LA HOUILLE BLANCHE

J. REY, Éditeur, GRENOBLE

Abonnement pour une Année $\left\{ \begin{array}{l} \text{France... 30 francs} \\ \text{Étranger... 40 francs} \end{array} \right\}$ Le Numéro : 5 francs

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

SOMMAIRE

LES FORCES HYDRAULIQUES. — Quelques Installations d'Accumulation par pompage récemment réalisées en France et à l'Étranger, par M. MARTIN, Ingénieur en chef à la Compagnie de Construction mécanique « Procédés Sulzer ».

HYDRAULIQUE. — La solution générale du Problème de la détermination des Dimensions Economiques Maximum d'une conduite forcée en métal et son application aux Calculs pratiques (*Fin*), par P. SANTO-RINI, ingénieur E. P. Z., directeur de la « S. A. d'Etudes et d'Entreprises », d'Athènes.

ÉLECTRICITÉ. — Conférence de M. Henri CHAUMAT, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers. — L'énergie Electrique. — L'Enseignement Technique à l'Exposition de Grenoble.

LÉGISLATION. — Les Sociétés civiles et les nouvelles exigences fiscales (Loi du 22 mars 1924), par Paul BOUGAULT, avocat à la Cour d'appel de Lyon.

DOCUMENTATION. — **BIBLIOGRAPHIE.**

LES FORCES HYDRAULIQUES

Quelques Installations d'Accumulation par pompage récemment réalisées en France et à l'Étranger

Par M. MARTIN, *Ingénieur en chef à la Compagnie de Construction mécanique « Procédés Sulzer »*

Le problème de l'accumulation de l'énergie sous quelque forme qu'elle se présente a, de tout temps, hanté l'esprit des techniciens. Plus particulièrement, depuis que l'on s'est préoccupé d'économiser d'une façon rigoureuse les ressources naturelles mises à notre disposition. On a cherché alors, d'une part, à augmenter la puissance des centrales de production, soit thermiques soit hydrauliques, le rendement des chaudières, des turbines hydrauliques ou thermiques et des génératrices s'améliorant avec l'augmentation de puissance des unités, d'autre part, à régulariser la charge des stations de production et à les faire travailler en permanence au voisinage de leur puissance de régime, c'est-à-dire de leur rendement optimum.

Les pointes de charge peuvent dans tous les cas, soit chez le producteur, soit chez le consommateur être compensées par l'emploi de moteurs à combustion interne, instrument de secours par excellence grâce à sa mise en route instantanée, à son extrême facilité de conduite et à son haut rendement.

L'accumulation par pompage, d'autre part, permet, grâce à cet ensemble remarquablement souple que constitue l'accouplement direct des pompes centrifuges à des moteurs électriques, d'utiliser d'une façon particulièrement opportune l'excédent d'énergie aux époques de faible consommation.

On fera alors refouler le groupe moto-pompe dans un réservoir supérieur dont la capacité pourra être d'autant plus faible

pour une quantité d'énergie donnée, qu'on aura pu le placer plus haut ; au contraire, aux époques où la consommation tend à dépasser la puissance disponible sur le réseau, l'eau accumulée dans le réservoir supérieur reprendra en sens inverse le chemin précédemment accompli sous l'action des pompes centrifuges et viendra actionner des turbines hydrauliques placées dans la même station que le groupe de pompage précédemment cité. A l'échappement de la turbine, l'eau pourra être recueillie dans un réservoir inférieur d'où elle reprendra à une prochaine époque creuse de consommation, son mouvement de va et vient, soit, lorsque la disposition topographique de la région s'y prête, poursuivre sa route vers l'aval et participer à la marche d'autres usines hydroélectriques.

La solution sera d'autant moins difficile, au point de vue génie civil, que l'on pourra disposer de différences de niveau plus importantes permettant d'utiliser au maximum la capacité du réservoir naturel ou artificiel dont on pourra disposer.

Aussi, est-ce dans les régions montagneuses qu'ont été réalisées jusqu'à ce jour les installations de ce type. Le principe de leur fonctionnement ressort nettement de la vue d'ensemble d'une installation déjà ancienne construite par la maison Sulzer pour la Société Anonima Electtricità Alta Italia (photo 1).

On y distingue la centrale hydro-électrique, située à proximité du réservoir inférieur et d'où part la conduite de refoulement de

la pompe reliant cette centrale au réservoir supérieur. L'eau accumulée retourne au réservoir inférieur par cette même conduite et actionne pendant les périodes de grande consommation de courant les turbines accouplées aux générateurs.

Certains esprits audacieux ont également songé à utiliser à l'application de ce principe, les réservoirs naturels que constituent dans les mines les albraques qui alimentent les pompes d'exhaure. Il n'est pas douteux qu'en créant à la surface un réservoir supérieur de capacité convenable et en installant au

Fig. 1.— Disposition générale d'une installation d'accumulation

fond groupe génératrice hydroélectrique et groupe de pompage, on pourrait réaliser le mouvement de va et vient dont il a été question tout à l'heure et régulariser ainsi la charge des centrales thermiques des régions minières, ce qui ne serait pas sans intérêt. L'idée n'a cependant pas été réalisée jusqu'à ce jour.

Au point de vue turbines et génératrices électriques, la réalisation d'une installation d'accumulation ne soulève aucun problème nouveau.

Par contre, au point de vue pompe, les unités à mettre en œuvre dépassent sensiblement, en puissance, celles auxquelles on était habitué jusqu'alors. Si les hauteurs manométriques auxquelles on a à faire face sont de l'ordre de celles constatées dans les pompes d'exhaure de mines, les débits, par contre, sont sensiblement supérieurs et nécessitent des machines dont les dimensions posent au point de vue construction un certain nombre de problèmes nouveaux.

Bien entendu, il n'est pas dans mes intentions d'apprendre à un auditoire de techniciens et de spécialistes particulièrement qualifiés, la façon dont doit se réaliser une station d'accumulation. Je me propose, plus modestement, de faire passer sous vos yeux quelques-unes des installations réalisées jusqu'à ce jour, de façon à vous permettre de vous rendre compte, par les puissances déjà atteintes, que somme toute, rien n'interdit de songer pour l'avenir à des stations de plus grande envergure encore.

Je ne citerai que pour mémoire l'installation déjà ancienne réalisée à Chevenoz (Haute-Savoie) pour la Société d'Electricité d'Evian Thonon Annemasse vers 1910 qui ne comporte que des unités de 600 CH et vous entretiendrai surtout des 4 installations de plusieurs milliers de chevaux réalisées depuis la guerre et équipées de pompes centrifuges multicellulaires Sulzer.

L'INSTALLATION DE VIVERONE

La Societa Anonima Electricita Alta Italia à Turin dispose dans le Piémont d'un important faisceau d'usines hydro-électriques dont la charge est régularisée, à l'Usine de Viverone, par pompage dans le lac de Viverone, et refoulement au lac Bertignano situé sur un plateau supérieur. Nous avons donc ici une installation comportant réservoir inférieur et supérieur naturels dont la différence de niveau peut varier de 139 à 149 m.

Le lac de Bertignano a une contenance de 300.000 m³ qui peut être portée par des exhaussements successifs de barrage à

Fig. 2.— Groupe à double effet, de 5.000 CV, de la S. A. Electricita de Alta Italia.

480.000 et 960.000 m³, ce qui correspond à des accumulations respectives de 100.000-160.000 et 320.000 Kw/h. environ.

L'organe essentiel de l'Usine de pompage est un groupe turbo moteur pompe (photo 2) de 5.000 CH qui comporte au centre la machine électrique reliée par deux accouplements débrayables, d'une part à la turbine hydraulique qui peut l'entraîner en géné-

Fig. 3.— Coupe de la pompe de 5.000 CV, de la S. A. Electricita de Alta Italia.

ratrice, d'autre part, à la pompe centrifuge que l'alternateur pourra entraîner en fonctionnant alors en moteur synchrone.

Le démarrage de ce genre d'unités se fait à l'aide de la turbine qui est maintenue accouplée à la pompe jusqu'à ce que celle-ci ait atteint la vitesse de synchronisme du moteur. Celui-ci est alors branché sur le réseau, la turbine découplée, et l'on peut ensuite charger lentement le groupe par ouverture progressive de la vanne.

La pompe (photo 3) est du type centrifuge à haute pression à deux étages. L'amorçage se fait par pompe à air à piston.

Il n'y a donc pas de clapet d'aspiration ; cette disposition est à recommander en raison de l'encombrement de ces appareils et des pertes de charge qu'ils créent à l'aspiration. La capacité d'aspiration des pompes limitant forcément la hauteur de la lame d'eau à pomper du réservoir inférieur, il y a naturellement le plus haut intérêt à diminuer au maximum les pertes de charge à l'aspiration et utiliser toute la capacité d'aspiration de la pompe exclusivement en hauteur géométrique.

Les variations de la hauteur de refoulement ainsi que de la fréquence sur le réseau ont imposé, pour les pompes, un fonctionnement à régime variable qui est résumé sur les caractéristiques (photo 4) débit-pression établies pour divers régimes

Fig. 4. — Courbes caractéristiques de la pompe du groupe de 5.000 C V de la S. A. Electricita de Alta Italia.

de vitesse et de puissance. On peut s'y rendre compte que pour des hauteurs manométriques de refoulement allant de 140 à 182 mètres, c'est-à-dire encadrant largement les données de l'installation et des vitesses comprises entre 735 et 750 tours/minutes, c'est-à-dire correspondant à une variation d'une période dans la fréquence, la puissance absorbée se maintient entre 3.800 et 4.600 CH avec un rendement oscillant entre 76 et 78 %. Il est évidemment essentiel de pouvoir maintenir une telle permanence de rendement pour des variations de pression aussi importantes, généralement imposées par la variation du niveau dans les réservoirs inférieur et supérieur.

La même installation comporte, en outre, un groupe moto-pompe indépendant (sans turbine hydraulique) de 1.250 chevaux.

L'utilité de cette unité s'explique par le fait que les périodes de fonctionnement de l'usine en station de pompage et en station génératrice dépendent essentiellement des conditions locales ; or elles nécessitent ici des stades de marche beaucoup plus brefs en station de pompage qu'en station génératrice ; il faut par conséquent, pour établir l'équilibre des débits totaux dans les deux sens, des pompes dont le débit instantané soit sensiblement supérieur à celui de la ou des turbines.

Il faut tenir compte en outre du renversement des rendements qui entraîne pour un groupe à double effet comme celui de Viverone une plus grande consommation d'eau lorsqu'il fonctionne en turbine que lorsqu'il fonctionne en pompe.

Prenons par exemple un alternateur de 5.000 Kw fonctionnant

avec un rendement de 95 % ; il est actionné par une turbine ayant un rendement de 85 %, fonctionnant sous une chute nette de 145 m. correspondant à une hauteur géométrique de 150 mètres.

Le rendement global sera donc : $0,85 \times 0,95 \times 0,95 = 0,75$ environ. et le débit demandé par la turbine : 4.400 litres/seconde.

Le même alternateur fonctionnant en moteur avec même rendement pourra entraîner une pompe centrifuge qui, pour la même hauteur géométrique de 150 m. devra fournir une hauteur manométrique de refoulement de 155 m. environ.

Si la pompe a un rendement de 80 %, le rendement de l'ensemble ne sera plus que $0,80 \times 0,95 \times 0,95 = 0,72$ et le débit fourni par la pompe sera à celui nécessité par la turbine, dans le rapport du produit de rendements, soit 0,54 ou 2.300 litres/seconde environ.

Un groupe à double effet dans le genre de celui de Viverone débitera donc, fonctionnant en pompe, 54 % seulement de la quantité d'eau qu'il absorbe en turbine. En d'autres termes, il faudra environ 7 heures à la pompe pour remonter l'eau qu'aura consommée la turbine en 4 heures.

Fig. 5. — Courbes caractéristiques de la pompe de 1250 HP (n constant).

Fig. 5. — Courbes caractéristiques de la pompe du groupe de 1.250 C V. de la S. A. Electricita de Alta Italia.

Ces conditions expliquent la nécessité où l'on se trouve souvent, dans de pareilles installations, de compléter les unités à double effet par des moto-pompes centrifuges électriques pour accélérer le mouvement de remontée de l'eau.

Le cas se produira par exemple lorsqu'un exploitant voudra installer pour son usage personnel et d'accord avec un secteur, une station d'accumulation pour y mettre en réserve, à l'aide du courant de nuit, disponible par exemple pendant 8 heures seulement, l'énergie nécessaire à son installation pendant les 16 autres heures de la journée.

Pour en revenir à l'installation de Viverone, elle comporte donc, outre un groupe à double effet de 5.000 CH, une pompe électrique de 1.250 CH dont le diagramme (photo 5) résume les conditions de marche. Pour cette unité encore, on voit que le rendement aux abords des conditions de marche normale se maintient au voisinage de 80 %. A souligner que ce diagramme, comme d'ailleurs celui que vous avez vu précédemment, sont des diagrammes établis d'après les essais et non des diagrammes calculés.

Une autre forme du même diagramme (photo 6) consiste à représenter les débits, rendements et vitesses à hauteur manométrique constante. Cette forme permet de se rendre compte immédiatement quand — et le cas n'est pas rare — la vitesse

est exposée à varier du fait de la fréquence, les débits que l'on peut atteindre à différentes vitesses. On voit ici par exemple qu'en dessous de 930 tours/minutes (48 périodes) le débit descend au-dessous de 100 litres/seconde et le rendement tombe à 50 % ce qui rend l'utilisation de cette pompe à peu près sans intérêt, puisque débit et rendement normaux à la vitesse normale de 960 tours/minute sont respectivement de 400 litres et 80 %.

Les essais de cette installation ont été l'occasion de quelques constatations sur les coups de bélier, constatations que je crois intéressant de signaler ici :

Il avait été convenu, pour des raisons de construction de la

Fig. 6. — Courbes caractéristiques de la pompe du groupe de 1.250 CV de la S. A. Electricita de Alta Italia.

conduite forcée, qu'en cas d'interruption de courant, c'est-à-dire lors de la déconnexion brusque du moteur, la surpression dans la conduite de refoulement, résultant du coup de bélier dû à cette perturbation ne devait pas dépasser 15 % de la pression de régime. Les valeurs de cette surpression, qui peuvent être calculées dans les installations de turbines, n'étaient pas déterminables a priori pour des installations de pompes. L'essai fait spécialement à ce sujet dans l'installation de Viverone démontra qu'elle était considérablement supérieure aux prévisions. La pression dans la conduite de 700 m. de longueur et 1.450 mm.

Fig. 7. — Diagramme des coups de bélier dans une conduite de refoulement de pompage d'accumulation.

de diamètre intérieur s'éleva de 14,3 à 19,5 atmosphères lors de la suppression brusque de 4.000 CH au tableau de distribution ; l'augmentation de la pression était donc de 36 %. Le mécanisme du coup de bélier, dans le cas d'une pompe, peut s'expliquer comme suit : en cas d'interruption de courant il y a diminution rapide du nombre de tours de la pompe en raison de la faible inertie des masses en mouvement ; le débit diminue rapidement, mais la masse d'eau a tendance à continuer, dans la con-

duite de refoulement, son mouvement ascendant et il y a donc d'abord dépression dans la conduite ; à cette dépression succède en vertu du simple phénomène du contre-coup, une surpression d'une intensité sensiblement égale. Dépressions et pressions se succèdent plusieurs fois et ces oscillations, qui diminuent rapidement, s'amortissent pour aboutir finalement à la pression statique. L'intensité et la durée des oscillations dépendent naturellement de la vitesse et de la masse d'eau ; donc du diamètre, de la longueur de la conduite et aussi de sa forme ; des mesures exactes concernant ces oscillations et, en particulier, leur durée n'ont malheureusement pas pu être faites à Viverone. Par contre, l'installation d'accumulation de l'usine d'électricité de Schaffhouse où les conditions de pression et la disposition des conduites sont approximativement les mêmes qu'à Viverone, donna plus tard une occasion de faire ces essais. Le diagramme (photo 7) en donne les résultats. Il en ressort que l'intensité des oscillations augmente avec l'importance de la puissance déconnectée, c'est-à-dire avec l'augmentation de la vitesse de l'eau dans la conduite, ce qui était d'ailleurs à prévoir.

La pompe à laquelle correspond ce diagramme débitai 400 litres/seconde dans une tuyauterie de 900 mm. de diamètre

Fig. 8. — Coupe d'un clapet de retenue avec by pass amortisseur.

et de 2.100 m. de longueur. Les différents essais correspondent à des puissances, débits et vitesses respectives de :

550 Kw	175 l/s.	0,30 m/s.
700 Kw	300 l/s.	0,50 m/s.
900 Kw	400 l/s.	0,70 m/s.

On voit que, à Schaffhouse comme à Viverone, les surpressions ont atteint de 36 à 41 % de la pression statique.

Pour réduire ce chiffre, on se résolut finalement à Viverone à transformer en vanne de communication à commande automatique, la vanne de fermeture du by-pass de 300 mm. d'ouverture entre le clapet de réglage et la pompe. L'appareil additionnel à commande hydraulique, formé par cette vanne (fig. 8) fonctionne de façon absolument automatique et s'est parfaitement comporté.

Lors du fonctionnement de la pompe, la pression en A est plus grande qu'en B, à cause de la perte de charge due au clapet C ; en outre, la surface du piston est moindre à sa face supérieure qu'à sa face inférieure. En conséquence, la vanne de communication D s'ouvre et reste ouverte pendant la marche. En cas d'interruption de courant ou, en général, lors de l'arrêt de la

pompe, il y a fermeture rapide du clapet C, une partie de l'eau de la conduite de refoulement reflue immédiatement par la vanne ouverte D ; le contre-coup dans la conduite est ainsi considérablement amorti. Toutefois, du fait du contre-coup, la pression devient plus forte en B qu'en A et il y a fermeture lente de la vanne de communication ; la durée de cette fermeture peut être exactement réglée au moyen d'un robinet. Les essais effectués ont démontré que, lors de la déconnexion brusque de 4.000 CH, l'augmentation de pression ne dépassait guère 14 % environ. Il résulte d'autres essais que, même lorsqu'on déconnecte 7.000 CH, cet accroissement de pression n'est que de 16 à 17 %.

La tuyauterie de Viverone présente un diamètre de 1.450 mm. sur une longueur d'environ 700 mètres.

Les différents essais notés au diagramme correspondent donc à des vitesses d'eau de :

0 m. 98	pour l'essai à 4.000 CH et débit 1.600 l/s.
1 m. 20	— 5.000 — — 2.000 l/s.
1 m. 46	— 6.000 — — 2.400 l/s.
1 m. 70	— 7.000 — — 2.800 l/s.

INSTALLATION DES USINES HARTMANN ET FILS A MUNSTER.

Au cours de ces 3 dernières années, nous avons eu également l'occasion d'installer, à Munster, une station de pompage ana-

Fig. 9. — Importance de la surpression suivant la charge à l'instant de la fermeture.

logue, aux manufactures Hartmann et fils qui y possèdent une des plus importantes usines textiles d'Alsace.

Le principal intérêt de cette installation réside dans le fait qu'elle a été établie tout d'abord non par un secteur, mais par un exploitant.

Les usines Hartmann sont normalement actionnées par 3 petites installations hydroélectriques établies sur le bord de la Fecht, mais dont la puissance est insuffisante aux périodes de basses eaux. C'est alors qu'apparut l'utilité de l'installation dont je vais faire passer quelques vues sous vos yeux.

En outre, par un accord intervenu entre les Manufactures Hartmann et la Société des F. M. du H.-R. cette installation

permet aux Manufactures Hartmann, aux époques où elles n'ont pas besoin, pour leur usage personnel, de la station d'accumulation, de l'employer au service du secteur lui revendant le jour de l'énergie en excédent accumulée la nuit.

En admettant que l'accumulation doive, à elle seule, fournir toute la puissance nécessaire aux usines, c'est une puissance de 1900 CH (ou 1.400 Kw) à laquelle il faut faire face pendant 9 heures de travail, soit 12.600 Kwh. Le réservoir supérieur étant

Fig. 10. — Disposition générale de l'installation d'accumulation des Usines Hartmann et Fils, à Munster (Haut-Rhin)

installé à 400 m. environ au-dessus de l'usine, chaque m³ d'eau accumulée produit environ 0,85 Kwh.

La capacité devrait donc être au minimum de :

$\frac{12.600}{0,85} = \text{environ } 15.000 \text{ m}^3$. En fait le réservoir a été construit pour 18.000 m³.

L'installation (photo 10), comporte un réservoir inférieur car en période de basses eaux, lorsque l'installation d'accumu-

Fig. 11. — Plan de l'Usine d'accumulation des Manufactures Hartmann et Fils, à Munster (Haut-Rhin)

lation doit fonctionner pour le besoin des Usines, le débit de la Fecht est très faible et il est nécessaire de procéder par et va vient. Toutefois, ce réservoir n'a que 15.000 m³, les eaux de surface pouvant en tout temps assurer les quelque 1.000 m³ qui pourraient être nécessaires pour faire l'appoint journalier.

Naturellement, il y a lieu de tenir compte, dans l'établissement de ce réservoir inférieur, de la capacité d'aspiration des pompes qui ne permet guère de prévoir l'épuisement d'une lame d'eau supérieure à 4 m. si l'on veut rester dans de bonnes conditions de rendement. La surface du réservoir inférieur a donc dû être prévue en conséquence.

L'usine (photo 11) proprement dite se compose de deux parties absolument distinctes. L'une comporte les unités hydro-électriques actionnées directement par la Fecht en période d'abondance d'eau, l'autre contient la station d'accumulation proprement dite.

Comme l'installation de Viverone, elle comporte un groupe à double effet avec alternateur-génératrice-moteur accouplé d'une part à une turbine de 2.100 CH, d'autre part à une pompe centrifuge de 1740 CH capable de refouler environ 250 l/s. ou 900 m³/heure, soit environ 50 % du débit nécessaire à la turbine

dement de 79 %. Les trois autres, entraînées par moteurs asynchrones à 4 pôles tournent à environ 1.480 tours/minute et atteignent des rendements de 77 et 74 %.

Les conditions de fonctionnement de la pompe à 5 étages du groupe à double effet sont résumées sur le diagramme (photo 14), qui put être établi en Usine sur appareils de mesure étalonnés et permit ainsi de réaliser, lors de la mise en route de l'installation, la mise au point suivante :

En dépit des nombreuses formules empiriques mises à notre disposition, il est extrêmement difficile de définir par le calcul les pertes de charge dans une tuyauterie, surtout lorsque celle-ci comporte, sur son parcours, un nombre important d'appareils auxiliaires tels que vannes, crépines, clapets, etc... La hauteur manométrique totale sous laquelle aura à fonctionner une pompe travaillant sous un régime donné de débit est donc à peu près impossible à fixer a priori.

Fig. 12. — Installation d'accumulation des Usines Hartmann et Fils, à Munster (Haut-Rhin). Vue intérieure.

Fig. 12. — Installation d'accumulation des Usines Hartmann et Fils, à Munster. Vue intérieure.

dans le même temps. Pour ce motif et aussi pour tenir compte de ce que les F. M. du H. R. ne peuvent livrer du courant de nuit que pendant une durée limitée, il fallait prévoir, comme nous l'avons vu tout à l'heure pour Viverone, des pompes d'appoint capable avec le groupe à double effet, de donner en 10 heures les 15.000 m³ nécessaires, soit 1.500 m³/heure ou environ 420 litres/seconde. Comme le groupe à double effet donne déjà 250 litres/seconde, c'est donc un appoint de 170 litres/seconde qui était nécessaire. Il a été réparti en 3 unités, dont 2 de 50 l/s. ou 300 Kw et une de 87 l/s. ou 480 Kw.

La division du débit d'appoint entre trois unités permet par un choix judicieux des unités mises en route de les faire travailler toujours au voisinage de leur rendement optimum quel que soit le débit total nécessaire.

Sur les deux vues (photos 12 et 13) de l'usine, on aperçoit au premier plan l'un des groupes de 300 Kw puis, en arrière, le deuxième groupe de même puissance, le groupe de 480 Kw et enfin, dans le fond, le groupe à double effet dont on aperçoit distinctement le distributeur de la turbine.

Les pompes de cette installation sont des unités du type multicellulaire. La pompe du groupe à double effet comporte 5 étages de roues et tourne à 1.000 tours par minute avec un ren-

Cette incertitude présente un double inconvénient : si on sous-estime cette hauteur manométrique, on sera exposé à obtenir de la pompe un débit insuffisant, puisque, dans la région des rendements optima où l'on cherche toujours à faire fonctionner la pompe, la courbe des hauteurs manométriques est descendante dans le sens des débits croissants sur une caractéristique à vitesse constante. Si au contraire, la hauteur manométrique a été surestimée, la pompe rencontrant au refoulement une contre-pression inférieure aux prévisions, aura tendance à exagérer son débit et à surcharger son moteur et elle-même, puisque, sur la caractéristique à vitesse constante la charge augmente dans le même sens que les débits et en sens inverse de la hauteur manométrique.

Contre le premier de ces inconvénients (sous-estimation de la hauteur manométrique) il n'y a malheureusement rien à faire si ce n'est, lorsque la chose est possible, augmenter un peu la vitesse.

C'est malheureusement chose impossible avec les moteurs asynchrones ou synchrones à vitesse strictement constante généralement employés.

Aussi préfère-t-on généralement estimer largement la hauteur manométrique au risque de tomber dans le deuxième inconvé-

nient. Il reste alors, à la mise en exploitation, lorsqu'on peut se rendre compte expérimentalement de la hauteur manométrique exacte, à ajuster la pompe au régime de l'installation ou bien en limitant le débit par la vanne de réglage, — expédient qui a l'inconvénient d'absorber, en pure perte, des kilowatts par cette perte de charge parasite — ou bien en retouchant légèrement le diamètre des roues à aubes de façon à diminuer de la quantité convenable le pouvoir manométrique de la pompe et à fonctionner toujours à vanne grande ouverte sans risque de surcharger le moteur.

Dans l'installation de Munster, le problème se compliquait du fait que, suivant les époques de l'année, le débit demandé à l'installation et le nombre de pompes à mettre en action sont variables. Les pertes de charge dans la conduite de refoulement

Fig. 14. — Caractéristiques de fonctionnement de la pompe du groupe de 2.000 C.V. de l'installation d'accumulation des Usines Hartmann et Fils, à Munster (Haut-Rhin).

et la hauteur manométrique totale étaient donc, suivant les unités mises en route, variables pour chaque pompe et il y avait lieu de retoucher les roues de chaque pompe de façon à les adapter séparément au régime sous lequel elles auraient à fonctionner le plus souvent.

Grâce aux essais préalables en Usines, on put tracer une courbe expérimentale des pertes de charge en opérant comme suit : un manomètre placé sur chaque pompe entre la vanne et la pompe, donnait la pression manométrique de refoulement de la pompe et, au moyen des diagrammes d'essai, le débit corres-

pondant. Un deuxième manomètre, placé au pied de la conduite forcée, donnait la hauteur manométrique nécessaire en ce point et, par différence avec la hauteur statique du moment, les pertes de charge correspondantes.

Il fut ainsi très facile, en faisant varier le débit par une ouverture progressive des vannes et la mise en route de plusieurs pompes en parallèle, de tracer la courbe expérimentale ; la courbe II est obtenue en majorant de 25 % les ordonnées de la première pour tenir compte de l'entartrage ultérieur des conduites.

Ces courbes permirent de définir exactement les hauteurs manométriques demandées à chaque pompe, suivant les conditions dans lesquelles elles auraient à fonctionner le plus souvent en exploitation.

Par une légère retouche sur le diamètre des roues à aubes, on put ainsi approprier chaque pompe exactement à ses conditions de marche les plus fréquentes.

Fig. 15. — Courbe des pertes de charge en fonction des débits.

Cette installation, quoique d'une moindre envergure que celle de Viverone ou celle de Belleville, dont je vais vous dire quelques mots, est cependant très intéressante parce qu'elle schématise fort bien les diverses questions posées par le problème de l'accumulation.

Elle est, en outre, d'un accès particulièrement facile à la descente du col de la Schlucht sur la route qui relie à la plaine d'Alsace la région des lacs de Gérardmer, Longemer et Retourner.

(A suivre.)