

# Exploitation et entretien des groupes bulbes

**André Lacoste**

Chef de la Division Matériel, Service de la Production Hydraulique, Electricité de France

Je vais essayer, au cours de mon intervention, de vous faire part des réflexions des Exploitants concernant les groupes bulbes. Mon prédécesseur, Monsieur André, avait, en 1973, fait le point de ces questions dans un article de La Houille Blanche intitulé "De Cambeyrac à Strasbourg, quinze ans d'exploitation des groupes bulbes".

A l'époque, Monsieur André s'était attaché à faire le bilan de l'exploitation des 52 bulbes de plus de 5 MW qui existaient. Comme tout évolue, je vais vous parler des 71 Bulbes de plus de 10 MW exploités actuellement par Electricité de France (bientôt 78 avec ceux de Vaugris et Sablon) (Tableau 1).

Je vais essayer de vous parler de tous les aspects de l'exploitation. J'évoquerai donc les questions concernant le fonctionnement de ces machines et je vous ferai part également des problèmes de maintenance, d'entretien et même de ceux posés par les grosses réparations. Je m'attacherai à faire, dans la mesure du possible, une comparaison avec les mêmes questions relatives aux groupes Kaplan verticaux classiques.

## Exploitation

D'abord, parlons de l'exploitation proprement dite.

Vus par l'utilisateur, le Chef de Quart lorsqu'il en reste ou le dispatcher du Service des Mouvements d'Energie, les groupes Bulbes présentent-ils des avantages ou des inconvénients par rapport aux groupes classiques?

A l'actif du groupe bulbe, on peut mettre les points suivants :

1) Rendements au moins aussi bons que ceux d'un groupe Kaplan classique. Le point de cette question avait été fait en 1973 par M. André. Il n'y a pas eu de mesure de rendement absolue effectuée depuis cette date. Il n'y

a pas de charges critiques, qui sont d'ailleurs rares dans les Kaplan.

Toutefois, il faut signaler un phénomène curieux dont la cause n'a pas été encore éclaircie. Il s'agit de la diminution plus ou moins rapide de la puissance maximale qui se manifeste sur certains bulbes à Strasbourg et Gervans par exemple. Le groupe reprend sa puissance après un déclenchement. Ce phénomène ne paraît pas être lié à une obstruction ou un charriage de corps étrangers.

2) Possibilité de marche en déchargeur, le débit étant contrôlé :

– soit par le vannage :

ex. Gerstheim vannage 3,5/10 pales 10/10

$$Q = 50 \% \text{ de } Q_n$$

$$N = N_n \text{ (100 tr/mn)}$$

– soit par vanne aval (ouverture à environ 30 %) :

ex. Strasbourg

$$Q = 70 \% \text{ de } Q_n$$

$$N = 65 \% N_n \text{ (65 tr/mn)}.$$

L'exploitant n'a pas de préférence particulière, mais apprécie ces possibilités de marche en déchargeur permettant, en particulier, la continuité des débits ou la constance des niveaux, à cause de la navigation par exemple. Signalons, toutefois, que cette possibilité n'est pas propre aux bulbes puisque les Kaplans classiques de Bourg-les-Valence équipées de vannes aval peuvent aussi fonctionner en déchargeur.

3) Possibilité du fait de l'écoulement axial et de la symétrie des adductions amont et aval de fonctionner en pompe et en turbine dans les deux sens d'écoulement. Exemple : La Rance. Mais il faut, dans ce cas, consentir à une perte de l'ordre de 10 points dans le fonctionnement en turbine inverse, la configuration de la turbine avec distributeur à l'aval n'étant vraiment pas très favorable !

Tableau 1 Groupes bulbes de puissance supérieure ou égale à 10 MW exploités par E.D.F.									
Nom de la Centrale	Année mise en service	Rivière	Chute max brute (m.)	Nbre de groupes	Puissance unit. (MW)	φ roue (m.)	Nbre tours/mn	Type	Accès
Marémotrice	1966	Rance	13	24	10	5,35	93,8	Amont-réglable réversible (pompe)	Puits descendant dans ogive amont Alt.
Argentat	1958	Dordogne	16,5	1	14	3,80	150	Aval avec double palier turbine	Puits cone amont turbine Puits cone aval Alt.
Villeneuve s/Lot	1970	Lot	11,3	2	14	4,40	136,6	Amont-réglable	Puits descendant dans ogive amont Alt.
Golfech	1973	Garonne	15,5	2	23	5,10	125	Amont-réglable	Cheminée dans cone aval alternateur
Pierre-Bénite	1966	Rhône	12,8	4	20	6,10	83,3	Amont-réglable	Galerie horizontale dans ogive amont Alt.
Vaugris	1979 1979	Rhône Rhône	6,0 6,0	2 2	18 18	6,25 6,90	75 75	Amont semi-réglable Amont-fixe	{ Puits vertical descendant dans ogive amont
Sablon (Péage de Roussillon)	1977	Rhône	12,5	4	40	6,25	93,8	Amont-réglable	Galerie horizontale dans ogive amont Alt.
Gervans (Saint-Vallier)	1971	Rhône	12	4	30	6,25	93,8	Amont-réglable	Galerie horizontale dans ogive amont Alt.
Caderousse	1975 1975	Rhône Rhône	9,5 9,5	2 4	32 32	6,25 6,90	93,8 93,8	Amont-réglable Amont-fixe	{ Cheminée ogive amont Alt. et cheminée cone aval Alt.
Sauveterre	1973	Rhône	9	2	33	6,90	93,8	Amont-fixe	Puits descendant dans cone aval alternateur
Avignon	1973	Rhône	10	4	30	6,25	93,8	Amont-réglable	Galerie horizontale dans ogive amont Alt.
Beaucaire (Vallabrègues)	1970	Rhône	13,6	6	35	6,25	93,8	Amont-réglable	Galerie horizontale dans ogive amont Alt.
Gerstheim	1967	Rhin	11	6	23	5,6	107	Amont-réglable	Galerie horizontale dans ogive amont Alt.
Strasbourg	1970	Rhin	14,5	6	29	5,6	100	Amont-réglable	Puits descendant dans ogive amont Alt.
Gambsheim	1974	Rhin	13,2	4	25	5,6	100	Amont-réglable	Puits descendant dans ogive amont Alt.
Total				78 groupes	1745 MW				

Au passif du groupe Bulbe, on peut mettre sa faible aptitude à produire de l'énergie réactive. Il est certain que le faible volume et surtout le diamètre de l'alternateur conduisent à ce qu'on appelle un coefficient de poussage  $K_u$  exprimé en  $kVA/m^3/tr/mn$  élevé :

$$P = K_u D^2 L n$$

$K_u = 5,20$  pour Kaplan classique

= 7,65 pour La Rance

= 9 pour Beaucaire.

Dès lors, il n'est pas économiquement valable de prévoir la machine avec un  $\cos\phi$  très différent de 1 et ceci d'autant plus que la possibilité de production d'énergie réactive n'est généralement pas valorisée dans les calculs économiques. C'est la raison pour laquelle tous les Bulbes en service ont des possibilités de production de réactif très faibles. Cette question mériterait d'être examinée avec soin car il semblerait que les hydrauliciens pourraient actuellement s'accommoder de diamètre d'alternateur relativement plus élevé qu'il y a quelques années.

## Maintenance

La surveillance et les petites interventions (appoints d'huile, remplacement de petites pièces défectueuses), actions que nous recouvrons du terme maintenance, sont-elles comparables à celles d'une centrale classique ? Il est très difficile de répondre à cette question car les usines sont différentes et les effectifs de maintenance ne s'occupent pas seulement des machines. Il semble toutefois que les effectifs nécessaires à la maintenance dans les centrales équipées de Bulbes soient très légèrement supérieurs à ceux des centrales classiques ; ceci est sans doute dû à la plus grande complication des auxiliaires du groupe. D'autre part, on note un souci de surveillance des anomalies pouvant survenir à l'intérieur du Bulbe, fuites d'huile ou d'eau par exemple, anomalies lourdes de conséquences. Cet accroissement des effectifs de maintenance est particulièrement sensible à La Rance où les arrêts et démarrages très fréquents nécessitent une surveillance accrue des machines.

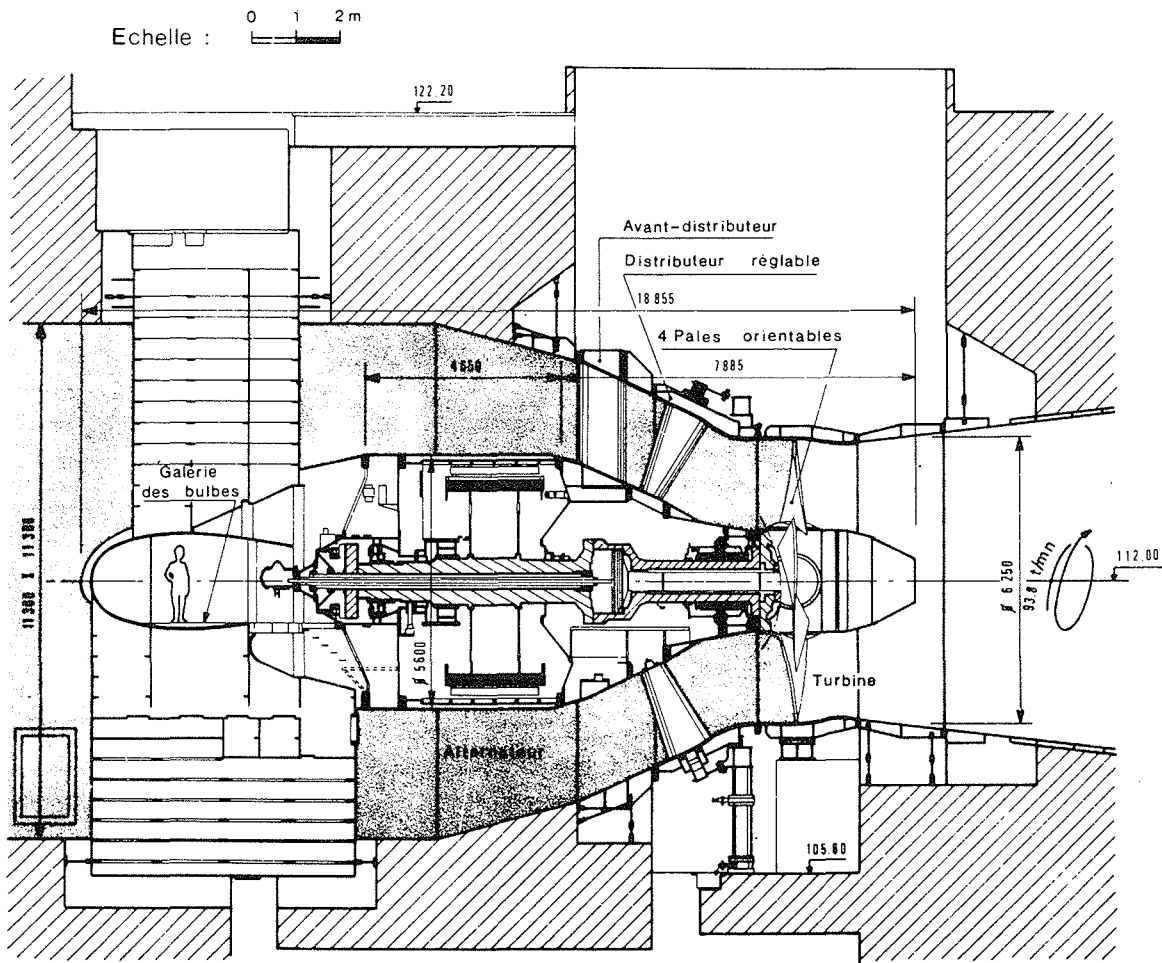


Figure 1 – Bulbes amont accès à l'ogive par galerie horizontale – Strasbourg ou Rhône (sauf Caderousse).

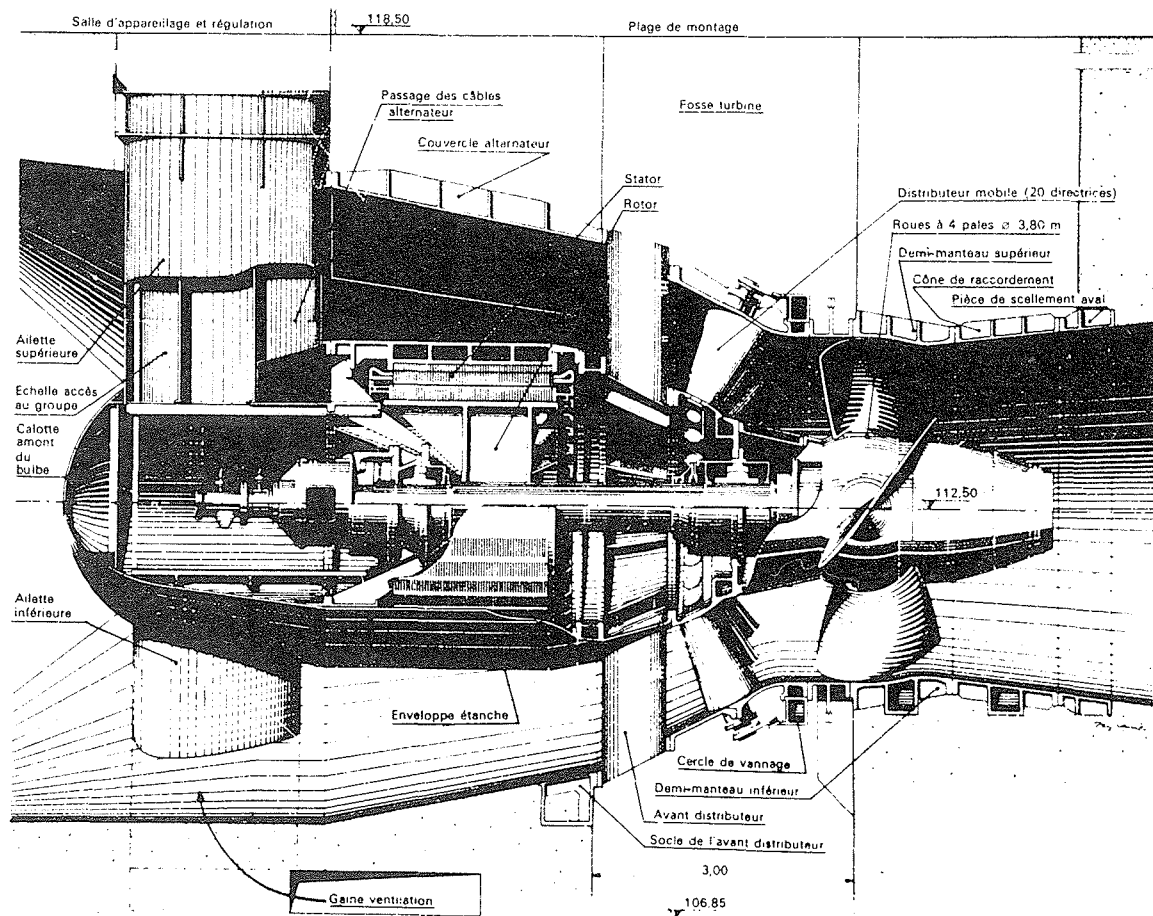


Figure 2 – Bulbes amont accès à l'ogive par puits – accès au joint turbine à travers le rotor – type Rance.

Un peu supérieur à 1 agent par groupe à La Rance, le personnel de maintenance est de l'ordre de 1/2 agent dans les centrales équipées de Bulbes et de l'ordre de 1/5 à 1/8 d'agent dans les centrales classiques comportant des Kaplan. Signalons, toutefois, que ces chiffres doivent être considérés comme des ordres de grandeur car ils sont évidemment fonction du nombre de machines et de l'importance de la centrale. D'autre part, ils correspondent au personnel assurant la maintenance de toutes les installations et non pas seulement des machines.

## Problèmes d'entretien

### Turbine

**Cavitation :** Il est maintenant admis qu'il est prudent de prévoir des pales et un manteau de roue en acier inoxydable. Aux usines de Pierre Bénite, Beaucaire et de Gervans où on avait cru pouvoir déroger à cette règle et où les pales et le manteau sont en acier ordinaire, nous avons des problèmes de cavitation importants nécessitant des arrêts pour rechargement. Signalons aussi l'importance d'un calage correct si on veut éviter toute cavitation.

**Les joints d'arbres,** après bien des mises au point, fonctionnent maintenant à peu près correctement. Signalons l'évolution lente, mais très nette vers les joints radiaux ou plans comportant des couronnes en polyéthylène haute résistance genre Cestidur, remplaçant le carbone. Signalons également l'excellent comportement des joints en caoutchouc naturel genre Linatex des groupes 5 et 6 de Gerstheim : ces joints ont une très bonne accessibilité. Notre expérience en matière de joint d'arbre est grande puisqu'à la seule usine de La Rance 32 solutions différentes ont été essayées.

**Les accouplements roue-arbre** sont toujours très surveillés et nous avons eu de nouvelles ruptures de goujons d'accouplement dont nous connaissons le sous-dimensionnement. Il s'agit des groupes de Gerstheim où les contraintes dans les goujons étaient de l'ordre de  $14 \pm 3$  hb. A Strasbourg et Beaucaire, les goujons sont, au contraire, correctement dimensionnés, mais nous avons eu des ruptures par fatigue vraisemblablement dues aux chocs consécutifs à une perte de précontrainte entraînant un jeu. Les Constructeurs sont maintenant conscients de ce problème et apportent un soin particulier à l'étude des phénomènes de fatigue qui apparaissent dans ces organes.

(Temps de remplacement de 16 goujons à Beaucaire : 80 Hommes/jours).

Signalons qu'à Sauveterre il n'y a qu'un seul écrou central de fixation de la roue. Inutile de vous dire que cet assemblage est très surveillé, notamment par ultrasons.

## Alternateur

*Les phénomènes d'électro-érosion* constatés sur les pôles rotor paraissent maintenant bien connus et les réparations par matage ou brasage des amortisseurs par point dans leur logement paraissent être efficaces pour annuler ou du moins retarder l'apparition de ces phénomènes.

Il est apparu, depuis 1973, un problème concernant les stators ; je veux parler des ruptures ou déformations des fixations généralement réalisées par clavettes en queue d'aronde ou rectangulaires des circuits magnétiques sur les carcasses. Ce phénomène a été observé d'abord sur le Rhône (à Vallabrègues) mais n'a pas présenté de caractère de gravité, puis s'est manifesté de façon beaucoup plus rapide et grave à La Rance où les stators n'ont qu'une très faible rigidité propre. Ces désordres sont certainement provoqués ou tout du moins aggravés par les contraintes dues aux couplages asynchrones, et aux démarrages asynchrones en pompe (Rance). Les couplages asynchrones ont été supprimés et remplacés par le couplage synchrone sur le Rhône, sauf lors du couplage après une marche en déchargeur.

Là encore, il est souhaitable que les Constructeurs étudient avec soin le dimensionnement de ces accrochages circuit magnétique-carresse, car toutes interventions en ces points particuliers de la machine sont, comme nous le verrons, longues car elles nécessitent un démontage complet.

## Interventions particulières

Le Service de la Production Hydraulique ayant actuellement une certaine expérience concernant les interventions sur les Bulbes, il nous a paru intéressant de comparer les temps d'interventions et les moyens mis en œuvre dans le cas de Bulbes et de Kaplan classiques pour quelques opérations-types, et pour des machines semblables.

### A) Interventions sur la turbine

#### 1 - Remplacement des pales de la turbine

Ce remplacement demande à peu près 100 jours de 8 heures de travail à 5 à 6 agents (560 Hommes/jours) sur une Kaplan classique où il faut sortir complètement le mobile rotor-arbre-roue. Sur un bulbe type La Rance, 34 jours suffisent avec également 5 à 6 agents (168 Hommes/jours). Donc, très net avantage pour les Bulbes pour lesquels les temps sont de l'ordre du 1/3 de ceux nécessaires sur une Kaplan. La photo 1 montre, en effet, l'excellente accessibilité de la turbine lorsque le demi-manteau supérieur est enlevé (Gerstheim).

#### 2 - Démontage et remontage joint turbine

La durée de cette intervention dépend énormément de l'accessibilité du joint. D'une durée de l'ordre de 16 jours de travail sur une Kaplan (48 Hommes/jours), cette intervention est exécutée seulement en 10 jours (40 Hommes/jours) sur un Bulbe type Gerstheim G.5 et G.6 où le joint est accessible depuis le conduit hydrau-

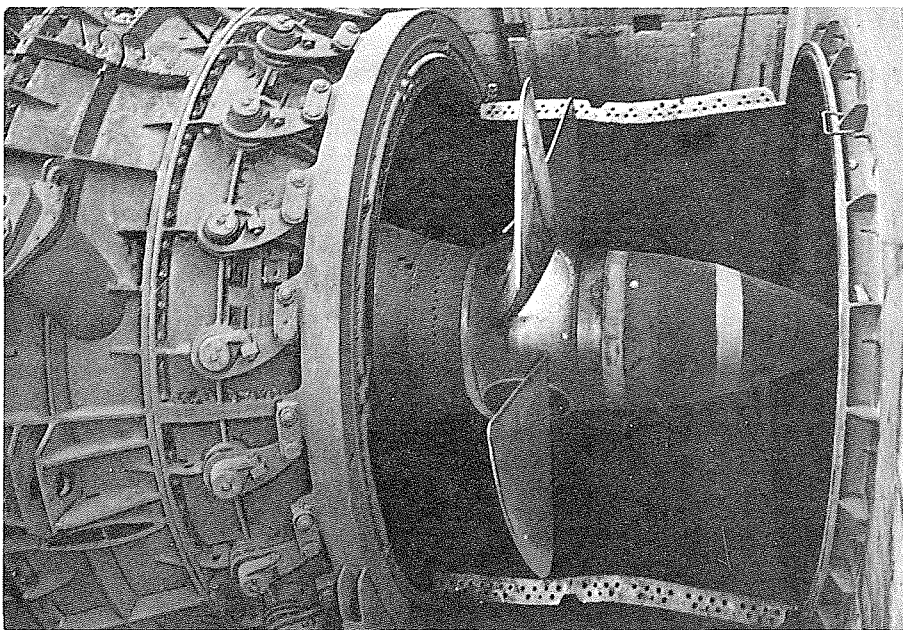


Photo 1

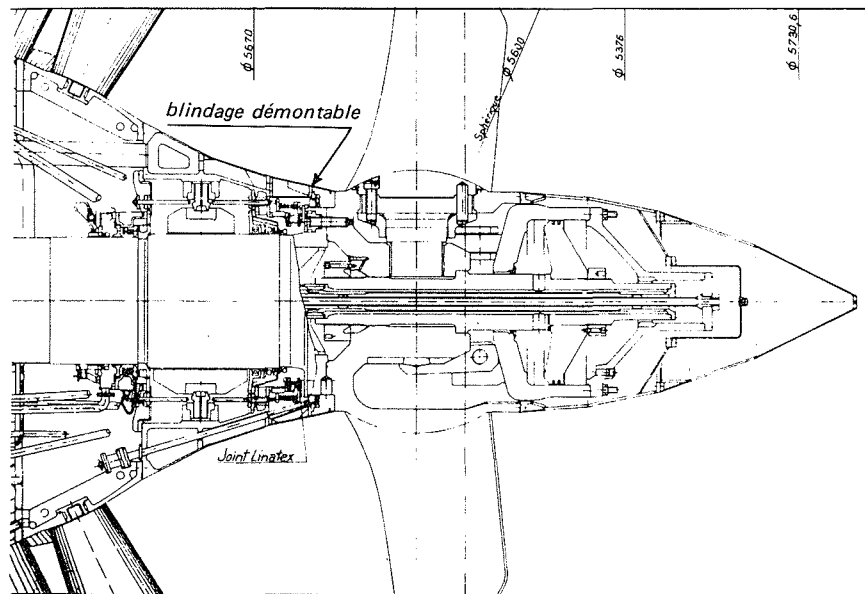


Figure 3 – Bulbes amont accès à l'ogive par puits – accès au joint turbine directement par le conduit hydraulique – type Gerstheim – G5 et G6. S.F.A.C.

lique en démontant simplement la tôle de raccordement du cône amont turbine. La figure 3 montre la disposition très intéressante de ce joint et sa bonne accessibilité sur ces groupes.

Au contraire, sur un Bulbe type Beaucaire où l'intervention se fait depuis l'intérieur du Bulbe, 24 jours sont nécessaires (72 Hommes/jours).

## B) Interventions sur les alternateurs

### 1 – Remplacement des pôles rotor

Le remplacement d'un seul pôle nécessite :

4 jours de travail	} sur une Kaplan verticale
12 Hommes/jours	
5 jours de travail	} sur un Bulbe avec galerie horizontale
15 Hommes/jours	
7 jours de travail	} sur un Bulbe avec accès par puits
21 Hommes/jours	

On voit :

1 – Que le Bulbe nécessite un temps d'intervention plus long qu'une Kaplan verticale classique

2 – Que la galerie horizontale facilite les manutentions et permet de gagner du temps par rapport au groupe Bulbe avec accès par puits.

Pour remplacer tous les pôles du rotor, ces conclusions restent évidemment vraies puisque cette opération nécessite :

- 16 jours et 96 Hommes/jours sur une Kaplan
- 25 jours et 150 Hommes/jours sur un Bulbe avec galerie horizontale

- 31 jours et 186 Hommes/jours si le Bulbe ne comporte qu'un accès par puits

### 2 – Retôlage et rebobinage alternateur

Il s'agit là d'une opération importante puisqu'elle nécessite le démontage complet du Bulbe de façon à pouvoir effectuer le retôlage par empilage, l'axe du stator étant vertical. Au contraire, sur un groupe Kaplan classique, le retôlage se fait sur le site carcasse en place. Il y a un très net avantage pour le groupe Kaplan, l'intervention de démontage et de remontage des parties tournantes s'effectuant en 25 jours (134 Hommes/jours) auxquels il faut ajouter le travail proprement dit de retôlage et rebobinage. Sur un groupe Bulbe, il faut pour démonter et remonter le stator, 125 jours (996 Hommes/jours) soit un temps 5 fois plus élevé que sur un groupe vertical. C'est ainsi qu'à La Rance, le démontage et le remontage d'une machine dure 6 mois.

Signalons, toutefois, que sur les bulbes de grandes dimensions, le rebobinage (sans retôlage) peut s'effectuer sans démontage complet, mais en sortant les pôles du rotor. Cette intervention "acrobatique" a été effectuée à Gerstheim.

Signalons aussi qu'un ripage du mobile rotor + roue est possible à La Rance, et certainement sur d'autres bulbes. Ce démontage partiel représenté sur la figure 4 permettrait théoriquement d'accéder à l'alternateur sans démontage complet pour effectuer certaines interventions.

Il est bien évident que les temps d'intervention d'entretien indiqués ici ne sont valables que pour un type de machines donné et ne sont destinés qu'à permettre des comparaisons entre machines de puissance ou de poids comparables.

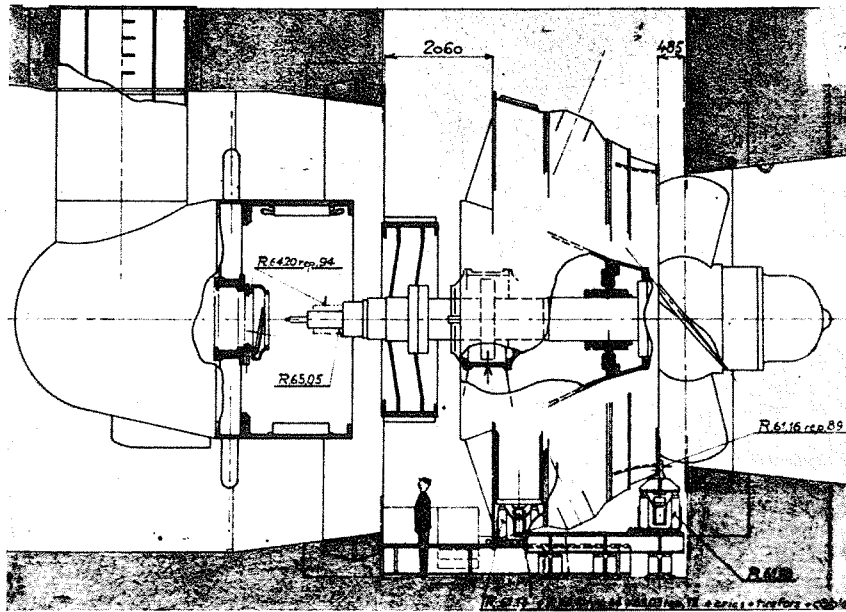


Figure 4 – Démontage partiel groupe Bulbe Rance.

## Conclusion

L'exploitation des groupes Bulbes ne paraît pas poser de problèmes particuliers. Leur bon rendement et leur possibilité de marche en déchargeur sont appréciés.

Leur maintenance légèrement plus lourde que celle de groupes classiques est toutefois effectuée sans problème.

En ce qui concerne les opérations d'entretien, il faut signaler :

- la très bonne accessibilité de la roue et des pales conduisant à des temps d'interventions de l'ordre du 1/3 de ceux rencontrés sur turbines Kaplan classiques ;
- l'intérêt des solutions favorisant l'accès à des pièces comme le joint d'arbre ou les goujons d'accouplement de la roue (blindage du cône de raccordement démontable) ;
- l'intérêt de la galerie horizontale qui facilite les manutentions de pièces lourdes, pôles par exemple.

Enfin, nous engageons les Constructeurs à prendre toutes précautions quant à la fiabilité et à la longévité de certaines parties du Bulbe qui restent difficiles et longues à démonter. Je veux parler, en particulier, du joint d'arbre lorsqu'il est peu accessible, de l'alternateur, rotor, pôles, stator et, plus précisément du calage des barres et accrochage du circuit magnétique-carcasse.

Un alternateur de Bulbe est une machine poussée, nous le savons, mais les risques que l'on peut prendre surtout en matière de technologie sont très lourds de conséquences pour l'Exploitant. Les Bulbes étant des machines fonctionnant au fil de l'eau, toute intervention longue (nous avons vu qu'il faut plus de 6 mois pour démonter et remonter un Bulbe) conduit à des indisponibilités en puissance et à des pertes en énergie très lourdes.

Nous engageons donc les Constructeurs à tenir compte de ces constatations et nous espérons voir sur les quelques sites restant à équiper, en particulier sur le Rhône, des groupes Bulbes sans aucun problème, rêve de l'Exploitant.

## Discussion

Président : M. C. GEMAEHLING

M. le Président remercie M. P. CAZENAVE et M. LACOSTE de leurs exposés fort documentés sur le vaste problème des "groupes-bulbe".

On peut penser, dit-il, que d'ici à 1980, il y aura en France plus d'une centaine de groupes-bulbe de grande dimension, totalisant 1 800 mégawatts, c'est-à-dire 45 % de la puissance totale des "bulbes" en service à cette date dans le monde. L'expérience française pour de tels groupes est considérable et M. CAZENAVE qui a joué un rôle très important dans leur mise au point pour les aménagements du Rhône nous a bien montré les problèmes posés par leurs substitutions aux groupes Kaplan classiques. Apportant le point de vue de l'exploitant, l'exposé de M. LACOSTE est un complément très précieux à celui de M. CAZENAVE car il est basé sur les observations faites in situ par la Direction de la Production Hydraulique d'Electricité de France. Je pense qu'il y a là matière à un large échange de vue et je m'empresse d'ouvrir la discussion.

M. le Président Paul BERGERON donne une explication du phénomène de "fatigue" progressive au bout d'une certaine durée de fonctionnement, constaté sur certains groupes bulbe et signalé par M. LACOSTE.

Le phénomène de chute des caractéristiques en fonction du temps, dit-il, est bien connu dans le pompage des eaux d'égouts. J'ai d'ailleurs fait, il y a 30 ans, une communication à la S.H.F. sur ce sujet.

Le phénomène est dû au glissement des corps les plus légers en suspension dans l'eau vers les zones de faible pression de la roue. Lorsque l'un de ces corps touche la paroi, il y reste collé par la force centrifuge. Avec le temps, et compte tenu des milliers de corps qui passent, il finit par se former dans cette zone de l'auge un paquet stable de résidus qui modifie l'écoulement. Si on arrête la pompe, ce paquet se désagrège instantanément et au redémarrage, on retrouve les caractéristiques normales de la machine.

Se référant à l'intervention ci-dessus, M. CRAVERO (D.T.G., Electricité de France) pense que l'explication du phénomène susvisé qui a été aussi constaté sur des roues Francis sous faible hauteur de chute n'est pas facile à trouver. Il cite le cas d'un bulbe où, pour une ouverture donnée de la roue, il a été trouvé plusieurs courbes de rendement différant sensiblement entre elles.

Tout se passe comme si la machine connaissait deux états de fonctionnement hydraulique se différenciant par des écarts de rendement. Ces écarts peuvent être importants : ils atteignent 4 points à demi-charge. Il donne en exemple la courbe rendement-puissance (voir figure ci-dessous).

Il n'a pas été possible de mettre en cause le dispositif de mesure et, en particulier, la détermination des débits dont la bonne fidélité a été vérifiée.

Le déplacement des performances se manifeste au bout d'un temps de fonctionnement variable sans qu'il ait pu être rattaché à un paramètre quelconque. Un phénomène analogue a été constaté sur d'autres groupes bulbe, mais tandis que sur ces dernières machines il était lent et progressif (environ 4 à 5 jours de fonctionnement pour trouver l'évolution des performances constatée ici) et disparaissait systématiquement avec un fonctionnement à vide de quelques instants, il est ici beaucoup plus rapide, presque aléatoire, et ne disparaît pas forcément à la suite d'un simple passage à vide ou même un fonctionnement en déchargeur.

Une campagne de vérification des comes de conjugaison étant envisagée en 1977 sur certaines usines du Rhône, nous espérons mettre à profit ces mesures pour éclairer cette question.

M. le Président souhaite que les spécialistes des pompes et des turbines se concertent pour trouver une explication satisfaisante à ces phénomènes qui intriguent de nombreux hydrauliciens. Il donne ensuite la parole à M. GONDOIN (S.E.E.E.) qui intervient en ces termes :

Je voudrais revenir sur la question du puits vertical ou de la galerie horizontale à l'amont des groupes bulbe. M. LACOSTE vient de nous faire part des avantages de la galerie horizontale pour les exploitants. Il serait souhaitable de chiffrer ces avantages car du point de vue du constructeur du génie civil, la galerie horizontale présente de sérieux inconvénients par rapport au puits vertical. En effet :

- les charges verticales sont mal retransmises par un bras horizontal ;
- la galerie recoupe les joints de construction des bétons, d'où risque de fuites ;
- les appuis verticaux du génie civil sont coupés par la galerie, ce qui conduit à un ferrailage beaucoup plus important que dans le cas du puits vertical.

