

Le fonctionnement en déchargeur des turbines Kaplan de l'usine de Palaminy

Using the Kaplan turbines in the Palaminy powerhouse as wasteways

PAR R. MONTEIL

ET

J. ABBO

CHEF DU SERVICE ÉLECTROMÉCANIQUE

INGÉNIEUR AU SERVICE ÉLECTROMÉCANIQUE

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE, RÉGION D'ÉQUIPEMENT HYDRAULIQUE GARONNE

Afin de limiter les intumescences dans le canal d'aménée de l'usine de Palaminy sur la Garonne et réduire de ce fait les frais de premier établissement, il est prévu, en cas de déclenchement, la déconjugaison automatique des pales et du distributeur de chaque turbine, de manière à maintenir un débit à vide de l'ordre de 50 % du débit nominal. Ce mode de fonctionnement, dit « en déchargeur », a fait l'objet, chez le constructeur, d'essais sur modèle réduit. Il nécessite, pour être industriellement réalisable, une injection d'air au-dessus de la roue, qui a pour effet de reporter, au-dessous de celle-ci, la zone de dissipation d'énergie. Ce procédé n'est pas de conception entièrement nouvelle; il comportera cependant, à Palaminy, certaines dispositions particulières, notamment un « limiteur de fermeture » qui évite une coupure totale, même passagère, du débit. L'automatisme de fonctionnement pose enfin un problème que l'on a tenté de résoudre d'une manière à la fois simple et sûre.

In order to reduce waves in the head-race canal of the Palaminy powerhouse, thus reducing construction costs, provision was made to uncouple the blades and distributors of each turbine automatically in such a manner as to maintain the no load discharge at 50 % of the rated discharge when load is shed. This method of operation, known as wasteway operation, was the subject of scale model tests undertaken by the turbine manufacturers. To make it possible to operate the prototype in this way, air has to be injected above the runner so as to move the energy dissipation region to a point below the runner. These methods are not entirely new, but the Palaminy project incorporates certain special devices such as a "closure limiter" which prevents flow from being cut off completely, even for a very short period. An attempt has been made to solve the problem raised by automatic operation in a simple and reliable manner.

I. — DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'AMÉNAGEMENT

L'aménagement de Palaminy, en cours de réalisation sur la moyenne Garonne, est constitué par une dérivation du cours de ce fleuve sur 7 km environ, entre les bourgs de Martres-Tolosane et Cazères. Le canal d'aménée, long de 5,7 km, présente une section trapézoïdale classique (fig. 1). Il se termine par un ouvrage de mise en charge, en bordure d'une terrasse naturelle, au pied de laquelle se trouve le bâ-

timent d'usine comportant deux turbines Kaplan, reliées chacune à l'ouvrage de mise en charge par une conduite forcée de 5 m de diamètre (fig. 2). Un canal de fuite, relativement court (0,5 km) rejoint le lit de la Garonne.

La chute brute maximum est de 28,90 m et la chute nette nominale, pour le débit maximum de 135 m³/s, de 26,30 m.

II. — PROBLÈMES POSÉS PAR LES DÉCLENCHEMENTS

Pour des usines de ce type, la fermeture rapide des turbines consécutive à un déclenchement général pose toujours un délicat problème d'intumescence. La solution classique consiste à prévoir un ouvrage de décharge capable d'assurer automatiquement l'écoulement du débit qui n'est plus absorbé par les turbines (déversoir, vannes de décharge à manœuvre automatique).

Dans le cas de Palaminy, compte tenu des conditions locales, le coût d'un tel ouvrage aurait été prohibitif. Le problème se trouvait heu-

reusement un peu simplifié. D'une part, en effet, le problème de navigation ne se pose pas, ce qui rend tolérables certaines perturbations qui ne le seraient pas autrement. D'autre part, les berges du canal sont prévues à profil horizontal, non parallèle à la pente du radier, ce qui permet, en cas d'interruption brusque du débit turbiné, de reporter les déversements à l'origine du canal. Cette disposition présente d'ailleurs un autre avantage très important, qui l'a fait retenir définitivement dès l'origine des études : c'est celui de créer entre le plan d'eau statique maximum et

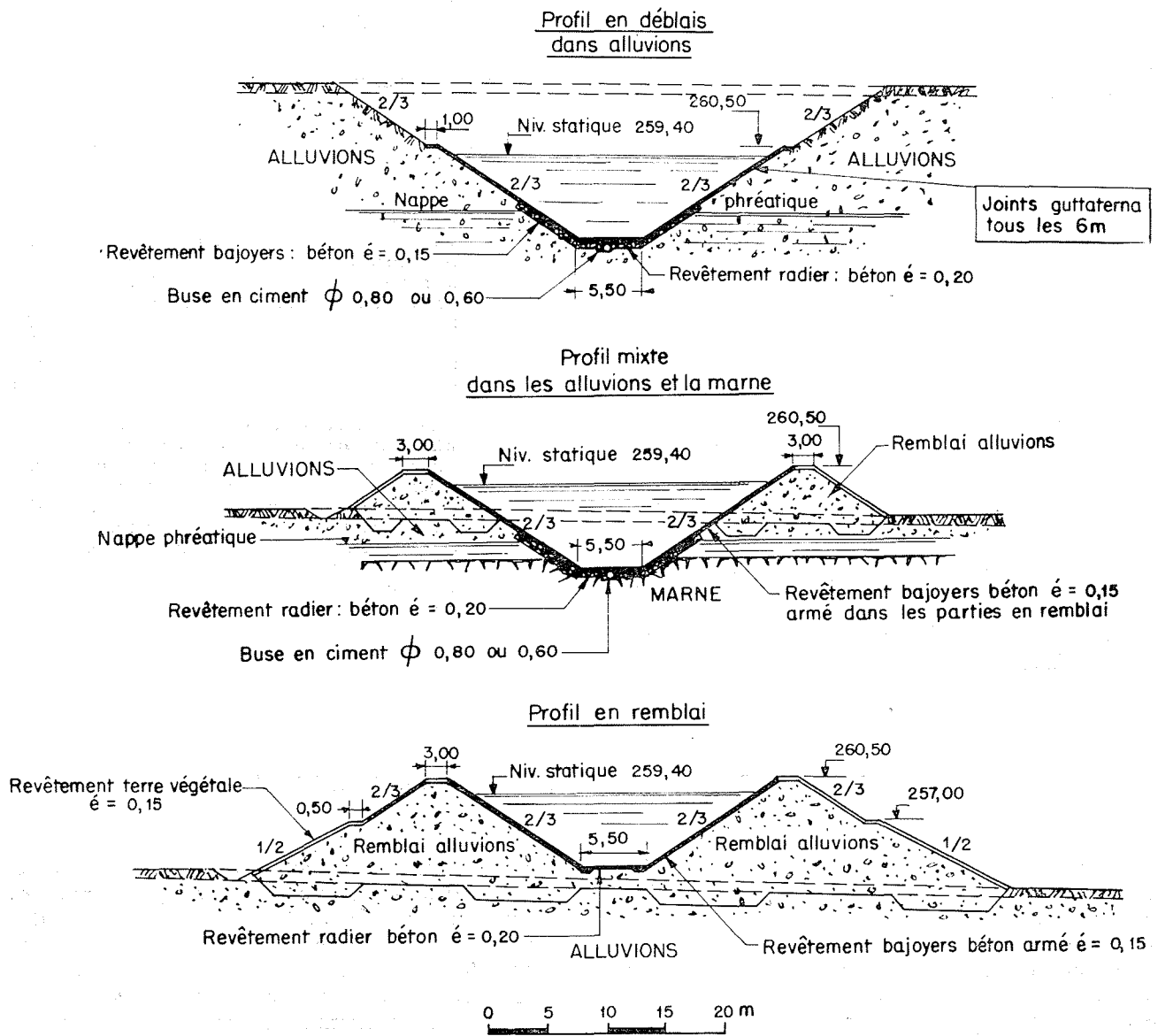


Fig. 1

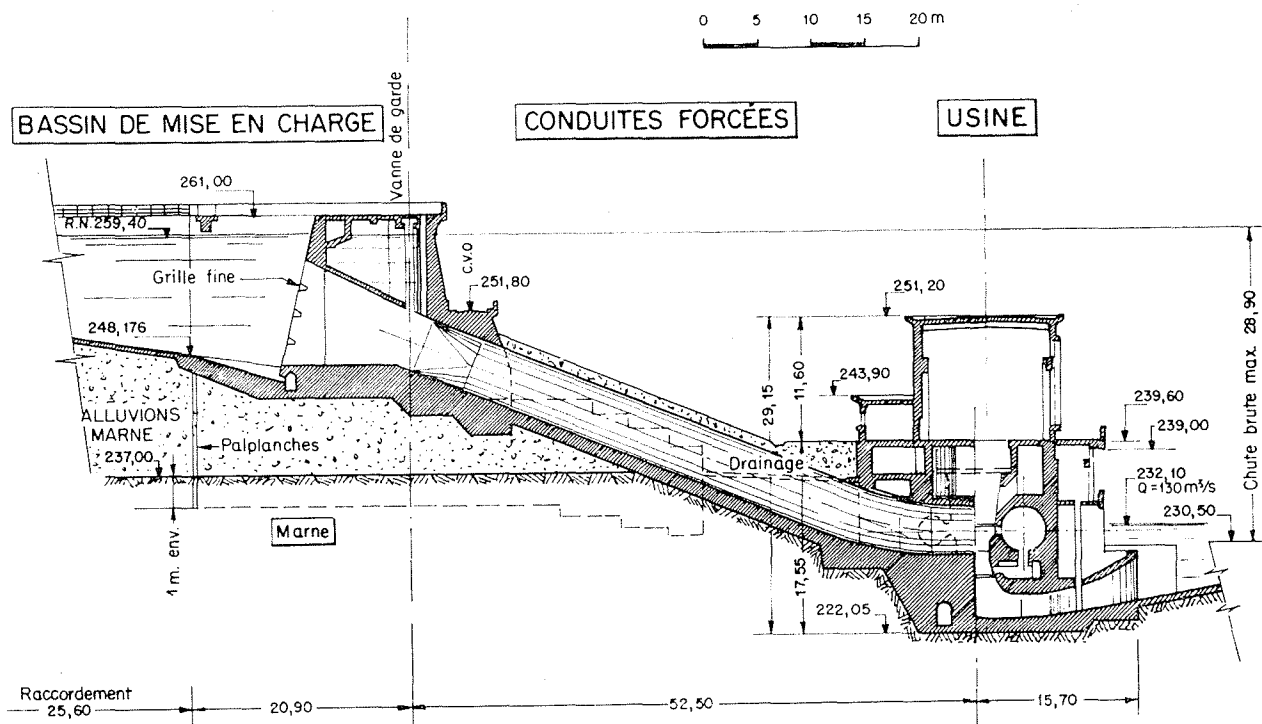


FIG. 2

le plan d'eau dynamique minimum un volume utile qui, ajouté à celui de la retenue créée par le barrage, donne au total une réserve horaire non négligeable permettant d'exploiter par éclusées, et non simplement au fil de l'eau, ce qui valorise sensiblement la production de l'aménagement.

Le problème posé par les déclenchements ne se trouvait toutefois pas entièrement résolu par l'adoption d'un canal d'aménée à risbermes horizontales. Il importait en premier lieu de vérifier l'importance des intumescences, de façon à éviter tout déversement sur les berges du canal. Par ailleurs, le report, en tête du canal, de la totalité des déversements, se traduirait par une réduction soudaine du débit du fleuve en aval de la restitution, ce qui n'est pas sans présenter quelques inconvénients. Il fallait donc, en tout état de cause, restituer par un moyen quelconque un débit raisonnable minimum, qui a été fixé à 13 m³/s.

La détermination des intumescences dans le canal d'aménée a fait l'objet d'études théoriques et expérimentales, exécutées par le Laboratoire d'Hydraulique de l'Université de Toulouse, dont nous nous bornerons à indiquer le résultat principal : pour une coupure instantanée du débit total de 135 m³/s, et partant du plan d'eau maximum, la cote atteinte par l'intumescence au-dessus du niveau statique maximum 259,40 varie entre 1,05 et 1,10 m respectivement aux extrémités aval et amont du canal d'aménée. Ces valeurs prennent en compte les oscillations secondaires,

le corps de l'onde principale atteignant au maximum 0,80 m. C'est à partir de ces valeurs qu'ont été déterminées les cotes d'arasement des berges du canal d'aménée.

En l'absence de tout dispositif limitant le débit coupé, on aurait admis une marge de sécurité supplémentaire de 0,50 m, ce qui aurait conduit à araser les risbermes du canal à la cote 261. En fait, on a pu renoncer à cette marge de 0,50 m et araser les risbermes à la cote 260,50, en adoptant pour les turbines les dispositions faisant l'objet de la présente communication, qui permettent de limiter le débit coupé à la moitié environ du débit maximum. Dans ces conditions, si l'on a renoncé à toute revanche en cas d'intumescence totale, on conserve la marge de 0,50 m pour l'intumescence limitée, estimée à 0,60 m, consécutive à une coupure de la moitié du débit.

Or, dans le cas particulier du canal d'aménée de Palaminy, une réduction de 0,50 m du niveau d'arasement des risbermes correspond à une économie importante — elle a pu être évaluée à 50 millions de francs — sur les travaux de génie civil. Le canal comporte en effet une grande longueur de digues et le volume des remblais est sensiblement supérieur à celui des déblais, obligeant à procéder à d'importants emprunts. Etant donné que le profil des digues est fixé par des raisons constructives, toute surélévation correspond à un volume important de terrassements supplémentaires à la base.

Le temps de parcours aller et retour de l'onde

dans le canal d'aménée est de 30 minutes environ, délai maximum pendant lequel doit être maintenu le débit résiduel pour ne pas aggraver l'in-

tumescence (les essais qui seront faits lors de la mise en route permettront probablement de réduire ce temps théorique).

III. — SOLUTION ADOPTÉE POUR RÉDUIRE LE DÉBIT COUPÉ EN CAS DE DÉCLENCHEMENT

Un ouvrage de décharge, même dimensionné pour la moitié du débit total, aurait absorbé une partie importante de l'économie brute réalisée par la diminution de 50 cm de la hauteur des digues du canal. Afin de réaliser une économie nette aussi grande que possible, il a été envisagé de recourir à un dispositif permettant de maintenir, en cas de déclenchement, une fraction importante du débit au travers des turbines. Deux solutions pouvaient être envisagées :

a) COMMUTATION DE LA CHARGE SUR RÉSISTANCES LIQUIDES :

Ce système, souvent envisagé et quelquefois réalisé (par exemple dans la centrale suisse de Wildegg-Brugg), permet d'éviter toute variation brutale du débit, à condition d'effectuer un pré-réglage continu et si possible automatique de la valeur de la résistance hydraulique. Le problème est souvent compliqué du fait que la résistivité de l'eau circulant dans la résistance n'est pas constante. On est alors conduit à fonctionner en circuit fermé, l'eau non renouvelée étant refroidie dans un échangeur, immergé par exemple dans le canal de fuite. La mise en œuvre exige un appareillage HT de commutation coûteux et encombrant. Un problème de stabilité du réglage de la vitesse des groupes commutés sur résistance peut enfin se poser et rendre difficile le recouplage sur le réseau, dans le cas où le rapport des temps caractéristiques des inerties spécifiques mécanique et hydraulique est défavorable.

b) FONCTIONNEMENT, EN DÉCHARGEUR, DES TURBINES KAPLAN :

C'est cette deuxième solution qui a été retenue à Palaminy, bien que ne permettant pas, comme les résistances liquides, le maintien de la totalité du débit initial.

En marche à vide, une turbine Kaplan absorbe un débit voisin de 10 % de son débit nominal, pour la conjugaison optimum de l'ouverture des pales et du distributeur. Ce débit peut être notablement augmenté en éliminant cette conjugaison et en donnant aux pales de la roue une inclinaison plus grande. La turbine fonctionne alors

en déchargeur. Un tel fonctionnement est tout à fait semblable à la marche à vide d'une turbine hélice à pales fixes et pose d'ailleurs les mêmes problèmes.

La figure 3 donne l'allure de la variation du débit en marche à vide en fonction de la vitesse, pour une turbine dans laquelle la position des pales est maintenue fixe (1). Suivant l'inclinaison donnée aux pales dans ce dernier cas, le débit en marche à vide et au voisinage de la vitesse nominale peut atteindre une valeur importante qui peut largement dépasser 50 % du débit nominal. Ce débit peut être sensiblement augmenté en laissant la vitesse de la turbine dépasser la vitesse de régime. Malheureusement, les phénomènes de cavitation qui prennent naissance

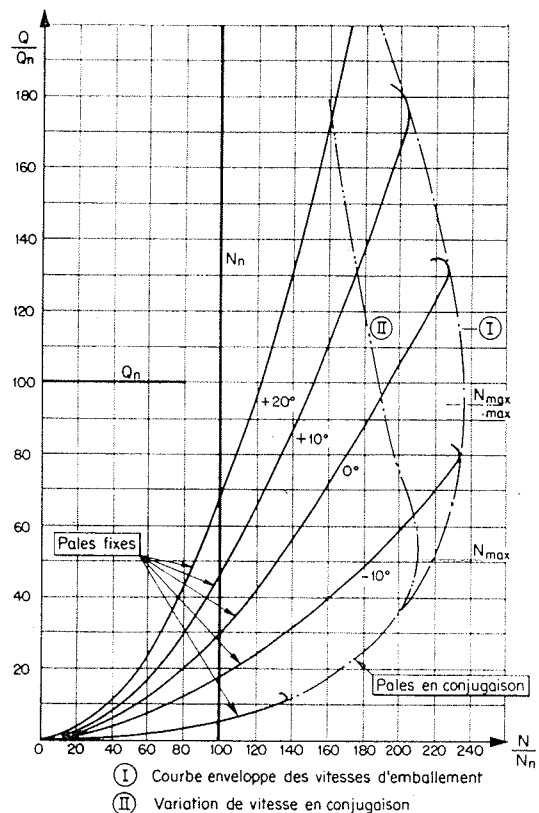


FIG. 3

(1) D'après H. GERBER, *Bulletin de l'A.S.E.*, du 31 mai 1952.

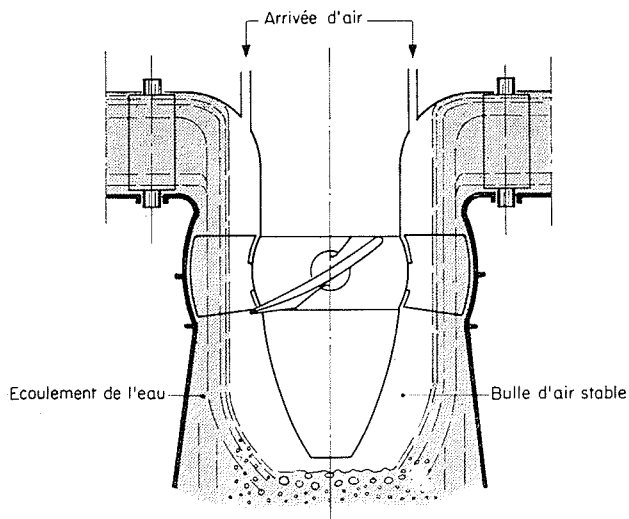


FIG. 4

dans la turbine au cours d'un tel fonctionnement peuvent, dans certains cas, être dangereux pour la tenue de la machine, notamment s'il se produit des vides locaux. La cavitation qui se manifeste ici est très différente de la cavitation naissante qui apparaît parfois à certains régimes normaux et engendre, une érosion progressive des pales : dans le fonctionnement en déchargeur, le phénomène peut être très brutal, et s'accompagner de vibrations et de pulsations de pression d'une intensité telle que des dégâts importants soient à craindre pour la machine ou ses scellements, même si ce régime n'avait qu'une durée limitée.

Ce problème a été examiné par la Compagnie Nationale du Rhône et les Etablissements Neyrpic, en vue du fonctionnement en déchargeur des turbines de l'usine de Montélimar. Il a fait l'objet d'essais sur les turbines de Donzère et d'études sur modèle réduit pour Montélimar et un peu plus tard pour Palaminy. Ces essais sur modèle réduit ont permis les observations suivantes :

- Sans entrée d'air, on observe de la cavitation dans la partie centrale de la turbine. Si on fait entrer progressivement de l'air, on constate d'abord que l'air est entraîné sous forme de bulles qui se relie à celles de la cavitation. Le désordre de l'écoulement, les secousses et vibrations ne sont pas calmés.
- En laissant entrer davantage d'air, une poche apparaît au plafond, la vitesse de la turbine croît. On doit la ramener à sa valeur normale en fermant légèrement le distributeur, et le débit décroît un peu.
- Si on continue d'augmenter l'entrée d'air, la poche centrale se développe jusqu'en dessous de la roue. La vitesse doit de nouveau être

réduite en fermant le distributeur. Le fonctionnement est alors stable et exempt de cavitation (sauf une légère cavitation marginale); l'énergie est entièrement dissipée sous la roue (fig. 4).

- Le ressaut formé par la nappe annulaire quand elle rejoint la surface libre dans l'aspirateur, entraîne de l'air qu'il faut renouveler constamment par des orifices largement dimensionnés.

L'originalité du procédé consiste, d'après le constructeur, dans le réglage de la pression d'air dans la poche, pression qui doit être suffisante pour obtenir une bulle stable avec ressaut en dessous de la roue. Suivant les conditions de chute, de calage de la roue par rapport au niveau aval, les dimensions de la turbine, etc., cette admission d'air peut se faire à la pression atmosphérique, ou nécessiter au contraire l'emploi de compresseurs pour obtenir un débit d'air suffisant. Seuls les essais sur modèle réduit permettent de prédéterminer, dans chaque cas particulier, l'inclinaison à donner aux pales, ainsi que le mode d'injection de l'air et la quantité à injecter pour maintenir le niveau de la surface libre au-dessous du bord inférieur des pales de la roue, et, finalement, le débit d'eau absorbé par la turbine dans un tel fonctionnement. Pour Palaminy, ils ont mis en évidence que l'admission d'air à la pression atmosphérique permettait d'obtenir un résultat satisfaisant. Il n'y a donc pas lieu de

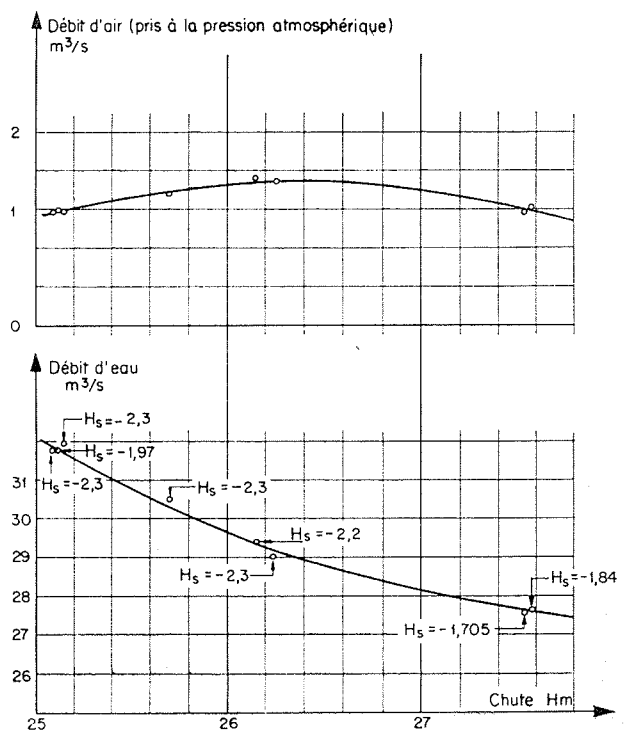


FIG. 5

recourir à des compresseurs d'air encombrants et coûteux. La figure 5 donne les résultats obtenus avec l'inclinaison des pales qui a donné les meilleurs régimes de fonctionnement (29 degrés). On voit que pour la hauteur de chute normale, soit 26,3 m, le débit d'eau est de 29,2 m³/s, soit 45 % environ du débit maximum de la turbine, c'est-à-dire légèrement inférieur au chiffre de 50 % escompté. Les essais ont été effectués en similitude de Froude.

CONDITIONS PARTICULIÈRES IMPOSÉES AU CONSTRUCTEUR POUR LE FONCTIONNEMENT EN DÉCHARGEUR DES TURBINES DE PALAMINY :

a) Les essais sur modèle réduit du canal d'amenée ont montré qu'une coupure complète du débit, même très rapidement suivie d'une réouverture, engendrerait l'intumescence maximum. Il est donc indispensable d'éviter, par un dispo-

sitif approprié, en cas de déclenchement, la fermeture complète du distributeur qui est normalement provoquée par le régulateur de vitesse, et qui se prolonge pendant toute la durée de la pointe de survitesse.

b) Nous avons indiqué plus haut que l'on doit, après une coupure de la moitié du débit, laisser s'écouler une durée d'environ 30 minutes, avant de réduire encore ce débit, sous peine d'aggraver l'intumescence. Comme il est généralement possible de recoupler les groupes quelques minutes seulement après un déclenchement, ce recouplage doit être possible en laissant le distributeur et les pales hors conjugaison. Le groupe doit donc, pendant la marche en déchargeur, rester sous la dépendance du régulateur de vitesse qui le maintient au voisinage de la vitesse de régime. Cette condition enlève toute possibilité d'augmenter un peu le débit restitué en tolérant une légère survitesse.

IV. — RÉALISATION PRATIQUE DU FONCTIONNEMENT EN DÉCHARGEUR

a) ADMISSION D'AIR :

L'air sera admis dans la turbine par une série d'orifices prévus dans le fond supérieur, et alimentés par une tuyauterie de 300 mm de diamètre intérieur qui débouche à l'extérieur de l'usine, au-dessus de la cote des plus hautes eaux. Un clapet de non retour, à boule, est prévu sur chaque orifice.

b) DÉCONJUGAISON :

La mise sous tension d'un électro-aimant provoque, par l'intermédiaire d'un tiroir de distribution à huile, la déconjugaison du mouvement du distributeur et des pales, et amène celles-ci à l'ouverture choisie (29 degrés environ).

c) LIMITEUR DE FERMETURE :

Au moment d'une décharge brusque de la puissance aux bornes de l'alternateur, la vitesse du groupe augmente et le régleur de la turbine donne un ordre de fermeture du distributeur. Si on ne prend aucune précaution spéciale, le distributeur va jusqu'à une fermeture complète puis s'ouvre lentement jusqu'au débit de marche à vide. Dans le cas de Palaminy, on voulait éviter, comme nous l'avons dit plus haut, cette coupure totale, même momentanée, du débit. C'est pourquoi les régulateurs seront équipés d'un « limiteur de fermeture », homologue du « limiteur d'ouverture », qui s'oppose au-dessous d'une cer-

taine ouverture à l'ordre de fermeture donné par le tachymètre. La mise en action de ce limiteur de fermeture est sous la dépendance d'un électro-aimant. La valeur de consigne de l'ouverture minimum ainsi imposée au vannage est ajustable et sera déterminée aux essais. Elle sera telle qu'elle ménage au réglage charge-vitesse une marge suffisante pour permettre un recouplage du groupe même à une fréquence basse. Toutefois, l'électro de sécurité du régulateur de vitesse a priorité sur le limiteur de fermeture et provoque la fermeture complète du vannage en cas d'incident mécanique ou électrique nécessitant l'arrêt immédiat du groupe. Il n'y a pratiquement aucune chance qu'un tel incident se produise sur les deux groupes simultanément, ce qui entraînerait la coupure totale du débit, mais il est certain que s'il se produisait sur l'un des groupes, au cours de la période de 30 minutes suivant un déclenchement général, il s'ensuivrait une aggravation de l'intumescence.

d) AUTOMATISME DE FONCTIONNEMENT :

L'admission d'air dans la roue s'effectue automatiquement sans aucune intervention extérieure dès que la dépression dans la turbine atteint une certaine valeur. Les deux autres opérations, déconjugaison et mise en service du limiteur de fermeture, sont chacune sous la dépendance d'un électro-aimant. La mise sous tension de ces électro-aimants doit être provoquée automatique-

ment. On ne peut se contenter de les asservir à l'ouverture des disjoncteurs des groupes. En effet, le déclenchement électrique peut se produire à l'autre extrémité de la ligne d'évacuation de l'énergie de l'usine, sans que les disjoncteurs de groupes n'interviennent. D'autre part, la fermeture rapide des turbines peut être le fait d'une fausse manœuvre d'exploitation ou d'un dispositif de sécurité ne provoquant pas le déclenchement immédiat.

La réalisation d'un dispositif de détection qui réponde à toutes les hypothèses sans risque de fonctionnements intempestifs, ne peut être obtenue qu'au prix d'une assez grande complexité. Dans le cas de Palaminy, on a préféré se contenter d'un dispositif très simple lié à la position du vannage, le fonctionnement en déchargeur étant automatiquement provoqué par toute manœuvre de fermeture, quelle qu'en soit la rapidité, au moment du passage à la demi-ouverture.

Ce dispositif est volontairement verrouillé par action sur un bouton poussoir, à la mise en service et à l'arrêt normal; et, d'une manière générale, pour tout fonctionnement à une charge inférieure à 50 %, mais il est automatiquement libéré dès que le vannage franchit une ouverture supérieure à $5/10^{\circ}$. Ces dispositions sont obtenues moyennant un schéma électrique extrêmement simple qui, en réalité, met en œuvre deux contacts liés à la position du vannage et légèrement décalés, de manière à écarter tout risque de « pompage » des pales lors des fonctionnements voisins de la demi-charge (voir fig. 6).

N. B. — Lorsque la turbine fonctionne en déchargeur, la vitesse peut être réglée de la même manière que si les pales étaient en conjugaison, ce qui permet le recouplage sur le réseau, dès que les conditions de celui-ci le permettent. Si une situation du réseau interdisant le recouplage se

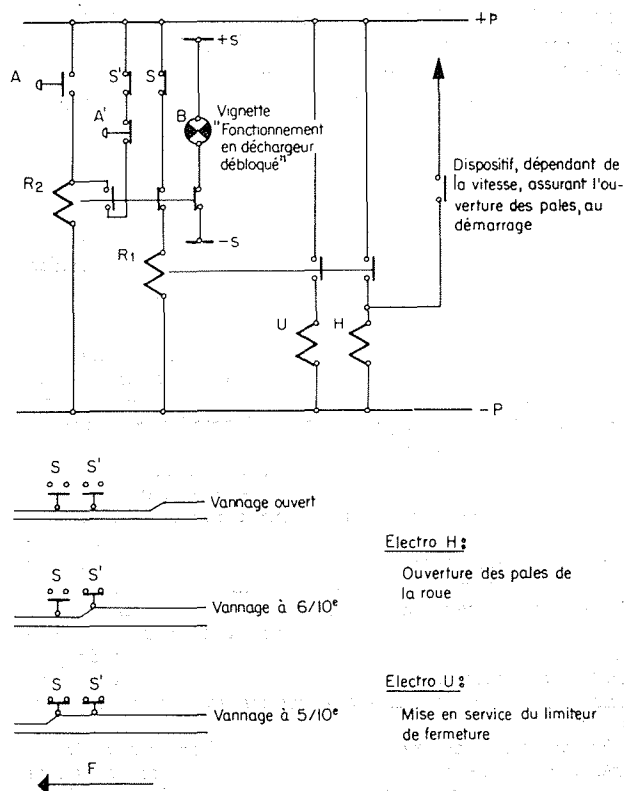


FIG. 6

prolongeait au-delà de la durée d'aller et retour de l'onde d'intumescence dans le canal, on pourrait ne pas prolonger la marche en déchargeur et rétablir la conjugaison des pales, le débit à vide des deux groupes étant suffisant pour assurer la restitution minimum de $13 \text{ m}^3/\text{s}$. Tel ne serait pas le cas avec un seul groupe en service, mais une légère réouverture des pales permet alors d'obtenir ce résultat.

V. — CONCLUSION

Le maintien d'un certain débit lors d'un déclenchement des groupes semble pouvoir être résolu, dans un certain nombre de cas, par le fonctionnement en déchargeur des turbines d'une façon plus économique que par le recours à des ouvrages de décharge extérieurs aux turbines qui entraînent en général une complication importante du génie civil. Il a paru intéressant à la Région d'Équipement Garonne de faire l'essai de ce système à Palaminy, aménagement de moyenne importance où les conditions particulières d'exécution du canal d'aménée permettent de réaliser à cette occasion une économie appréciable. Il va de soi qu'on n'a pas voulu faire dépendre d'un dis-

positif dont on ne possède pas encore l'expérience, la sécurité des ouvrages d'aménée. On a donc fixé la cote d'arasement des risbermes de façon à être à l'abri d'un déversement, même en cas de coupure totale du débit. On a toutefois supprimé la revanche d'une cinquantaine de centimètres qui a normalement toujours été prévue sur les usines de la Garonne, en adoptant ce procédé qui permet d'escompter que les coupures totales de débit seront tout à fait exceptionnelles, si elles ne peuvent être totalement supprimées.

Pour réaliser ce mode de fonctionnement particulier des turbines, qui n'entraîne que des modifications mineures sur ces machines, on a

choisi des solutions simples, aussi bien pour les moyens de détection que pour le schéma. Un automatisme plus poussé, des moyens de détection plus « fins » ou plus sélectifs ne s'imposaient

pas, du fait que des défaillances ou des fonctionnements intempestifs à caractère épisodique sont ici sans conséquence grave.

DISCUSSION

Président : M. LANGLOIS

M. le Président remercie MM. MONTEIL et ABBO du double exposé qu'ils viennent de faire et qui traite d'un sujet, sinon inédit, du moins relativement récent, ainsi que la Région d'Équipement Hydraulique Garonne d'avoir proposé l'expérimentation des dispositifs correspondants sur des ouvrages en cours d'exécution.

Dans le cas de Palaminy, M. le Président souligne que si la suppression de la revanche sur la hauteur des berges du canal, en apportant une économie de 50 millions, n'a pas permis de supprimer entièrement les ouvrages de génie civil devant permettre d'éliminer les risques de déversement en cas de déclenchement à charge totale, puisqu'on a fait un canal à berges horizontales, du moins cette disposition a l'avantage de permettre une valorisation de la chute, grâce à la réserve ainsi constituée, ce qui est à mettre au crédit de l'opération.

En ce qui concerne les risques de l'opération, M. le Président pense qu'ils sont très faibles dans le cas de Palaminy, puisqu'ils se limitent au cas de non fonctionnement simultané du dispositif de marche en déchargeur sur les deux groupes, lors d'un déclenchement à pleine charge de ceux-ci. Par ailleurs, le débit de restitution de 13 m³/s, à assurer en tout état de cause à l'aval de l'usine est de l'ordre du débit à vide normal des deux groupes. Il peut être obtenu avec une seule turbine par réouverture partielle des pales sans insufflation d'air, tout en conservant pour la machine un régime exempt de cavitation.

M. le Président confirme, enfin, que l'on ne pourra se prononcer sur l'utilisation des turbines Kaplan en déchargeur, pour des débits beaucoup plus importants, de l'ordre de grandeur du débit normal à pleine charge et à vitesse normale des groupes, qu'à la suite de nouveaux essais sur modèle réduit, et également, en grandeur nature sur des turbines existantes; de tels essais devraient indiquer la valeur maximum du débit, l'angle des pales correspondant à ce débit, les pressions d'air à admettre pour les diverses valeurs d'ouverture, tout ceci avec une sécurité suffisante et sans cavitation.

En réponse à M. CAZENAVE, M. MONTEIL indique que le calage de la roue par rapport au niveau aval est, à Palaminy, de l'ordre de deux mètres.

M. CAZENAVE précise que, d'après les essais qui ont pu être effectués, la contre-pression de l'aval sur la roue a une importance considérable. Dans le fonctionnement désiré, il faut que la colonne d'eau tombant du distributeur refoule le plan d'eau par phénomène de ressaut, en dessous du niveau de la roue, ce qui s'obtient plus facilement avec une contre-pression plutôt faible.

De plus, indique M. CAZENAVE, le fonctionnement en déchargeur, qui est différent du fonctionnement à vide, nécessite une dissipation de l'énergie hydraulique dans un ressaut sous la roue et non au-dessus ou dans le plan de la roue, ce qui exige un refoulement de l'eau à une assez grande distance et ne peut se produire que pour des débits établis relativement importants. Il est donc heureux qu'à Palaminy, le fonctionnement en déchargeur ait été envisagé à partir de la pleine charge,

au lieu de la marche à vide. Les essais effectués à Bollène ont été assez encourageants, puisqu'on dépassait des débits de l'ordre de 70 % du débit nominal de la turbine; il y avait, certes, un élément favorable : c'est que la roue de la turbine était placée à une cote sous le niveau aval relativement faible.

M. FONTAINE pense que l'injection d'air sous la roue n'est indispensable que si le vide est absolu au plafond turbine au-dessus de la roue.

Il faudrait donc mesurer les pressions sur le fond de la turbine avant d'envisager l'injection d'air.

La roue doit être « libre » et fonctionner, autant que faire se peut, en « moulinet ».

M. MONTEIL pense que de tels essais sur modèles réduits n'ont pas été faits par Neyrpic, mais pourront l'être lorsque l'installation sera réalisée : on pourrait, en cas de résultats satisfaisants, envisager, pour les installations futures, une simplification et, également un léger surdébit.

M. le Président remarque que les essais sans admission d'air seront d'autant plus possibles à Palaminy que l'on admettra un débit de restitution faible.

M. LIEBER estime que l'expérience que l'on a sur de grosses turbines hélice permet d'affirmer qu'il faut injecter de l'air pour pouvoir fonctionner de façon relativement stable à de faibles ouvertures de vannage.

M. FONTAINE indique que G.R.P.H. Rhône a réalisé une marche en synchrone sur des turbines de 5 000 kW, sans aucune vibration, à 3/4 du débit, en ouvrant le distributeur à 30° (ouverture maximum possible).

M. ABBO indique que les turbines de Palaminy, en déchargeur, sont en légère surouverture : 29°, contre 27° pour l'ouverture maximum en charge. Un élément favorable au fonctionnement en déchargeur est la vitesse de rotation peu élevée des turbines qui est de 187,5 tr/mn, alors qu'à la limite, on aurait pu adopter 214 tr/mn.

M. VAZELLE demande si le limiteur de fermeture qui, à priori, est un accessoire inquiétant du distributeur, est vraiment nécessaire : ne pourrait-on pas se contenter de limiter la fermeture à la position de marche à vide en agissant sur le dash-pot (dosage accélérométrique) du régleur?

M. MONTEIL indique que la marge de sécurité par rapport à l'arasement des risbermes est d'autant plus grande que le débit maintenu dans les turbines est lui-même plus important. La valeur exacte de cette marge de sécurité sera déterminée lors des essais, qui seront exécutés à la mise en service de l'usine.

M. CAZENAVE ajoute que les essais de coupure sont très intéressants parce qu'ils donnent la valeur de l'ouverture du distributeur pour laquelle on trouve la survitesse maximum.

M. le Président remercie les deux conférenciers et tous les auditeurs qui ont bien voulu intervenir dans cette discussion.