

L'expérience d'EDF dans le fonctionnement des stations de transfert d'énergie par pompage (S.T.E.P.)

Maurice Cassaz

EDF - Service de la Production Hydraulique

Il y a plus de cinquante ans, après avoir réalisé l'aménagement de Kembs, l'Energie Electrique du Rhin, pour augmenter la souplesse de cet ensemble au fil de l'eau, construisit l'usine du lac Noir utilisant l'énergie d'heures creuses de Kembs pour pomper les eaux du Lac Noir dans le Lac Blanc à l'aide de groupes ternaires comportant sur le même arbre, pompe, turbine, et alternateur-moteur. On disposait ainsi d'une puissance supplémentaire qu'on pouvait injecter sur le réseau à volonté.

C'est la même idée qui, avec le développement des centrales nucléaires, difficiles à moduler et longues à démarrer, a conduit au développement des stations de transfert d'énergie par pompage (S.T.E.P.).

Initialement conçues uniquement pour effectuer du transfert heure-creuse/heure-pleine, ces installations ont évolué vers un concept hebdomadaire puis saisonnier et dans la réalité elles sont souvent utilisées, compte tenu des capacités dynamiques de l'hydraulique, en secours du réseau et pour pallier les défaillances des grosses unités nucléaires.

Ces installations utilisent soit des sites naturels, soit des bassins collinaires entièrement artificiels. Leur développement a été rendu possible surtout par l'avènement et le développement des groupes mixtes pompe-turbine car l'utilisation de groupes ternaires de grande puissance était très pénalisante, tant du point de vue coût de la mécanique que du génie civil. A l'exception des groupes bulbes de La Rance, des groupes isogyres, et naturellement des groupes ternaires, tous les groupes pompe-turbines sont dits « réversibles » car les sens de rotation en turbine et en pompe sont inversés.

1. Les groupes de La Rance

Pour améliorer la rentabilité de l'aménagement de La Rance, en optimisant les cycles vidange/remplissage, on fait fonctionner les groupes bulbes en pompe. Ce résultat est obtenu grâce à un profil étudié des pales et à quelques

modifications technologiques (course des pales, entrefer des moteurs...). Un groupe bulbe fonctionnant en pompe se comporte comme une pompe-hélice. Le sens de rotation en pompe ou en turbine reste le même. Il ne s'agit pas à proprement parler d'une S.T.E.P., car le pompage n'est utilisé que pour une optimisation.

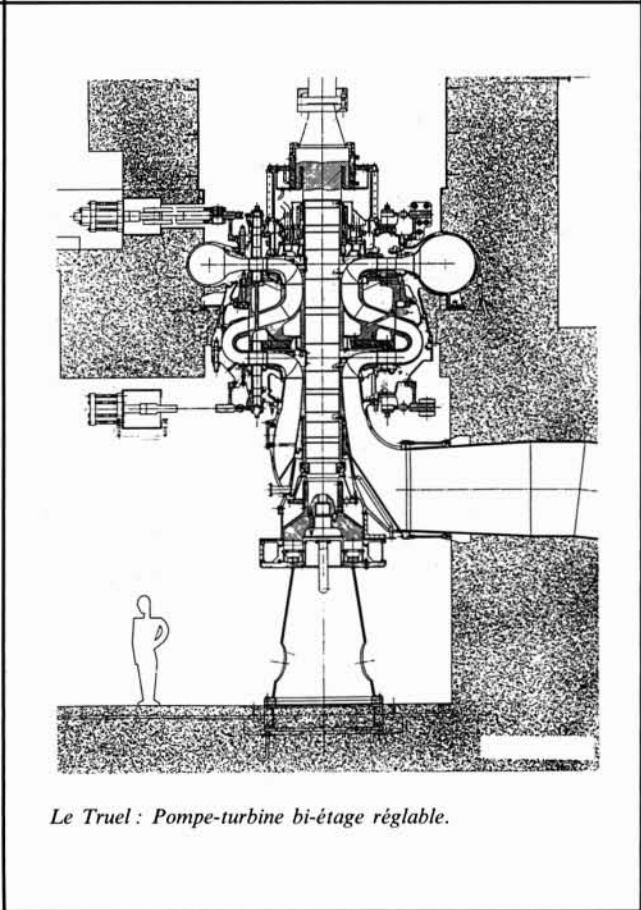
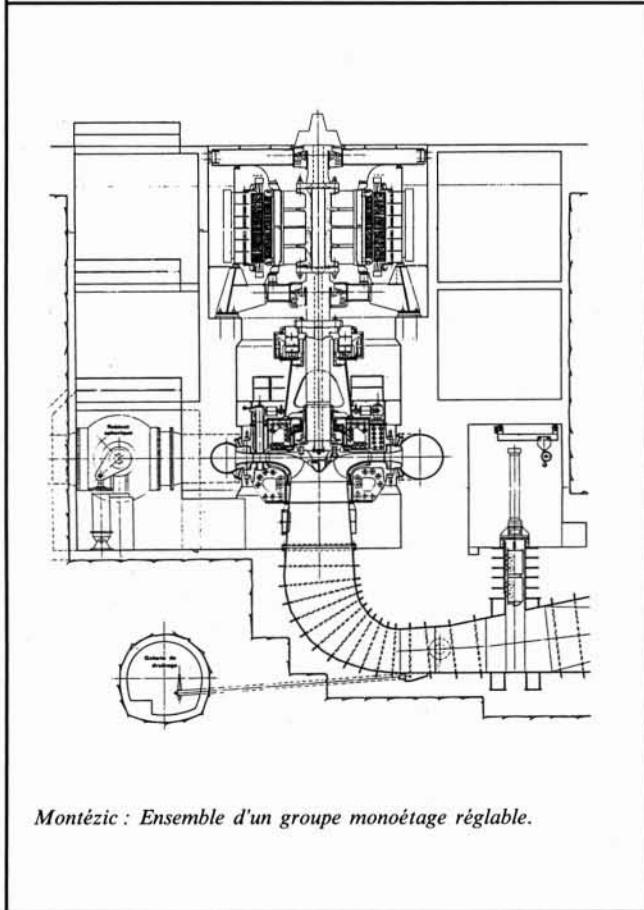
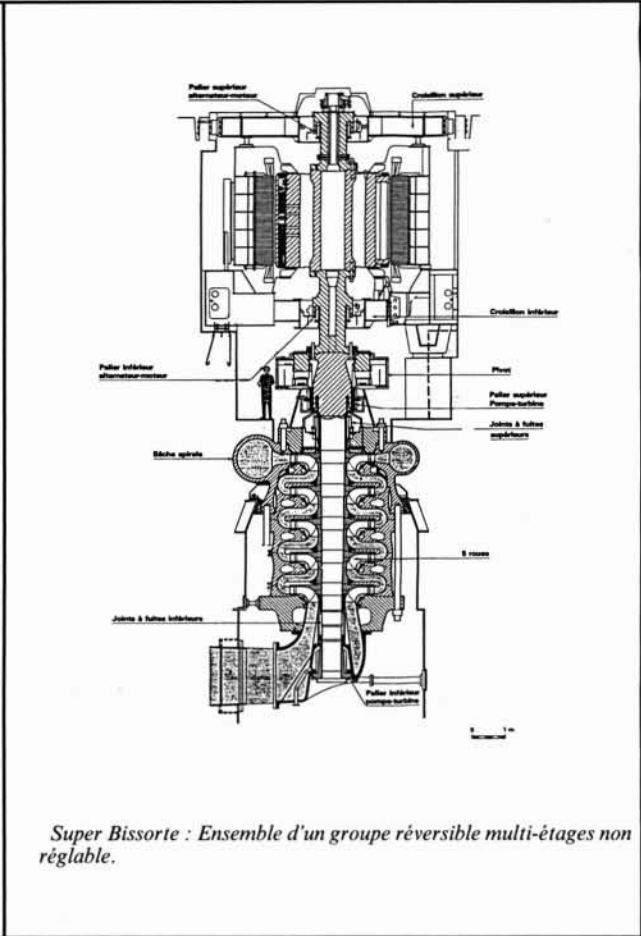
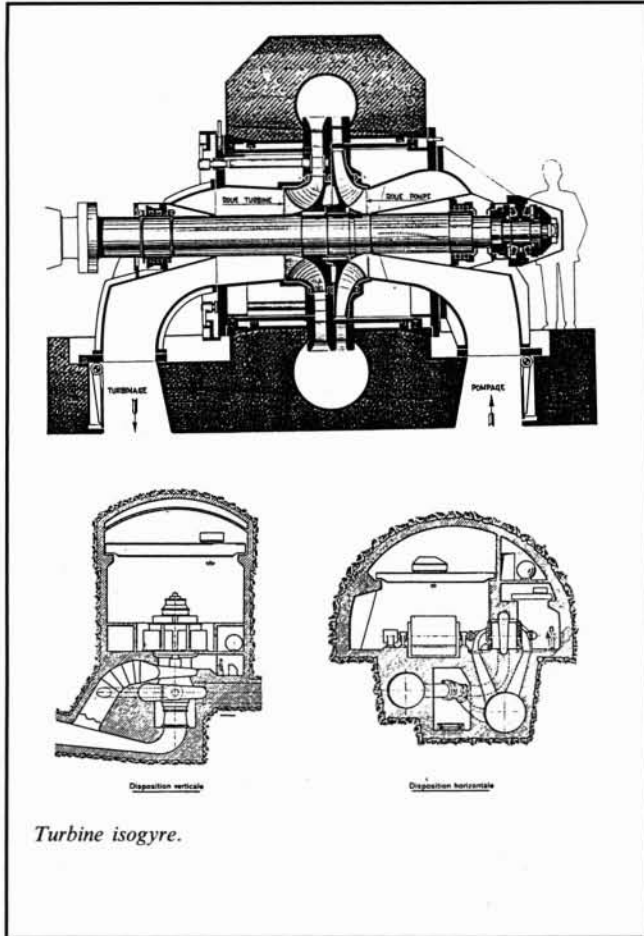
2. Les pompes-turbines isogyres

Le constructeur suisse Charmilles avait eu l'idée d'une machine pompe-turbine à un seul sens de rotation. Il s'agissait en fait de deux machines différentes dans la même bache grâce à des vannes fourreau isolant, tantôt une roue, tantôt l'autre.

Ce type de machine, un peu complexe au point de vue mécanique, a en revanche l'avantage d'un très bon rendement aussi bien en pompe qu'en turbine, grâce au choix de roues optimales dans les deux cas. A notre connaissance, il n'y a pas eu de réalisation de puissance supérieure à 50 MW et il n'y en a pas eu en France.

3. Les pompes-turbines mono-étage réglables

L'architecture de ces machines est très semblable à celle d'une turbine Francis, mais la roue est une roue de pompe. La machine comporte un distributeur qui est utilisé en turbine et au démarrage en pompe. En turbine, le vannage permet de régler la charge dans des conditions très satisfaisantes entre 40 et 100 %. La marche en pompe ne se fait qu'à une seule ouverture prédéterminée pour chaque hauteur de refoulement. Les constructeurs pensent actuellement que ce type de machine pourrait, au prix d'un choix judicieux de la vitesse spécifique, être utilisé jusque vers 800 mètres. Neyrpic a fait l'étude de faisabilité d'une machine de 300 MW pour 750 mètres tournant à 600 tr/min.



Par suite de vibrations importantes dont elles sont le siège dans la marche en pompe, ces machines ne comportent pas pour le moment d'articulations autolubrifiantes, car les matériaux disponibles actuellement encaissent mal les vibrations. Les directrices, bielles, vannage sont équipées d'un graissage centralisé. Pour les tourillons de directrices il faut alors utiliser côté plaque d'usure un joint à lèvres qui sous l'action de la pression de graisse fonctionne en clapet, pour éviter la montée en pression du tourillon et l'absence de graissage qui en résulterait.

Une autre particularité du vannage de ces machines est que l'on a rencontré sur les « débuts de série », pourrait-on dire, des dispositions particulières destinées à maintenir les directrices plus vigoureusement qu'un cercle de vannage, pour éviter qu'une directrice libérée vienne en contact avec la roue. Tel est le cas à Vouglans où il y a un vérin torique à section carrée par directrice et à Revin un vérin à palette par directrice, la synchronisation des directrices se faisant dans le premier cas par des bielles, dans le deuxième cas par un cercle de vannage classique.

La disposition vérin individuel a également été retenue à Ste-Croix. Par la suite, les constructeurs ont modifié les directrices pour qu'elles ne puissent plus venir en contact avec la roue, ce qui a permis de supprimer le vérin individuel et de revenir à un cercle de vannage normal beaucoup plus économique.

Dans cette technologie de groupes mono-étages réglables les réalisations actuelles en France sont :

	N. Gpe	Puissance		Chute		Débit		Mode de Démontage
		P.	T.	P.	T.	P.	T.	
REVIN	4	175 184	198 164	243 222	246,5 219	64 74	102 89	Par dessous
VOUGLANS	1	52,6 62,3	62 34,3	99,33 80,40	100,2 73,2	48 68,6	69 54,9	Par dessus à travers l'alternateur
Ste CROIX	1	46,2 48,80	58,66 39,31	78,78 63,88	76,87 60,50	54,2 70,6	87,60 75,10	Intermédiaire
CHEYLAS	2	229,3 236,7	252 214	267,55 247,80	256,2 232,8	79,5 89	114 107,4	Intermédiaire
MONTEZIC	4		230 193,30	426,50 388	419,10 378,90	42,80 51,90		Par dessous

NB : Les 4 groupes de GUANGZHOU (CHINE POPULAIRE) auront une puissance unitaire en turbine de 306 MW entre 500,61 et 522,85 m de chute et un débit en pompe de 55 à 58 m³/sec sous 542,8 à 523,11 m absorbant alors une puissance de 310 MW.

Suivant la technique EDF, ces groupes se démontrent en général « par dessous ». Sur ceux dont le démontage se fait à l'étage intermédiaire ou à travers l'alternateur, la machine hydraulique est prise presque entièrement dans le béton et il semble en résulter un assez net amortissement des vibrations (Cas du Cheylas).

En revanche, les temps de démontage et remontage sont nettement plus importants. A Revin, il faut 230 hommes/jour pour remplacer une roue, 90 sans les vérins rotatifs, alors qu'au Cheylas il n'en faut pas moins de 1 000 !

C'est sans doute en ces termes que doit se poser le choix entre les deux solutions. La figure représente un groupe de Montezic à démontage par dessous et ses vannes amont et aval.

4. Les pompes - turbines multi-étages non réglables

Au-delà de 800 mètres et dans l'état de la technique des années 1980, on a été conduit en France comme à l'Etranger à réaliser un certain nombre d'installations équipées de groupes multi-étages non réglables. La technologie de ces machines est très comparable, à une autre échelle, à celle des pompes multi-cellulaires.

Les réalisations varient suivant les constructeurs et les sites. Certaines machines sont prises complètement dans un béton de deuxième phase, d'autres ont leurs divers étages assemblés par des tirants. Enfin, la fixation des roues sur l'arbre et des canaux de retour dans le corps font appel à des procédés divers parfois pas très mécaniques. La simplification apportée par la suppression du distributeur est largement compensée du simple point de vue technologique par les difficultés de montage et de contrôle de cet empilage aveugle. Par ailleurs, ces machines qui ne comportent aucun réglage doivent être utilisées en tout ou rien et perdent ainsi une partie de la souplesse des machines hydrauliques. Nous verrons qu'elles ne peuvent pas non plus fonctionner en compensateur synchrone.

Les installations EDF faisant appel à ce type de machine sont :

	N. Gpe	Const.	N t/mi	N étag.	Hn turbines	PMW turbine	Hr pompe	Q pompe
LA COCHE	4	2	NEYRPI VEVEY	600	5	870-930 863-930	79,5 79	890-944 883-944
GRAND'MAISON	8		NEYRPI	600	4	774-950	109-152	827-972
SUPER BISSORTE	4		NEYRPI	600	5	1072-1194	130-156	1120-1217

Des réalisations similaires existent à l'Etranger (Italie, Espagne).

Le rôle d'organe de réglage pour la mise en service est dans ces installations confié à la vanne de pied. Il en résulte des sollicitations particulières pour cet organe. Nous y reviendrons par la suite.

Dans certains aménagements on a dû adjoindre aux groupes multi-étages des groupes avec turbines Pelton dont le rôle est à la fois de participer au démarrage et de donner à la centrale une certaine capacité de réglage.

La figure donne la vue d'un groupe de Super Bissorte.

5. Les pompes-turbines bi-étages réglables

Les inconvénients des groupes multi-étages non réglables ont conduit EDF à confier à Neyrpic l'étude d'un prototype industriel installé au Truel. Il s'agit d'un groupe bi-étage ayant les caractéristiques suivantes :

- vitesse de rotation 750 tr/min ;
- débit pompé 6,9 m³/sec sous 435 mètres ;
- puissance en turbine 37,75 MW sous 438,5 mètres.

Les deux distributeurs sont synchronisés à l'aide d'un dispositif électrique.

Le groupe a subi des essais très poussés permettant d'explorer complètement les possibilités de cette technique ; depuis il est en exploitation normale et donne entière satisfaction. Les résultats des essais montrent que la conception est viable et permettrait dans l'état actuel de la technique d'envisager de telles machines jusque vers des chutes de 1 400 mètres, voire 1 500 mètres. Toutefois à partir de 1 300 mètres on bute pour le moment sur la faisabilité de l'alternateur-moteur qui n'est pas réalisable même avec une réfrigération à eau. (Ce raisonnement s'appuie sur les caractéristiques de débit données par la roue la plus petite industriellement réalisable = ces caractéristiques conduisent à une machine électrique de 195 MW - 900 tr/min non réalisable actuellement).

Quoiqu'il en soit et même si la limite de 1 300 mètres ne devait pas s'élever, on dispose là d'une technologie fiable pouvant prendre le relais des mono-étages au-dessus de 750/800 mètres et jusqu'à 1 300 mètres.

6. Les alternateurs-moteurs

Ils ne sont pas différents de manière sensible des alternateurs hydrauliques classiques. En effet, la nécessité de pouvoir fonctionner en moteur synchrone impose peu de contraintes particulières. Ce qui est surtout dimensionnant lorsqu'on pratique ainsi c'est le démarrage asynchrone. Dans ce cas un surdimensionnement de l'ordre de 20 % du circuit magnétique par rapport à l'alternateur correspondant est courant. Le rotor doit alors être muni d'une cage complète. Les températures engendrées par les courants qui apparaissent dans les barres du fait du glissement, au moment du démarrage asynchrone sont très élevées, les contraintes aux liaisons également alors que les caractéristiques mécaniques des matériaux sont très affectées par les températures atteintes. Des dispositions particulières doivent également être prises pour le calage du bobinage stator et des développantes.

Dans le démarrage dos à dos des groupes multi-étages un surdimensionnement électromagnétique peut être nécessaire par rapport à la machine normale correspondante. Cependant la simple considération de la relative quiétude à laquelle on est parvenu là où le démarrage se fait par un lanceur, en dos à dos, ou par convertisseur statique, devrait convaincre du bien fondé de ces choix.

Encore faut-il que les constructeurs ne perdent pas de vue les règles régissant la construction des grandes machines synchrones, fussent-elles uniquement génératrices.

7. Le démarrage en pompe des groupes réversibles

7.1. Groupes mono-étages réglables

Pour diminuer le couple résistant la machine peut être dénoyée, comme on dénoie une Francis en marche

synchrone. Ainsi la puissance nécessaire pour amener la machine à sa vitesse n'est plus environ que de 10 % de la puissance nominale.

Le démarrage s'effectue soit par une machine auxiliaire, soit par l'alternateur-moteur.

Démarrage par machine auxiliaire : La machine auxiliaire, calée sur le même arbre est dimensionnée pour la puissance de démarrage et pour un fonctionnement de courte durée. Ce pourrait être une turbine ou plus souvent un moteur électrique à 2 pôles de moins que l'alternateur (moteur Poney = cas de Revin). La machine est lancée jusqu'à la vitesse de synchronisme avant d'être couplée au réseau en moteur, le réglage final du synchronisme avant couplage se faisant en réglant la « ponction d'anneau d'eau »⁽¹⁾. La durée du démarrage par moteur Poney est à Revin de l'ordre de 16 minutes.

Démarrage électrique : Pendant plusieurs années on s'est ingénié, acharné pourrait-on dire, à démarrer les pompes directement à partir du réseau en asynchrone, avec ou sans interpositions de self. Sur le G4 de Revin un dispositif de refroidissement fort astucieux du rotor, dénommé rotor-piscine, permettait d'effectuer un démarrage en pompe en 1 minute sans dénoyer la roue. Au Cheylas avec introduction d'une self au moment du démarrage on obtenait un temps de lancement de 4 min 20. On souhaitait alors que le temps de démarrage en pompe soit très court, du même ordre de grandeur qu'un démarrage, et prise de charge en turbine.

Mais ceci imposait de lourdes contraintes au matériel électrique, transformateur et alternateur-moteur et fut la cause d'incidents graves et d'indisponibilités importantes. On est maintenant devenu plus raisonnable, car on a constaté qu'en réalité le réseau s'accommode fort bien de temps de démarrage en pompe un peu plus longs, disons de l'ordre de 6 à 7 minutes.

Mais anecdotiquement, on peut retenir que le seul groupe mono-étage réglable à démarrage direct qui après bien des déboires parvint à être opérationnel est le G4 à « rotor piscine » de Revin. Son abandon fut motivé par d'autres raisons techniques, en particulier la crainte que l'on avait à l'époque sur la tenue de son transformateur.

Finalement, la bonne solution est venue des convertisseurs statiques de fréquence qui permettent un démarrage à fréquence variable sans contrainte anormale sur le matériel (Montézic-Cheylas après modification). Le temps de démarrage avec CSF est au Cheylas de 7 minutes.

Un autre mode de démarrage à fréquence variable est le démarrage dit « dos à dos » où l'on démarre une pompe en la couplant depuis l'arrêt avec une autre machine démarrante en générateur. Mais ce type de démarrage n'est pas toujours réalisable. Il exige en outre une machine supplémentaire pour lancer la dernière pompe. Ce mode de démarrage existe à Vouglans et Ste-Croix.

⁽¹⁾ « L'anneau d'eau » est le volume d'eau qui tourne entre la roue et le fond supérieur et qui provoque un certain freinage de la roue.

7.2. Groupes multi-étages non réglables

Pour ce type de pompe turbine le dénoyage n'est pas réalisable de manière simple et le lancement doit vaincre le couple de barbotage, si bien qu'au synchronisme la puissance absorbée est de 65 à 70 % de la puissance nominale. Ceci explique aussi pourquoi ces machines ne peuvent fonctionner en compensateur synchrone.

Pour ce qui est du démarrage en pompe, on a utilisé des procédés déjà employés pour les groupes mono-étages réglables.

— Démarrage direct en asynchrone à La Coche où les alternateurs-moteurs comportent des cages d'amortisseur spéciales. Temps de démarrage en pompe 1 min 30 à 1 min 40.

— Démarrage en dos à dos de deux groupes réversibles entre eux à Super Bissorte ou d'un réversible et d'une Pelton à Grand'Maison.

Cette solution semble être la meilleure et la plus sûre pour ce type de machine avec toutefois un bémol dans le cas du lancement dos à dos de deux réversibles non réglables, car la mise en vitesse et la synchronisation du groupe lancé se font avec le sphérique du groupe lanceur qui est alors très sollicité. Le temps de démarrage en pompe est de 3 min 30 à 4 min suivant le lanceur. Il est du même ordre à Grand'Maison et à Entracques en Italie.

Il est juste de souligner également le bon comportement des alternateurs-moteurs de La Coche. Sans doute est-on là à la limite raisonnable du démarrage direct en asynchrone.

7.3. Groupes bi-étages réglables

Possédant un distributeur, ces groupes peuvent être dénoyés, la puissance de lancement en pompe n'excède plus alors 10 à 15 % de la puissance nominale. On est ainsi ramené au cas des mono-étages et l'on reste dans le domaine du dos à dos ou du C.S.F.

8. Démarrage en turbine des groupes réversibles multi-étages

Les groupes mono et bi-étage réglables ne posent aucun problème particulier de démarrage en turbine grâce à leur distributeur. Seuls les groupes multi-étages non réglables posent problèmes. Il faut démarrer la machine, l'amener au synchronisme et la coupler avec la seule aide d'une vanne, robinet sphérique en l'occurrence.

A La Coche on a résolu le problème par une course importante de l'anneau mobile d'étanchéité, qui produit un jet annulaire suffisant pour lancer et coupler la machine.

A Grand'Maison et Super Bissorte la course de l'anneau est plus réduite et ne permet pas d'amener le groupe jusqu'au synchronisme. Ce dernier réglage se fait par rotation de l'obturateur.

Les temps de démarrage en turbine sont du même ordre que ceux d'une Francis pour les groupes à distributeur. Ils sont de l'ordre de 3 min à 3 min 30 pour les multi-étages, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que les temps de démarrage en pompe.

9. Les vannes des STEP

9.1. Vannes de pied

Les vannes de pied sont dans tous les cas des robinets sphériques. Pour les groupes mono-étages réglables, il n'y a pas de gros problèmes car c'est une utilisation presque classique de ce matériel.

Par contre, les multi-étages occasionnent des contraintes particulières bien plus sévères. Les recommandations qu'on peut formuler sont pour ces vannes les suivantes :

— donner la préférence aux anneaux d'étanchéité du type différentiel aussi bien à l'amont (étanchéité de garde) qu'à l'aval (étanchéité de service). Pour éviter l'entartrage de la chambre de l'anneau amont, il est recommandé d'effectuer des manœuvres assez fréquentes ;

— réaliser des anneaux d'étanchéité en métal inox massif et non en acier ordinaire avec un simple rechargement sur les portées. Une bonne pratique veut que l'anneau fixe soit en austénitique (20.10 au 20.10.3) et l'anneau mobile en martensitique Z20 C13 ou Z05 CN17.4 dur (90/100 hbar) ;

— la pièce support de l'anneau mobile qui doit présenter une bonne surface de frottement pour l'anneau et son joint devra être réalisée avec soin si c'est un revêtement (métallisation) qui constitue la surface de frottement. Il faut absolument éviter que cette pièce qui est en forme de cornière ait une aile en inox l'autre en acier ordinaire car on aurait dans ce cas un couple de corrosion. Elle sera donc soit en acier ordinaire revêtu, soit de préférence en inox massif. Naturellement l'anneau d'étanchéité amont de la vanne doit comporter un verrouillage mécanique pour les consignations ;

— les canalisations de by pass qu'il ne faut pas à la légère supprimer pour reporter leur rôle sur l'étanchéité seront largement dimensionnées au point de vue mécanique, solidement fixées et leurs soudures subiront un contrôle à 100 %. Un robinet de garde amont de sécurité et de consignation sera flasqué directement sur le bossage de la conduite. Cette vanne devra être capable de couper le débit « gueule bée » de la canalisation de by pass. Elle comportera une commande oléodynamique avec un accumulateur permettant d'assurer cette fermeture automatique en cas d'inondation usine ;

— la vanne de by pass automatique pourra être flasquée sur le bossage aval.

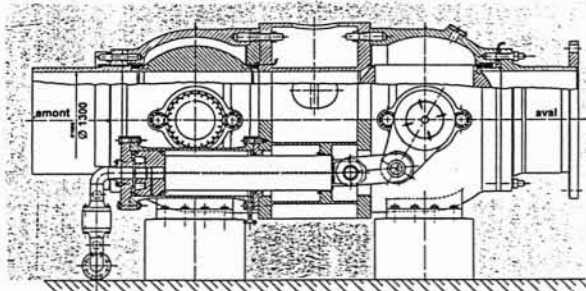
En cas d'alimentation des vérins par des flexibles ceux-ci devront comporter chacun un clapet anti-chute qui coupe le débit en cas de rupture du flexible. Les flexibles devront

être remplacés à titre préventif en principe tous les 2 ans. La préférence est à donner à une alimentation par joint tournant ou par tuyau rigide avec vérin fixe et bielle.

La détection de position de l'anneau mobile est recommandée dans tous les cas. Il existe des dispositifs à détecteur de proximité évitant d'avoir à sortir mécaniquement la position de l'anneau.

On notera également qu'il est impératif que les douilles en bronze des tourillons comportent une collerette de bonnes dimensions qui permettent leur arrêt en rotation.

Les vannes des groupes multi-étages non réglables sont d'une conception particulière car elles doivent permettre le démarrage en pompe et en turbine. Par sécurité elles sont doublées. A Grand'Maison et Super Bissorte, il s'agit de vannes doubles comportant un obturateur de service et un obturateur de sécurité. La réalisation ci-dessous est celle de Vevey à Grand'Maison. La réalisation Neyrpic à Bissorte où la pression est plus élevée est un peu différente, le corps double étant monobloc.



Coupe longitudinale des vannes sphériques avec leur tuyau de raccordement.

Pour la partie étanchéité-obturateur les conceptions sont également différentes, le démarrage du groupe en turbine étant réalisé de la même manière : lancement en marche à vide par le recul du joint d'étanchéité, réglage de la vitesse par rotation de l'obturateur. Il y a dans les deux cas dans cette phase de démarrage des cavitations intenses lors du recul de l'étanchéité et du début de rotation de l'obturateur.

Vevey a réalisé une sphère parfaite, polie, dans laquelle l'anneau fixe est encastré et fixé par des vis. Neyrpic utilise son obturateur habituel très nervuré et l'étanchéité est fixée par des vis de dimension importante à tête six pans creux.

Dans mes deux cas la cavitation et les vibrations sont intenses et ont tendance à desserrer les vis de l'anneau. A Grand'Maison on n'a pu maîtriser les desserrages qu'au prix d'une soudure presque totale de l'anneau fixe sur l'obturateur ; l'obturateur lui-même a dû être rechargé de manière importante pour éliminer les cavitations. A Super Bissorte le desserrage a été maîtrisé plus facilement.

Il est certain que dans un cas comme dans l'autre l'entretien des robinets sphériques est lourd, bien plus que sur des machines classiques.

A La Coche ou les sphériques sont plus classiques comme forme (deux sphériques en série) mais ou l'on va jusqu'au couplage avec l'anneau d'étanchéité, on a dû modifier les anneaux mobiles qui sont maintenant actionnés par pression d'huile grâce à un accumulateur à piston eau-huile.

On constate que, vaille que vaille, on est arrivé à faire faire au robinet sphérique un travail de réglage pour lequel il est sans doute le plus mauvais outil possible. Etait-ce une gageure ? Une vanne coaxiale, un peu plus longue, il est vrai, eût sans doute réglé élégamment le problème à la plus grande satisfaction des exploitants.

9.2. Vannes aval

La vanne aval a pour but d'isoler le groupe côté aval compte tenu de l'enfoncement. Elle n'a pas de rôle dans le fonctionnement mais constitue un point névralgique. Pour éviter que cette vanne ne descende intempestivement en cas de rupture de son attelage, le tablier est muni de crochets qui sont engagés en permanence quand la vanne est ouverte. En cas de début de fermeture intempestive, une protection « vanne en dérouté » attaque l'arrêt du groupe. Si malgré tout la fermeture a lieu et que la dite protection ne fonctionne pas, des panneaux fusibles ou des clapets sont ménagés dans le tablier de la vanne pour parer à toute éventualité. L'attelage de ces vannes et la fixation du vérin sont à surveiller avec vigilance à cause des phénomènes de fatigue dus au battement possible de la vanne.

9.3. Vannes de tête de conduite

Il faut également éviter que la vanne de tête ne puisse se fermer intempestivement dans le fonctionnement en pompe car elle se trouverait alors soumise à la pression de la pompe à débit nul, double environ de la chute normale au pied de la conduite.

Là aussi on met en place des crochets pour éviter les conséquences d'une rupture d'attelage. Une solution pour éviter que ces crochets ne perturbent le fonctionnement dans la marche en turbine est de leur donner une tendance à s'ouvrir par un ressort par exemple et de les actionner de manière à ce qu'ils s'ouvrent à manque de tension.

Si malgré tout la vanne commence à descendre, la forme de la bêche est telle que cette descente est contrariée et en outre on bloque la tendance à fermer due à l'action du poids du tablier en faisant en sorte que la poussée sur la vanne crée un frottement grâce à une crémaillère ou à une garniture rugueuse appropriée.

Il existe également une disposition simple selon laquelle en cas de fermeture intempestive, la vanne est court-circuitée par un orifice de section suffisante placé au-dessus du masque (cas d'une retenue de faible profondeur : Cheylas).

Il semble indispensable d'essayer en réel cette impossibilité de la vanne à fermer sur un débit inverse car certains dispositifs ne donnent pas satisfaction ce qui crée un danger potentiel important.

Enfin en dernier recours on peut également faire appel à des panneaux fusibles ou à des clapets dans le tablier.

10. Résultats actuels d'exploitation

On sait que dans ce genre d'installations ou à chaque étape le matériel est à la limite de ce que l'on sait faire à l'époque de la conception, l'exploitation n'est pas sans aléas, tout au moins dans les premières années. Le parc EDF des S.T.E.P. n'a pas échappé à ces aléas, mais on peut dire sans excès de narcissisme, si on ne lui attribue pas quelques incidents actuels qui affectent des matériels conventionnels (rotors, transformateurs), qu'il remplit parfaitement son rôle et qu'il est très fortement sollicité dans les périodes tendues.

Presque partout, après quelques maladies de jeunesse et mises au point spécifiques à chaque technique leur entretien semble avoir trouvé la « vitesse de croisière ».

10.1. Les mono-étages réglables

A Revin, qui est la première vraie S.T.E.P. les interventions ont été nombreuses sur les groupes :

- modification des étanchéités des directrices ;
- remplacement des pièces placées sous la roue ;
- articulations du vannage ;
- nombreuses interventions sur les alternateurs-moteurs et sur les matériels périphériques ;
- composants d'automates ;
- vannes auxiliaires diverses.

Les choses ont pris maintenant un tour normal et en principe les installations suivantes ont bénéficié du « retour d'expérience ».

Les temps et les périodicités d'intervention sont comparables à ceux qu'on aurait sur une Francis de même taille.

10.2. Les multi-étages

La Coche qui est la plus ancienne des multi-étages est maintenant parvenue, après les mises au point des premiè-

res années, à un rythme qui peut être considéré comme très satisfaisant pour ce type de machine : chaque groupe est révisé complètement tous les huit ans ce qui implique une révision tous les deux ans, pompe-turbine et sphérique de service.

La durée d'indisponibilité pour révision est par contre assez pénalisante. Elle est de 350 ou 725 h.j suivant le type de groupe.

Liée à la technologie de ce type de groupe, elle est proportionnellement plus réduite compte tenu de la taille des groupes à Grand'Maison et à Super-Bissorte où les espaces sont moins exigus et où des efforts ont été fait au niveau des dispositifs de démontage. Mais les temps d'immobilisations pour révision restent important : 520 h.j à Grand'Maison et 450 à Super-Bissorte soit 4 à 5 mois d'immobilisation.

Par contre, on devrait pouvoir obtenir dans ces deux usines des périodicités entre révision du même ordre de grandeur qu'à La Coche.

10.3. Récapitulation

Le tableau ci-dessous récapitule les durées d'indisponibilités nécessaires suivant les divers types de groupes réversibles :

Type de machines	Installation	W MW	Temps nécessaires en H-J (Journée 10 h - Equipe 4 à 6 agents)		Démontage
			Remplacement de roue(s)	Révision complète roue + distributeur	
Mono-étages réglables	LE CHEYLAS	250	1 000	1 080	Intermédiaire
	REVIN avec vérins indiv. sans vérins indiv.	200 200	230 90	310 170	Par dessous
Multi-étages non réglables	LA COCHE 12	80	350	350	1 étage par dessous 4 étage par dessus
	LA COCHE 34	80	725	275	
	GRAND'MAISON	150	520	520	Par dessous
	SUPER BISSORTE	150	450	450	Par dessous

Conclusion

Les S.T.E.P. constituent un outil maintenant arrivé à maturité.

Si l'on se réfère à la manière dont il les exploite, on peut penser qu'elles sont très appréciées du Mouvement d'Énergie, au point parfois de sembler lui être devenues indispensables.

L'époque où les responsables de la tenue du réseau disaient de Revin qui, rappelons-le, fut le prototype des S.T.E.P. en France — « Faites tous les essais que vous

voulez, on n'aura pas besoin de vous avant longtemps » —, affirmation d'ailleurs contredite dès la mise en service du premier groupe, est maintenant semble-t-il révolue.

A cette époque, il y avait dans les S.T.E.P. et leurs matériels un certain nombre de paris. EDF, entreprise dynamique, a su avec l'adhésion et le savoir-faire des constructeurs les tenir et les gagner. Les solutions sont prêtes pour les S.T.E.P. de l'an 2000. Mais restera-t-il des constructeurs ?