH signale l'existence de produits anti-émulseurs, basés sur la diminution de la tension superficielle et employés dans les circuits d'huile des automobiles.

M. le Président et M. VAZEILLE craignent toutefois que ces produits, dont l'action est éphémère et le coût assez élevé, conviennent moins bien pour les régulateurs que pour les automobiles qui mettent en jeu des quantités d'huile relativement faibles, huile qui doit d'ailleurs être changée assez souvent, au bout de quelques dizaines d'heures de marche.

M. FOCH répond que, dans les automobiles, l'huile assure ces trente heures de marche dans des conditions bien plus brutales que dans les régulateurs de turbines.

M. MAITRE demande à M. VAZEILLE ce qu'il pense des pompes à vis dans lesquelles l'entraînement des satellites est assuré par des engrenages auxiliaires, dans le but, en principe, de diminuer les risques de grippage.

M. VAZEILLE répond que ces engrenages, qui sont calés en bout de vis, ne semblent guère participer à l'entraînement de celles-ci, mais paraissent surtout destinés à reprendre les poussées axiales et à les transmettre à la vis centrale.

Il faudrait toutefois poser cette question aux constructeurs.