Les minigroupes hydroélectriques (100 à 1 000 kW)

Mini hydroelectric sets (100 to 1,000 kW)

J. Étienne

Société Dumont, Pont de St Uze

P. Chadenson

Neyrpic, Grenoble

L'évolution dans les facteurs qui orientent les choix techniques

Dans la gamme des petites puissances, d'une centaine à un millier de kilowatts, les installations réalisées avant 1940 étaient pratiquement toujours de conception analogue aux groupes de plus grande taille.

Certes, les vannes étaient généralement à commande manuelle et il y avait peu d'appareils de nettoyage des grilles sur ces installations. Mais il était habituel de rencontrer dans ces petites usines, des turbines Kaplan verticales à double réglage hydraulique par régulateur de vitesse, des installations à groupes multiples dans le cas des turbines Francis sous bache spirale. Les grilles étaient largement dimensionnées, la vitesse était lente dans les canaux d'amenée et de fuite, les angles étaient chanfreinés ou arrondis, les bétons étaient lissés et surabondants.

Par ailleurs, on disposait du personnel nécessaire pour assurer la manœuvre de vannes de décharge, lors des arrêts de la centrale ou pendant les crues. De même les graisseurs du type compte goutte à ballon de verre étaient remplis matin et soir, ce qui donnait l'occasion à un personnel stable de voir et d'entendre les symptômes de problèmes possibles et de prévenir les incidents.

Les machines électriques des groupes de basse chute étaient souvent à vitesse lente attaquées directement par l'arbre turbine dès que la puissance dépassait 300 ou 500 kW.

Était-ce la conséquence des faibles coûts de main d'œuvre, d'une foi en l'avenir qu'on prévoyait stable et sur lequel on tablait pour amortir, sur une longue période, des installations très complètes et soignées, ce n'est pas tout à fait notre propos de le préciser mais il nous faut constater que les perspectives des investisseurs paraissent aujourd'hui très différentes.

Il est vrai que certains changements sautent aux yeux, le coût de la main d'œuvre bien sûr mais aussi l'avenir plus incertain au-delà d'une dizaine d'années (les contrats d'achat d'énergie par EDF aux producteurs autonomes en France ne sont-ils pas très souvent limités au départ à 12 ou 15 ans, leur renouvellement dépendant de la conjoncture future). Le coût élevé de l'argent emprunté limite aussi l'enveloppe des dépenses, terme de langage qui devient courant dans ce domaine des petites réalisations.

Une place différente pour la technique hydraulique

Est-ce donc la fin de la prédominance de l'hydraulique pure? Oui si l'on entend que l'époque est bien passée où l'on avait le souci du rendement des machines même pour les faibles débits d'été. Oui si l'on pense à la véritable soumission aveugle aux exigences des hydrauliciens qui faisaient que même à une époque relativement récente les limites de vitesse dans les canaux ou les conduites forcées, les grilles, dans les entrées d'eau et les sorties d'aspirateurs étaient considérées comme sacrées au point que la discussion de ces valeurs n'était même pas envisagée par les investisseurs. Mieux, on trouvait sur certaines rivières des ouvrages reproduits identiquement ou en similitude dans lesquels les choix personnels du conseiller local en hydraulique se retrouvaient fidèlement, au même titre, pour ces détails ou ces manies, que s'il s'était agi de choix fondamentaux.

Mais l'hydraulique, si elle ne fait plus la loi, est peut-être bien plus présente qu'autrefois.

En effet, au lieu de notions simples, de valeurs présentées comme limites, mais qui en fait ne pouvaient avoir valeur universelle que par une large coefficient de

sécurité, voilà qu'il faut maintenant réduire les dimensions pour comprimer les dépenses, ne lisser les parois que si c'est rentable, savoir sacrifier dans certain cas quelques points de rendement, tenir compte de la qualification réelle des exploitants. Voilà, en résumé, que chaque cas devient un cas spécifique à traiter au plus près de la limite.

Cela implique donc une connaissance plus approfondie de l'hydraulique, des matériaux et matériels, la capacité de distinguer les différences entre deux projet apparemment identiques.

Voilà qu'il faut calculer plus serré mais ce n'est pas la plus grande difficulté, voilà surtout qu'il faut choisir des solutions techniques en fonction d'impératifs financiers. C'était plus facile quand l'hydraulique commandait. C'est peut être plus intéressant quand la rentabilité prime.

Des solutions qui peuvent surprendre

La réflexion ci-dessus avait pour but de mettre en lumière la raison profonde des dispositions choisies dans les exemples qui vont être exposés maintenant. En résumé, il ne faut pas voir dans ces groupes de construction récente le fruit d'une sorte de délire technique ou de l'ignorance des règles de l'art. Ce sont, avec leurs qualités et leurs défauts, les résultats de mutations dues à l'économie de notre époque.

Les basses chutes, les premières influencées

Cette influence explique pourquoi les exemples qui vous seront présentés maintenant sont essentiellement des installations de basse chute. En effet, dans le cas de hautes chutes le coût de la turbine et de son génie civil propre représente une part bien plus faible du prix d'installation que dans les basses chutes. Dans ces dernières, les machines sont relativement grosses et les travaux de Génie Civil importants et plus délicats car en plus grande partie au-dessous du niveau de l'eau.

Certains facteurs ajoutent parfois leur influence, dans le même sens. Par exemple, lorsqu'on rééquipe une ancienne centrale il peut être intéressant de réutiliser une partie des constructions existantes, tout en installant des machines capables d'un débit supérieur aux anciennes. Dans le cas où l'installation d'origine était très ancienne et comportait des turbines Fontaine par exemple, les chambres étaient grandes par rapport au débit équipé et permettront un suréquipement mais la sortie d'eau sous la turbine manquera de profondeur et il faudra travailler en sous œuvre. S'il s'agissait d'une centrale avec des turbines verticales à distributeur radial moins anciennes, le fond sera plus bas sous la turbine mais la chambre d'eau initialement mieux proportionnée n'admettra qu'un faible suréquipement dans la même disposition. D'où la tendance à changer de type de machine et à utiliser des turbines à alimentation axiale qui permettent, entre deux murs donnés, d'amener plus d'eau sur une roue plus grande, de façon tout à fait correcte. On pourra aussi souvent conserver le radier ancien dans le bâtiment, pour ne pas prendre de risque et

gagner artificiellement de la hauteur à l'entrée de l'eau par une pneumatisation partielle de la chambre d'entrée, en construisant une forme d'entonnement simple étalée en largeur à l'amont immédiat de l'ancien bâtiment. Un autre exemple tout à fait opposé, est celui d'un pays en développement installant une petite centrale dans une région isolée. Le Génie Civil bien que neuf devra être aussi, simplifié au maximum. Tout compte fait, dans bien des cas, cela conduira aussi à une turbine à alimentation axiale.

Exemples de réalisations

Groupe Kaplan Incliné chambre d'eau et aspirateur béton (Fig. 1).

Ce groupe est un ancêtre parmi les groupes présentés, bien qu'il n'ait été installé qu'en 1964. C'est pourquoi nous nous attarderons un peu sur les raisons qui ont influencé sa conception. Hauteur de chute 4 m débit 15,5 m³/s.

Il comporte un distributeur axial monobloc en fonte formant support de palier inférieur. Moyeu de roue en fonte, pales en cupro-aluminium, palier antifriction à circulation d'huile par rainure hélicoïdale, alimenté par une gaine étanche entourant l'arbre. Il faut en effet compenser les fuites d'huile par le presse étoupe inférieur, dont le serrage a besoin d'être fait périodiquement (1 à 3 mois). Manteau de roue en fonte.

Figure 1 — Groupe Kaplan incliné chambre d'eau et aspirateur béton.

Au passage du plafond de la chambre d'eau on trouve le palier de butée avec butée à rouleaux à bain d'huile. Étanchéité par cheminée, raccordée à la gaine du palier inférieur. L'arbre entraîne le multiplicateur de vitesse par manchon d'accouplement élastique. La génératrice asynchrone est elle-même entraînée par manchon élastique.

La commande des pales, asservie au niveau amont est assurée par moto-réducteur électrique entraînant une boîte coulissante qui entraîne la tige de commande des pales par une double butée.

L'arrêt et le démarrage du groupe s'effectuent par la vanne wagon amont à commande hydraulique, les pales revenant à leur position de démarrage préalable à l'ouverture de la vanne.

Le choix du distributeur axial simplifie la chambre d'eau qui, de spirale dans une turbine verticale clas-

sique, devient rectangulaire suivie d'un raccordement au cône du distributeur.

L'aspirateur incliné réduit un peu le creusage.

Le choix : distributeur fixe, pales réglables, permet de conserver un assez bon rendement aux faibles débits. Il entraîne néanmoins le sacrifice des très faibles débits, mais ceux-ci ne produisent pas assez d'énergie pour amortir le coût d'un distributeur conique réglable.

Le multiplicateur de vitesse, bien qu'incliné, reste dans les fabrications standards de réducteurs à axe horizontal. Il permet d'éviter la génératrice lente qu'il aurait fallu dans un bulbe et qui ne peut plus être construite compétitivement en petites dimensions.

Ce type de groupe, économique en installations neuves permet de faire passer plus d'eau dans une chambre d'eau existante dans laquelle était installée une turbine verticale, cela à cause de l'entrée d'eau axiale : on n'a pas besoin d'espace pour contourner le distributeur comme dans le cas d'un distributeur radial. Grâce à l'inclinaison, l'aspirateur peut se situer en dehors du bâtiment ancien et éviter ainsi les travaux en sous-œuvre toujours aléatoires. La vanne wagon peut occuper l'emplacement des anciennes vannes manuelles après agrandissement des rainures.

Groupe Kaplan Incliné, chambre d'eau et aspirateur en tôle (Fig. 2)

La disposition et les éléments constitutifs de ce groupe rappellent de très près le précédent. Il a été installé en 1969. Hauteur de chute 10 m, débit 4 m³/s. Son implantation sur une conduite de vidange de barrage et ses faibles dimensions ont conduit à une réalisation en acier soudé.

Figure 2 — Groupe Kaplan incliné, chambre d'eau et aspirateur en tôle.

Une différence encore avec le précédent : vu la hauteur de chute élevée et le débit faible, la génératrice est attaquée directement à 600 t/min.

La vanne de tête est une vanne papillon classique à fermeture par contrepoids.

Le manteau de roue est en fonte avec blindage en acier à 13 % de chrome.

L'asservissement des pales au niveau amont est réalisé ici très simplement en quatre paliers (1/4, 1/2, 3/4, 4/4) correspondants à 4 niveaux séparés d'un centimètre environ. Le plan d'eau important permet ce système sans qu'il s'ensuive des manœuvres fréquentes des pales.

Le palier inférieur est graissé à la graisse par pompe électrique.

Groupe incliné de construction récente, chambre d'eau en béton, aspirateur en béton (Fig. 3)

Le palier de butée séparé n'existe plus. La butée est intégrée au multiplicateur de vitesse, l'accouplement étant alors rigide entre turbine et multiplicateur.

La boîte coulissante de commande des pales est remplacée par un vérin hydraulique tournant porté par l'arbre primaire du multiplicateur à sa partie supérieure.

Figure 3 — Groupe incliné de construction récente, chambre d'eau en béton, aspirateur en béton.

Par un accumulateur hydraulique ou une pompe attelée on peut disposer de pression d'huile en l'absence du réseau général ce qui permet de ramener le groupe au dessous de la vitesse de synchronisme en cas de déclenchement.

Avec une légère surfermeture des pales on peut arrêter le groupe sur anti-dévireur. On ne peut pas en effet trouver de position d'arrêt stable uniquement par la manœuvre des pales si le distributeur est constamment ouvert.

La vanne automatique n'est plus indispensable.

Variante de ce groupe avec démarrage et arrêt par pneumatISATION (Fig. 4)

Lorsqu'on a plusieurs groupes, il devient nécessaire d'empêcher l'eau de passer dans les groupes arrêtés.

On peut bien sûr, automatiser les vannes d'entrée. Mais cela ajoute des contraintes techniques, prend du temps au démarrage, peut entraîner un fonctionnement fréquent des vannes en période de débits intermédiaires, si l'automatisme n'est pas très sophistiqué.

Figure 4 — Variante de ce groupe avec démarrage et arrêt par pneumatisation.

La solution du groupe pneumatisé permet de se passer de vannes automatiques. A condition de caler le seuil d'entrée dans le distributeur à la cote de la crête du barrage il n'y aura pas d'eau perdue. Cela entraîne un coude à l'entrée de l'eau, avant le distributeur et le Génie Civil monte un peu plus haut. Dans les rivières à fortes crues il faut de toute façon caler assez haut le matériel électromécanique sensible à l'eau, si bien que dans ce cas la disposition avec pneumatisation raccourcit un peu l'arbre de la turbine.

La commande des pales n'a plus besoin de fonctionner lors des déclenchements, l'ouverture d'une soupape d'entrée d'air arrêtant très efficacement le groupe et avec un très faible emballement.

Malgré la forme un peu tourmentée de l'écoulement hydraulique, une entrée de ce type, essayée et perfectionnée sur modèle réduit ne conduit pas à sacrifier le rendement. Et le groupe est entièrement visitable en fermant seulement la vanne manuelle amont.

Cette disposition s'adapte particulièrement bien à des usines anciennes où existent des chambres d'eau rectangulaires.

Variante des deux groupes précédents avec aspirateur conique en tôle (Fig. 5)

L'intérêt de cette variante est d'une part de réduire les travaux sous le niveau d'eau aval, d'autre part, et en conséquence de ce premier point de réduire l'incertitude sur le prix global de l'installation. Une pièce chaudronnée peut en effet être chiffrée avec une bonne précision, même rendue et montée et divers fournisseurs peuvent être facilement consultés. De plus le Génie Civil restant est plus simple et mieux à la portée d'une petite entreprise locale ce qui peut en réduire le coût.

Bien entendu, si l'aspirateur en tôle n'avait pas une forme simple et résistant bien au vide par elle-même cet avantage disparaîtrait.

Figure 5 — Variante des deux groupes précédents avec aspirateur conique en tôle.

Groupe Kaplan en S avec arbre horizontal traversant le coude aval (Fig. 6)

Avec ce groupe, nous revenons à l'utilisation de l'acier soudé. Cette disposition est intéressante pour des chutes plus élevées : 5 à 15 m environ.

Figure 6 — Groupe Kaplan en S avec arbre horizontal traversant le coude aval.

Les choix faits dans ce groupe sont en faveur de l'économie de place et de la facilité d'exploitation. D'une part la vanne amont pour mettre le groupe hors pression en un temps très court, d'où une sécurité importante en cas de défaillance de joints, et aussi pour permettre, dans le bas de gamme des chutes, une visite rapide du palier et de la roue. D'autre part, l'arbre traversant le coude et l'aspirateur passant au sous-sol, permettant d'installer dans le "sillage" de la turbine, le multiplicateur de vitesse et la génératrice, facilitant ainsi l'installation de groupe côte à côte. Par contre, la présence de l'arbre dans le coude aval est légèrement défavorable au rendement, cet inconvénient pouvant être réduit par un coude approprié.

Noter que dans ces groupes comme sont tous ceux qui ont un palier immergé, on peut installer des détecteurs d'usure.

Dans le cas d'eau peu chargée, le palier immergé peut être à coussinet plastique lubrifié par l'eau de la chute.

Groupe Kaplan en coude horizontal avec arbre traversant le coude amont (Fig. 7)

Cette variante sacrifie, elle, l'encombrement au profit de l'orthodoxie hydraulique. Elle rend l'aspirateur plus facile à réaliser et réduit le creusage quand la hauteur de chute et la vitesse spécifique de la roue imposent de placer celle-ci au dessous du niveau aval.

Figure 7 — Groupe Kaplan en coude horizontal avec arbre traversant le coude amont.

Groupe Kaplan en S à axe vertical, arbre sortant par le coude amont (Fig. 8)

Un groupe très ramassé est réalisé avec un coude à 90° à ailettes, l'aspirateur servant de support mécanique à la partie inférieure de la turbine. Quand on a

Figure 8 — Groupe Kaplan en S à axe vertical, arbre sortant par le coude amont.

la place nécessaire on préférera un coude classique, si possible inférieur à 90° , suivi d'un convergent.

L'arbre vertical met facilement hors crues le matériel sensible : palier de butée, génératrice. Cela rend possible une conception de groupes sans usine. Avec un portique de démontage et des génératrices étanches à la pluie, plus besoin de toit ni de murs.

La coupure peut s'effectuer par vanne amont ou vanne aval. La vanne aval conserve un écoulement normal dans la machine pendant la coupure. Mais, dans son calcul, il faut tenir compte de l'effet de pompe dû à l'inertie de la turbine et de la génératrice. La vanne amont, elle, permet un accès rapide à l'intérieur de la machine.

Groupe "siphon" ou groupe à double coude (Fig. 9)

Là il s'agit de machines de plus petites puissances.

Le but recherché est de réduire autant que possible le génie civil. L'idéal visé c'est de n'avoir qu'à réaliser un canal fermé par un mur et de supporter la machine par des fers préparés pour être scellés dans les murs du canal et le mur du fond.

Figure 9 — Groupe "siphon" ou groupe à double coude.

Inutile de dire qu'on demande à l'eau beaucoup de bonne volonté, surtout dans la version avec 2 coudes à 90° . Inutile de dire non plus que n'importe quel coude ne convient pas quand la roue est dans la branche amont et qu'il y a deux coudes avant le diffuseur. Et même dans une configuration bien étudiée quant à l'hydraulique le rendement est plus bas que dans un groupe classique, de l'ordre de 2 à 3 points.

Dans la réalisation qui est montrée, le palier inférieur est lubrifié par l'eau turbinée, ce qui est possible si la rivière ne charrie pas trop de sable ou corps abrasifs, comme déjà indiqué. Certains éléments du conduit d'eau : distributeur axial porte palier, coudes et branche horizontale, sont en polyester armé. La transmission par courroie (ici courroie poly V) permet une multiplication de vitesse économique peu bruyante, rapide à dépanner.

Dans le cas de groupe asynchrone, l'arrêt est obtenu par admission d'air et le démarrage par pompe à vide électrique.

Dans le cas de groupes autonomes, le démarrage peut s'effectuer sans énergie électrique, au moyen d'un hydroéjecteur actionné par la chute elle-même. Une régulation simplifiée à $\pm 3\%$ ou $\pm 5\%$ peut être réalisée économiquement par admission d'air, judicieusement répartie derrière la roue. Pour plus de précision on utilisera une régulation par absorption d'énergie.

Groupe Francis à axe horizontal pour réseau autonome en pays lointain (Fig. 10)

Hauteur de chute 60 m, puissance 550 kW.

Ici l'incidence des conditions économiques est moins nette. Ce groupe est à peu près classique. Néanmoins la difficulté d'obtenir un Génie Civil de qualité dans un pays lointain sans y importer de la main d'œuvre coûteuse, le prix élevé des travaux de montage par les spécialistes du constructeur, conduisent à prévoir une installation compacte et dont la plupart des éléments sont positionnés en usines sur un châssis usiné. Dans l'exemple choisi, l'arbre traverse le coude de sortie d'eau et ce coude supporte le palier de butée. La butée, à rotule sur rouleaux est placée en bout d'arbre et peut se démonter rapidement. La dalle d'appui du châssis est simple et le remontage se fait très rationnellement.

Figure 10 — Groupe Francis à axe horizontal pour réseau autonome en pays lointain.

Groupe Pelton à axe horizontal pour réseau autonome (Fig. 11)

Hauteur de chute 100 m, puissance 100 kW.

Dans cet exemple, la recherche du moindre coût a porté sur les dispositifs de régulation de vitesse et d'adaptation au débit disponible.

Figure 11 — Groupe Pelton à axe horizontal pour réseau autonome.

Le régulateur hydraulique est très simplifié puisqu'il n'est pas isochrone mais fonctionne avec un statisme permanent de l'ordre de 6 %. De plus il n'agit que sur le déflecteur, l'injecteur étant ouvert en fonction du débit disponible par un petit motoréducteur télécommandé depuis l'amont.

L'énergie de régulation est fournie par une pompe entraînée en bout d'arbre turbine par courroies trapézoïdales et le démarrage s'effectue en tournant le volant d'inertie à la main après avoir mis la commande du régulateur sur la position manuelle. Cette commande revient automatiquement à sa position de marche normale dès que le régulateur agit pour accélérer le groupe. Un contrepoids assure la fermeture en cas de défaillance hydraulique et un levier manuel permet d'agir directement sur le tiroir de distribution d'huile en cas de nécessité.