

Denoyage des roues de turbines de Chastang et de l'Aigle

De-watering of the turbine runners at Chastang and l'Aigle

PAR E. FONTAINE

CHEF DE GROUPE DE PRODUCTION A L'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

Les besoins de l'exploitation peuvent nécessiter la marche d'un groupe hydro-électrique « en synchrone » : admission d'eau fermée et alternateur fonctionnant en moteur synchrone. La turbine pouvant se trouver plusieurs mètres au-dessous du niveau aval, la roue barbotte dans l'eau en absorbant de l'énergie et en s'échauffant.

La communication a pour objet la description de quelques modalités particulièrement intéressantes de dénuyage par injection d'air comprimé en des points de la turbine judicieusement choisis. Cette opération a pour conséquence essentielle une diminution importante de l'énergie absorbée par l'alternateur.

The operating requirements of a hydro-electric unit can necessitate its working "en synchrone": the water intake shut and the alternator working as a synchronous motor. As the turbine may be several metres below the downstream level the runner splashes in the water absorbing energy and becoming heated.

The object of the paper is to describe a few particularly interesting means of de-watering by introducing compressed air at carefully chosen points in the turbine. The essential consequence of this operation is to greatly decrease the energy absorbed by the alternator.

I. — GÉNÉRALITÉS. — FONCTIONNEMENT EN SYNCHRONE DE LA ROUE NOYÉE

relève les chiffres suivants, les vannes by-pass étant fermées :

a) Mouvement de l'eau dans le plan horizontal.

La roue est entraînée par l'alternateur fonctionnant en moteur synchrone; l'eau restant dans la turbine est mise en rotation et l'effet de la force centrifuge maintient la bêche en pression.

L'ouverture du vannage freinant cette rotation de l'eau a pour conséquence d'une part une augmentation des pertes par brassage et d'autre part une diminution de la pression dans la bêche. C'est ainsi qu'à Chastang (puissance nominale 134.000 ch, 150 t/m, $H_n = 70$ m, $N_s = 254$) on

(*) L'eau détendue dans le joint supérieur de la roue est évacuée, d'une part, dans le tuyau d'équilibrage, d'autre part, à travers des orifices débouchant à l'intérieur de la poutre perforée (la pression disparaît complètement quand la roue est dénuyée, de même, la puissance absorbée par l'alternateur tombe alors à 2.500 kW).

POSITION distributeur (ouverture en 1/10)	PRESSION		PUISSANCE absorbée kW
	Bêche (axe) m/eau	Tuyau équilibrage m/eau	
0/10	26	2 à 3	15,5
1/10	24	2 à 3	15,5
2/10	20	2 à 3	14,3
3/10	16	1,9 à 2,1	13,0
4/10	14	1,9 à 2,1	13,0
5/10	11	1,9 à 2,1	15,5
6/10	8,5	1,5 à 2	18,2
7/10	3	1,2 à 1,8	20,8
8/10	2	1,1 à 1,6	20,8
9/10	2	1,2 à 1,8	20,8
10/10	2	1,3 à 1,8	20,8

b) Mouvements de l'eau à travers la roue.

Dans le cas de turbines à vitesse spécifique moyenne, on constate que les pertes par brassage n'entraînent pas d'échauffement sensible de l'eau et de la roue, ce qui pourrait être dû au fait que le rayon de l'arête amont des aubes est plus grand à la partie inférieure qu'à la partie supérieure, disposition favorable à la naissance à travers la roue d'une circulation active, se répercutant jusque dans l'aspirateur.

Par contre, dans les turbines à faible N_s (Brommat par exemple), le diamètre extérieur des aubages est constant sur toute la hauteur du distributeur, la circulation d'eau à travers la roue est réduite, l'élévation de température atteint en quelques minutes 40° .

II. — DIFFÉRENTES MODALITÉS DE DÉNOYAGE

1° Premier essai à Chastang. — Injection de l'air au-dessus de la roue.

Précisons que les conditions de non-cavitation ont conduit le constructeur à implanter la turbine à une altitude telle que la contre-pression aval soit en moyenne de 3,5 m sur l'axe du distributeur.

Un compresseur aspirant 750 l/s refoulait l'air directement sur le plafond percé de la roue par le tuyau d'équilibrage fermé à l'autre bout.

Dans un premier essai, la vanne papillon de garde était fermée, les by-pass étaient laissés ouverts pour assurer le refroidissement de la roue par les fuites du distributeur maintenu fermé. Ayant observé que malgré la forte puissance absorbée en barbotage la température de la zone brassée n'augmentait pas, l'essai fut poursuivi by-pass fermés en toute sécurité du point de vue

température. On notait toutefois que ce fonctionnement en barbotage était très bruyant et que les cavitations sur les parois et les aubages faisaient vibrer la turbine.

Après une longue attente dans ces premières conditions d'expérience, on dut conclure à l'élimination de ce procédé; l'air introduit sous forme d'un faible débit continu se divisait par le brassage en une émulsion fine que les courants de convection créés par l'aubage de la roue rejetaient au bief aval.

A aucun moment ne se créait une surface libre de séparation air-eau.

2° Injection d'air dans la bache.

Sur les conseils du constructeur de la turbine fut mis ensuite en application, en novembre 1953, un mode d'introduction d'air limitant les pertes par émulsion et ayant pour effet de créer, dès le début de l'opération, une surface de niveau de séparation des deux fluides. (Brevet n° 1.047.455 déposé le 3-1-1952.)

De l'air fut refoulé en un point haut de la bache avec le compresseur capable d'un débit aspiré de 750 l/s.

Le distributeur était maintenu à une ouverture voisine de $2,5/10^\circ$; le papillon de garde ainsi que les by-pass étaient fermés. Les constatations furent les suivantes :

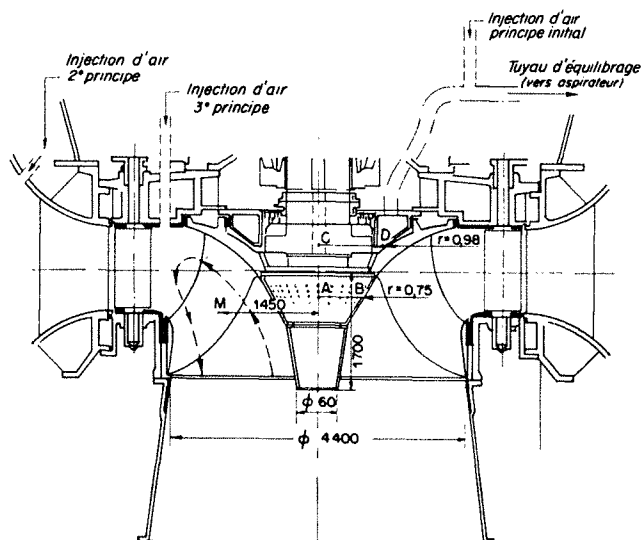
Au début de l'insufflation, la pression dans la bache était de 2,6 kg par cm^2 ; le contrôle de l'abaissement du niveau de l'eau dans la bache se faisait par purgeurs étagés. Après 15 minutes environ de ce régime, le dénoyage s'effectuait brusquement et le niveau d'eau dans l'aspirateur était refoulé très au-dessous de la roue (jusqu'au coude de l'aspirateur et avec un lâcher d'air en excès à l'aval).

En fin d'opération, la pression d'air dans la bache et dans l'aspirateur était évidemment conditionnée par la charge d'eau aval sur le coude de l'aspirateur.

Il suffisait ensuite pour entretenir le dénoyage d'un débit d'air absolument infime; on put même fonctionner pendant une dizaine d'heures sans air d'entretien.

Par la suite, au cours d'essais ultérieurs en mars 1954, l'opération était parachevée par la décharge d'un réservoir de 22 m^3 sous une pression initiale absolue de 6 à 7 kg. Le dénoyage était obtenu en 7 minutes.

La quantité théorique d'eau à chasser était relativement importante (590 m^3 , représentant le volume de la bache à l'aval de la vanne de pied, entre son plafond et le seuil des directrices, plus le volume intérieur de la roue et de la partie de l'aspirateur jusqu'à la ceinture inférieure); l'ouverture du vannage aux environs des 8/10 pen-



dant le dénoyage diminuait de façon intéressante la pression d'injection (cf. tableau chapitre I) et le volume d'air nécessaire.

Par contre, la diminution de la contre-pression que l'on était en droit d'attendre du dénoyage ne se faisait réellement sentir qu'en fin d'opération, ce qui explique que la détente de la réserve d'air comprimé se soit surtout révélée efficace en fin de dénoyage.

L'émulsion n'était pas considérable et la perte d'air de ce fait négligeable. D'ailleurs, la fin du dénoyage, déduite de la lecture du wattmètre, était effectuée après une injection de 440 m³ environ au lieu des 590 m³ théoriques. On peut penser que, au moment du dénoyage effectif, le niveau de l'eau dans la bêche était encore supérieur au niveau de la base du distributeur.

3° Variante au principe de dénoyage par injection dans la bêche.

Ces essais ont été effectués, en collaboration avec le constructeur, à l'Aigle, où les conditions sont les suivantes: puissance nominale 53.860 ch, 1.875 t/m, $H_n = 66$ m, $n = 265$, charge d'eau aval au niveau de la ceinture inférieure de la roue : 2^m.

Dans le but de réduire le volume d'air à injecter, on a limité dans une première phase le dénoyage à la roue elle-même, en maintenant le distributeur fermé et la bêche pleine d'eau, la vanne de pied et le by-pass étant fermés; l'air pouvait être indifféremment injecté entre flasque et partie supérieure du plafond de roue ou entre distributeur et roue. La bêche était ensuite lentement vidangée (par les fuites du distributeur

par exemple); pendant cette opération, la roue était maintenue dénoyée par une soufflante basse-pression; pour réduire au minimum la pression d'entretien, cette introduction d'air était, de préférence, faite entre distributeur et roue.

Ce dispositif fonctionnait parfaitement; l'air injecté provenait d'un réservoir de 3 m³ à une pression absolue de 21 kg; le dénoyage était effectif après 10", la pression dans le réservoir étant alors tombée à 13 kg. Deux soufflantes de 750 m³/h chacune assuraient le maintien du dénoyage pendant la vidange de la bêche.

Avant dénoyage, la puissance absorbée par l'alternateur était de 5.000 kW avec distributeur fermé, 10.000 kW avec distributeur ouvert, la pression dans la bêche de 3,1 kg dans le premier cas, 1,2 kg dans le second. Après dénoyage, la puissance absorbée tombait à 1.000 kW.

4° Autre variante.

On opérait comme en (3), mais avec vanne de pied ouverte, ce qui autorisait un renoyage rapide (30" au lieu de 1'30). Par contre, les fuites au distributeur subsistaient avec leurs inconvénients habituels: usure du distributeur et augmentation non négligeable de la puissance absorbée notamment.

CONCLUSION

Ces nombreuses expériences ont mis en évidence plusieurs possibilités de dénoyage rapide; la modalité paraissant la plus intéressante est celle décrite sous 3°, en raison de la brièveté de l'opération et du faible volume du réservoir d'air comprimé nécessaire.

DISCUSSION

(Président : M. GARIEL)

M. ARNOUX indique que, dans une expérience antérieure à celle de Chastang, le dénoyage était obtenu, dans de bonnes conditions, lorsqu'on ouvrait le distributeur à 10%. Ceci permet d'emmagasiner dans la chambre spirale, de l'air sous pression qui, dès que le point critique du dénoyage est atteint, se détend rapidement et complète le dénoyage; en ouvrant à 9/10 le dénoyage était impossible.

M. FONTAINE estime que l'on n'a pas intérêt, toutefois, à utiliser une pression forte au départ, car c'est gaspiller le potentiel de l'air, qui se perd au moment de la détente.

M. le Président rappelle que le problème consistant à faire tourner les alternateurs en moteurs synchrones en absorbant le moins d'énergie possible avait été résolu, antérieurement au dénoyage, par la fermeture des vannes d'admission, ce qui entraînait, toutefois, l'obligation de refroidir les labyrinthes. Quel est l'avantage du dénoyage sur ce procédé?

M. FONTAINE répond que le problème actuel, qui est la production d'énergie réactive sur le réseau à certaines

périodes de la journée, aurait pu être résolu de plusieurs façon: 1° la fermeture du distributeur, qui a l'inconvénient de gaspiller de l'eau et de faire travailler la roue et le distributeur dans de mauvaises conditions (lamina-ge); 2° la fermeture de la vanne de garde, mais alors la roue qui est placée au-dessous du plan d'eau aval, est noyée et son entraînement emprunte de l'énergie au réseau; 3° l'alimentation par le by-pass qui, comme cela a lieu à Brommat, ferme le haut du vannage et réduit les pertes par rapport à la marche à vide, mais gaspille de l'eau et absorbe aussi de l'énergie, la roue n'étant dénoyée qu'exceptionnellement. Le procédé du dénoyage tel qu'il est proposé résout ce triple problème et permet d'assurer la continuité de la marche du réseau d'Electricité de France, grâce à la possibilité donnée à un groupe hydraulique, comme Chastang, de passer, en deux minutes, de la marche en veilleuse à la marche à pleine charge. La prise en charge instantanée d'une telle puissance par une centrale thermique nécessiterait une tenue permanente des chaudières sous pression, donc un gaspillage important de combustible.