Utilisation des pompes-turbines à plusieurs étages dans les usines de haute chute

par J. Perrier

Chef des Services techniques de la R.E.H. Alpes-Nord,
E.D.F., Chambéry

Au cours des dix dernières années, de nombreuses installations de transfert d'énergie par pompage ont été construites, en particulier dans les pays à forte production thermique.

Les premières réalisations utilisaient des groupes ternaïres, aussi bien pour les chutes moyennes que pour les hautes chutes.

Par la suite, la pompe-turbine est apparue et a permis l'équipement des chutes de 200 à 400 m en règle générale.

C'est ainsi que des groupes de l'ordre de 250 MW équipent actuellement les installations importantes de transfert d'énergie par pompage (ex. Vianden, Revin, etc.).

Ce type de machine a permis de réaliser des économies d'investissement du fait du plus faible encombrement d'une part, et du moindre coût du matériel d'autre part.

L'équipement des hautes chutes (supérieures à 500 m) a été réalisé jusqu'à ce jour avec des groupes ternaïres comprenant une pompe, une turbine Pelton et un alternateur-moteur, la pompe étant entraînée, en général, par l'intermédiaire d'un accouplement mécanique débrayable.

Si le fonctionnement de ces groupes est sans problème pour leur conduite, il reste cependant que le coût de l'installation est relativement important, en particulier en ce qui concerne le génie civil.

En effet, la vitesse étant choisie pour permettre les meilleures conditions de vitesse spécifique pour la turbine et pour la pompe, le calage de cette dernière se trouve fixé à une cote située entre 10 et 20 m au-dessous du niveau aval, alors que la turbine Pelton doit se trouver à 2 ou 3 m au-dessus de ce même niveau, ce qui conduit à la construction d'un groupe de grande hauteur et, de ce fait, à des dimensions du bâtiment très importantes.

Une solution permettant de diminuer l'encombrement du groupe consiste à utiliser une pompe auxiliaire, créant pour la pompe principale la hauteur d'aspiration suffisante. Cette façon de faire amène cependant une certaine complication de l'installation.

Actuellement, le problème se pose donc d'utiliser au mieux les sites de haute chute avec un matériel simple, d'encombrement réduit et d'un coût le moins élevé possible.

La solution qui apparaît alors est l'utilisation du groupe réversible pompe-turbine, constitué par une pompe-turbine multiétage et un alternateur-moteur.

Cette pompe-turbine n'est en soi qu'une pompe multiétage que l'on fait fonctionner en turbine.

Il reste à envisager, pour des installations de haute chute, les avantages et les inconvénients de ce type de machine en ce qui concerne l'équipement d'une part, et l'exploitation d'autre part.

L'avantage principal est évidemment de réduire considérablement les travaux de génie civil, en particulier dans le cas des usines souterraines.

Par ailleurs, le coût du matériel et de son installation est fortement diminué.

Sur le plan de l'exploitation, la schématique des installations de conduite est simplifiée, ainsi que la télécommande.

Il y a lieu d'examiner cependant, dans les conditions actuelles de la technique, les possibilités et les performances de ce type de machine.

En ce qui concerne la puissance maximale possible, trois paramètres principaux peuvent actuellement limiter cette puissance :

1° Sur le plan de la pompe-turbine : les dimensions du corps et, par conséquent, son poids, pour l'acheminement à pied d'œuvre.

En effet, si le corps est réalisé, en soudé, d'une seule pièce, on est assez vite limité par les conditions de transport.

2° Sur le plan de l'alternateur-moteur : la capacité de dissipation de l'énergie des pôles lors du démarrage en pompe avec roues noyées.

3° Sur le plan du réseau : la chute de tension admissible.

Actuellement, on peut estimer, compte tenu de ces conditions restrictives, qu'un groupe constitué par une pompe-turbine avec corps en soudé et un alternateur-moteur conventionnel avec pôles massifs ou amortisseurs ne peut guère dépasser une puissance de 100 MVA environ.

Cependant, la construction du corps en plusieurs pièces et l'utilisation du dénoyage permettraient, sans aucun doute, la réalisation de puissances beaucoup plus importantes.

De même, l'utilisation d'alternateurs-moteurs avec réfrigération à eau du rotor permettrait une augmentation de la puissance de ces groupes, ainsi, vraisemblablement, qu'une augmentation des vitesses, autorisant, outre l'augmentation

INSTALLATION AVEC 4 GROUPES TERNAIRES

INSTALLATION AVEC 4 GROUPES BINAIRES

des puissances, une réduction des dimensions et du nombre d'étages de la pompe-turbine, entraînant ainsi une nouvelle économie.

L'inconvénient principal inhérent à ce type de machine est le manque de réglage continu de la puissance.

En effet, la pompe-turbine ne comporte pas de distributeur mobile. Si cette machine gagne en simplicité, par contre, elle ne permet pas, en turbine, d'assurer un réglage continu de la puissance. Mais, comme en général les installations de transfert d'énergie par pompage intéressent un réseau interconnecté puissant, on peut envisager, semble-t-il, le réglage « coup par coup », en ajoutant ou en retranchant une unité.

Cette façon d'opérer demande cependant certaines conditions de raccordement au réseau général, afin de ne pas provoquer de chutes de tension inadmissibles.

Tout d'abord, le réseau lui-même doit être suffisamment puissant afin que la puissance de court-circuit au point de raccordement de l'usine soit suffisante pour limiter la chute de tension. C'est ainsi que pour démarrer une unité de 100 MW en pompe, sans entraîner une chute de tension de plus de 2,5 % sur un réseau à 400 kV, il est nécessaire que la puissance de court-circuit minimale de ce réseau au point de raccordement soit de l'ordre de 10 000 MVA.

Pour le démarrage en turbine, il est évidemment possible de démarrer le groupe avec l'eau de la chute, par ouverture partielle de la vanne de garde ou d'un by-pass spécialisé. Après lancement du groupe à la vitesse proche du synchronisme, le couplage du groupe est effectué « au vol ». Ce mode de démarrage a pour effet de ne pas solliciter le rotor de l'alternateur-moteur, puisque l'énergie de lancement est fournie par la chute.

En dehors du mode de démarrage en pompe et en turbine tel que défini ci-dessus, se posent également le problème des changements de marche (passage de la marche en pompe à la marche en turbine et réciproquement), ainsi que celui des temps de démarrage et de changement de marche.

Pour le type de machine défini ci-dessus (100 MW environ), les temps de démarrage en pompe ou en turbine sont de l'ordre de 30 s. Les temps de changement de marche sont de 2 mn environ.

Pour préciser l'aspect technique et économique de ce type de machine appliqué à une installation de transfert d'énergie par pompage de haute chute, nous examinerons, ci-après, le cas de l'usine de Sainte-Hélène, actuellement en construction dans les Alpes.

La hauteur de chute est de 900 m, avec un débit équipé de 40 m³/s en première étape.

Le projet retenu prévoit l'installation en souterrain de quatre groupes, comprenant chacun une pompe-turbine à cinq étages et un alternateur-moteur de 85 MVA, avec évacuation ou absorption de l'énergie sur le réseau 400 kV.

La vitesse choisie (600 tr/mn) a été déterminée par des conditions de vitesse spécifique et de calage des groupes.

Le document reproduit ci-contre fait apparaître la grande différence d'encombrement de ces groupes par rapport aux groupes ternaires conventionnels et, partant, le gain réalisé sur les travaux de génie civil d'une part, et l'économie sur le matériel d'autre part.

La comparaison chiffrée dans les deux cas fait en effet apparaître une économie globale de 30 % pour la solution avec pompes-turbines par rapport à la solution avec groupes ternaires, cette économie se décomposant comme suit :

35 % pour le génie civil,

27 % pour le matériel.

A noter que cette économie représente sensiblement 12 % du montant total de l'aménagement considéré.

Des considérations examinées ci-dessus, relatives au coût de l'aménagement (se traduisant par une économie importante par rapport aux installations classiques avec groupes ternaires) et aux conditions d'exploitation, il apparaît que l'utilisation de ce type de machine pour des hautes chutes et pour des puissances unitaires de 100 à 150 MVA peut être envisagée dans toute sa simplicité, pour autant que la puissance du réseau soit suffisante pour permettre la mise en service des groupes sans dénoyage et avec un démarrage en asynchrone direct sur le réseau.

Le fait que ces pompes-turbines ne permettent pas un réglage continu de la puissance en régime turbine ne saurait constituer, sur un réseau puissant, un handicap très lourd, eu égard aux avantages que procure la suppression d'un distributeur mobile, lequel est généralement source de difficultés technologiques pour sa construction.

Discussion

Président : M. P. BERGERON

M. le Président félicite M. J. PERRIER pour son intéressante contribution à un problème difficile et de grande actualité.

Il ouvre ensuite la discussion.

Afin de prévenir une objection, M. GÉRARD signale que même si on compare la solution retenue à La Coche à la solution comportant seulement deux groupes ternaires (au lieu de quatre groupes binaires) on trouve encore un avantage en faveur de la solution adoptée.

M. PERRIER précise en outre :

Si l'on avait installé deux groupes ternaires on aurait dû construire deux pompes deux fois plus puissantes que les pompes-turbines actuelles. Or, j'ai dit tout à l'heure que nous sommes relativement limités par les techniques de réalisation à cause de l'importance des « corps » ; il est bien évident qu'une pompe de 160 MW sous 900 m pouvait poser quelques problèmes pour la réalisation et le transport des « corps ». Je pense que la solution choisie est préférable pour cette première affaire.

Pour deux groupes ternaires, les pompes de 160 MW auraient, semble-t-il, posé des problèmes aux constructeurs. Peut-être, ceux-ci pourraient-ils nous dire si cette solution était réalisable ?

M. CHAPPUIS exprime, comme suit, son point de vue sur cette question :

En ce qui concerne la puissance réalisable, il est clair que, lorsqu'un constructeur s'attaque à des problèmes de ce genre, il a envie de voir comment on peut extrapoler les choses au-delà de ce qui est demandé au moment même, et nous l'avons fait.

Je peux confirmer ce que disait M. PERRIER, c'est-à-dire qu'en effet, il est tout à fait possible d'envisager de faire des groupes plus puissants que ceux de Sainte-Hélène, disons de l'ordre de grandeur du double ; par l'étude des possibilités de réalisation pratique, on s'aperçoit que cela est possible mais pas sans quelques difficultés.

Un autre point que je voudrais souligner, c'est que la puissance maximale en turbine n'est pas quelconque par rapport à la puissance pompe, puisque le distributeur est fixe ; mais, là encore, par un certain nombre d'astuces consistant à agir sur la roue et sur le diffuseur, il est possible de forcer un peu la différence de puissance que l'on a respectivement en pompe et en turbine (ceci au détriment peut-être du rendement global de l'installation). Quand on voit la complexité des paramètres qui interviennent dans le calcul d'optimisation de l'installation — comme M. GÉRARD nous l'a exposé de façon magistrale, ce matin — je me demande si, en fait, de telles considérations ne pourraient pas intervenir dans le choix des caractéristiques de groupes de ce genre, au stade du projet.

M. CASACCI rappelle l'influence de la puissance maximale demandée en turbine sur la puissance de l'alternateur-moteur au démarrage pour amener le groupe au synchronisme. La limitation de la puissance au démarrage introduit une contrainte supplémentaire pour le tracé hydraulique de la machine. Dans le cas où l'on n'envisage pas de dénoyer la machine, il y a un compromis à trouver entre les puissances maximales en turbine et la puissance nécessaire au démarrage imposée à l'alternateur-moteur.

Personne ne demandant plus la parole, M. le Président clôt la discussion en remerciant vivement le conférencier et les Constructeurs qui ont bien voulu intervenir dans la discussion.

M. le Président passe la parole à M. MARTIN pour présenter la communication *Démarrage en pompe des groupes réversibles : Différents procédés utilisables : avantages et inconvénients* après avoir précisé que M. MARTIN, qui est Chef de division au Service Matériel de l'E.D.F., a été rapporteur du Groupe de travail E.D.F., chargé justement de l'étude de ces problèmes de démarrage, dont il est, de ce fait, un véritable spécialiste.