Les contraintes de réalisation des pompes utilisées dans les centrales thermiques et nucléaires d'Electricité de France

Jean Ladreyt

Ingénieur au Service Etudes et Projets Thermiques et Nucléaires
d'Electricité de France

Introduction

Les circuits d'eau des usines de production d'énergie électrique comprennent de nombreuses pompes caractérisées par une très grande diversité : taille, conception, mode d'utilisation, nature de l'eau transportée (température, propreté, corrosion...), nature des matériaux constitutifs...

Ces machines, même les plus robustes, sont fréquemment l'objet d'incidents, car elles associent dans des conditions de fonctionnement complexes des parties mobiles et des parties fixes (paliers, butées, étanchéités d'arbre, étanchéités statiques, dispositifs d'équilibrage hydrauliques...) dont la bonne tenue peut être altérée par des facteurs difficiles à maîtriser (vibrations, corrosion, érosion, cavitation...).

Des contraintes de construction, spécifiques de la réalisation des centrales nucléaires, s'ajoutent à celles résultant de la recherche d'une meilleure disponibilité.

Tous ces éléments modifient le rapport qualité-coût habituellement en usage sur le marché des pompes et justifient l'établissement par l'utilisateur de spécifications techniques tendant à optimiser le service rendu en fonction des critères de sûreté, de fiabilité, de coût d'investissement et d'entretien. Ces spécifications constituent une partie des engagements réciproques de l'utilisateur et du constructeur.

En conséquence, dans le domaine des pompes des centrales thermiques et nucléaires, l'action d'EDF a principalement porté sur les points suivants :

- sélection des constructeurs,
- recherche de l'effet de série,
- définition des conditions d'utilisation et du service à rendre,
- spécification d'études et de construction,
- choix des matériaux et leur contrôle,
- vérifications et essais.

Critères techniques de sélection des constructeurs

Pour assumer ses responsabilités, l'utilisateur de matériels doit être convaincu que les constructeurs consultés sauront résoudre tous ces problèmes, dans le délai imparti, et que le service rendu correspondra bien à celui attendu. Pour acquiescer cette conviction, l'utilisateur se base sur l'expérience et le savoir faire des constructeurs ; il apprécie leur aptitude à réaliser de bons matériels, leur capacité d'études, de fabrication, de service après vente et leur volonté de maintenir leur compétence à un niveau suffisant.

Les contraintes qui en résultent pour les constructeurs se situent dans la nécessité d'acquiescer un niveau de compétence toujours plus élevé, notamment dans les domaines des études de conception, de la fabrication et du service après vente.

Le haut niveau de qualité des matériels et des prestations associées (par exemple : études de fonctionnement, de fiabilité des composants, de résistance des matériaux, de la tenue aux séismes...) résultant des conditions de sûreté nucléaire, implique pour les constructeurs et leurs sous-traitants une stricte organisation de la qualité à tous les stades d'activité.

Ces contraintes incitent les constructeurs à s'organiser pour fournir un service toujours en amélioration, et EDF entretient alors avec eux des relations techniques étroites faisant l'objet d'échanges d'informations, d'études approfondies et d'essais de développement.

Effet de série

Les constructeurs de pompes ont accumulé depuis le début du siècle une solide expérience et s'efforcent, dans un environnement de concurrence sévère, de normaliser leurs productions en recherchant le minimum de coût compatible avec le service envisagé.

La diversité et l'évolution continue des pompes des centrales thermiques et nucléaires ne permettent d'envisager une normalisation qu'à travers un effet de série, pour chaque type de pompe, au niveau d'un palier technique.

Pour les centrales nucléaires à eau légère d'EDF, la politique des paliers techniques est appliquée avec une vigueur nouvelle ; en effet, une première série de 18 tranches PWR 900 MW est actuellement en cours de réalisation et chaque type de pompe a été attribué à un seul constructeur. Ceci pose quelquefois des problèmes d'infrastructure aux constructeurs qui ont à réaliser ces programmes, mais en pose aussi à ceux qui n'obtiennent pas de commande.

Les matériels succédant aux têtes de série bénéficient de leurs mises au point. Les aléas de fabrication et de délais sont réduits par l'utilisation de pièces identiques rapidement disponibles.

Par ailleurs, les paliers techniques permettent d'approfondir les études de chaque type de pompe et d'engager éventuellement des actions de recherche et de développement.

Définition des conditions d'utilisation et du service à rendre

Pour permettre aux constructeurs de réaliser des pompes dont le service rendu soit satisfaisant, l'utilisateur se doit, tout d'abord, de définir rigoureusement les conditions d'utilisation et les services qu'il en attend. Ainsi EDF précise :

a) les conditions d'environnement : ambiances, caractéristiques du fluide, des alimentations en énergie électrique et en fluides auxiliaires (air comprimé, eau de réfrigération...);

b) la définition des régimes de fonctionnement normaux, exceptionnels et même de certains régimes accidentels et les caractéristiques de fonctionnement correspondantes.

Toutes ces valeurs sont déduites pour une part des études de fonctionnement, d'installation et de sûreté du palier technique considéré et pour une autre part des résultats obtenus en exploitation ou essais de matériels analogues.

Spécifications d'études et de construction

Les spécifications techniques sont établies en liaison étroite avec les constructeurs. Quelques exemples sont donnés ci-après :

a) Interchangeabilité

En plus de l'interchangeabilité obtenue par l'effet de série, EDF définit les caractéristiques aux limites de certains matériels de façon à rendre éventuellement interchangeables des pompes fournies par des constructeurs différents. Ceci a été réalisé pour les pompes alimentaires des centrales thermiques de 700 MW : le niveau de l'axe,

l'accouplement, les fluides auxiliaires (pression, débit), les dimensions et direction des tuyauteries d'aspiration et de refoulement ont été normalisés au cours des études effectuées avec deux constructeurs.

b) Démontage, remontage, entretien

Pour les pompes qui nécessitent des interventions relativement fréquentes, il y a lieu d'examiner attentivement leurs conditions d'installation et les solutions constructives qui permettent une remise en service dans des délais les plus brefs ; exemples :

- compte tenu du coût d'investissement des groupes turbopompes alimentaires il n'est pas prévu d'en installer un en secours. Par contre, un effort est fait au niveau de la conception pour que l'échange d'un bloc interne puisse être réalisé en moins de 10 heures. Ceci influe sur la conception de la pompe mais aussi sur l'outillage de manutention utilisé ;
- les études des pompes d'injection de sécurité moyenne pression des tranches PWR 1 300 MW ont conduit à limiter les interventions sur place aux étanchéités d'arbre. Pour d'autres incidents il est prévu de procéder au remplacement pur et simple d'une pompe en concevant à cet effet les raccordements des diverses tuyauteries de liaison. Cet échange doit avoir lieu en moins de 20 heures.

c) Disponibilité

Les spécifications d'EDF en vue d'améliorer la disponibilité des pompes résultent des analyses d'incidents sur des matériels analogues en service et portent notamment sur :

- la suppression des disques et plateaux d'équilibrage et l'utilisation d'une butée mécanique largement dimensionnée dans les pompes alimentaires des centrales thermiques ;
- la recherche d'un rendement raisonnable au lieu d'un rendement dangereusement élevé, obtenu notamment par la réduction exagérée des jeux entre parties fixes et mobiles ;
- la limitation de la vitesse de rotation à une valeur compatible avec la rapidité d'érosion des matériaux. Actuellement on estime que le produit $\rho \times Q \times n^2$ (où ρ est la masse volumique du fluide en kg/m³, Q le débit en m³/s et n la vitesse de rotation en tr/mn) doit être maintenu inférieur à $1,1 \times 10^{10}$;
- la conception et le calcul des corps de pompes à haute pression pour que les déformations et les contraintes soient limitées à des valeurs telles que le démarrage ou l'arrêt d'une pompe puisse s'effectuer quel que soit l'état de température du fluide à pomper (corps des pompes alimentaires) ;
- la limitation du niveau vibratoire en régimes normaux et exceptionnels, notamment par l'utilisation d'arbre dont la première vitesse critique est supérieure à la vitesse maximale de fonctionnement. Ceci influe sur la conception des paliers, le nombre de roues etc. ;
- la possibilité de fonctionner pendant un temps limité en mélange d'eau et de vapeur. Ceci modifie les jeux et les dispositifs d'équilibrage de la poussée axiale.

Choix des matériaux et leur contrôle

L'analyse des incidents d'exploitation montre qu'il convient d'être particulièrement vigilant en ce qui concerne le choix et la qualité des matériaux utilisés. Les caractéristiques mécaniques, les modes d'élaboration, les normes ou spécifications à retenir pour chaque composant principal sont précisés en accord avec les constructeurs.

Vérifications et essais

a) Matériel de série

EDF demande aux constructeurs d'effectuer systématiquement sur boucle d'essai en usine, un essai de fonctionnement, éventuellement à caractéristiques réduites, de chaque pompe réalisée. Cet essai permet de vérifier l'identité au matériel tête de série et la bonne réalisation de chaque pompe. L'essai dure une cinquantaine d'heures. On peut citer par exemple les installations d'essais suivantes :

- les boucles d'essai de Jeumont-Schneider où les groupes motopompes primaires sont essayés à la vitesse nominale en température et pression mais à débit réduit par utilisation d'une fausse roue ;
- la boucle d'essai de la société Rateau qui permet de vérifier le NPSH requis des pompes d'extraction par mise sous vide de l'aspiration ;
- la boucle d'essai en eau des pompes des circuits primaires et secondaires des réacteurs à neutrons rapides. Cette boucle est construite par EDF dans la centrale de Gennevilliers.

b) Essais sur les matériels de première réalisation

Ces essais sont destinés à contrôler que les objectifs relatifs aux caractéristiques de fonctionnement ou d'exploitation sont bien atteints. En plus des essais d'endurance de 300 heures environ des pompes de première réalisation sur les boucles d'essai des constructeurs, on peut notamment citer les installations d'essais suivantes :

- La boucle d'essai d'endurance, plein débit, des pompes primaires installée dans la centrale de Gennevilliers. Cette boucle est décrite dans la communication de MM. Polin P. et Bonnafoux R. d'Electricité de France au Symposium 1974 de l'AIHR.

En 1974, un groupe motopompe de la filière PWR 900 MW construit par Jeumont-Schneider pour la centrale de Tihange, sans pièce d'espacement d'arbre entre pompe et moteur, a été essayé pendant environ 2000 heures. En 1975 un groupe motopompe prototype de recirculation d'eau primaire d'un réacteur BWR 1 000 MW, construit par Rateau-Bergeron, a été essayé juste avant l'abandon, par la France, de cette filière. En 1977 l'essai porte sur un autre groupe motopompe Jeumont-Schneider de la série de 18 tranches PWR 900 MW équipé d'une pièce d'espacement d'arbre. L'essai d'une des premières pompes primaires du palier PWR 1 300 est programmé pour 1981.

- Les bancs d'essais en endurance des dispositifs d'étanchéité d'arbre installés au laboratoire de Chatou. Ils comprennent :

- un banc pour les garnitures mécaniques de pompes alimentaires où sont simulés la pression, la température, les vibrations, les déplacements axiaux du rotor ;
- un banc pour contrôler le fonctionnement de l'ensemble d'étanchéité d'arbre des pompes d'injection de sécurité des réacteurs PWR, avec simulation des différentes conditions de fonctionnement en pression et température et de la qualité du fluide (acide borique, particules en suspension, sable. . .) ;
- un banc pour les ensembles d'étanchéité d'arbre des pompes primaires destiné à vérifier leur tenue dans les conditions exceptionnelles de fonctionnement et à déterminer la périodicité optimale de remplacement des pièces d'usure.

- Le banc d'essai des pompes d'aspersion et d'injection de sécurité basse pression des centrales PWR. L'essai consiste à reproduire les chocs thermiques et la qualité du fluide (sable, débris de calorifuge. . .) ainsi qu'une série de démarrages-arrêts afin de prouver la robustesse du matériel dans des conditions très particulières de fonctionnement.

- Le banc d'essai des pompes d'injection de sécurité moyenne pression des réacteurs PWR 1 300 MW qui est en cours de définition. Il est destiné à vérifier que l'usure des pièces mobiles et fixes du fait de la qualité particulière de l'eau, reste acceptable compte tenu de la durée d'utilisation maximale envisagée en cas d'accident.

Notons également les essais particuliers suivants :

- L'essai de démontage-remontage d'un bloc interne d'une pompe alimentaire d'une centrale thermique de 700 MW.
- L'essai de vérification de la tenue en cavitation, à la centrale thermique de Cordemais, d'une pompe alimentaire de 700 MW. Les résultats de cet essai justifient les spécifications retenues en vue d'assurer une bonne disponibilité aux pompes alimentaires des centrales à neutrons rapides, qui sont d'une conception similaire.

c) Recherche et développement

Pour certains composants de conception nouvelle et de réalisation délicate, la certitude d'une disponibilité ou d'une sûreté satisfaisante passe par des études nouvelles ou des tests sévères tendant à justifier que les caractéristiques des composants sont réellement obtenues.

Ces essais, justificatifs des solutions proposées, sont effectués en général par les constructeurs lors de leurs études de développement. Dans certains cas particuliers, EDF participe au développement, en réalisant lui-même certains bancs d'essais ou en entreprenant des études complémentaires. En matière de pompe on peut citer :

- L'établissement d'un code de calcul en liaison avec le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) et les constructeurs, destiné à prévoir les déformations des volutes des pompes primaires, en fonction de ses chargements successifs, prenant en compte les états élasto-

- plastiques de la matière. Des vérifications sont effectuées sur la volute des pompes PWR 900 MW essayées à Gennevilliers.
- Les études et essais en liaison avec les constructeurs et le CEA destinés à améliorer les connaissances sur le comportement des pompes primaires en survitesse avec un fluide composé d'un mélange d'eau et de vapeur.
 - Les chantiers écoles des pompes primaires pour lesquels EDF et le constructeur ont effectué des études et des essais en vue de réduire au maximum le temps d'intervention lors de la visite des étanchéités d'arbre : un outillage adapté a été conçu et mis au point par essai sur des plateformes installées dans les centrales de Fessenheim et de Tricastin qui reconstituent autour d'un rotor de rechange tout l'environnement du matériel. Ces plateformes sont, de plus, utilisées à entraîner le personnel aux opérations d'entretien. Cette action permet de procéder dès à présent à un remplacement des joints d'étanchéité d'arbre en moins de 20 heures. Elle aura des développements sur le contrôle de l'usure des joints en fonctionnement de la tranche et sur la périodicité des interventions.
 - Les essais et mesures sur les régimes transitoires de pression et température dans les postes d'eau afin de préciser les spécifications de fonctionnement correspondantes : dépressurisation des bâches dégazantes, fluctuations de pression dans les postes d'eau...

Axes de recherches et d'action

Les actions de recherches et de développement à entreprendre se situent dans les domaines suivants :

a) *Amélioration des conditions d'exploitation et d'entretien* notamment pour les pompes relevant de la sûreté nucléaire. Dans cet esprit une recherche permanente doit être poursuivie en vue d'améliorer l'interchangeabilité du matériel et de minimiser le temps d'intervention du personnel d'entretien.

b) *Accroissement de la disponibilité et de la sûreté*

Ces actions portent sur l'amélioration de nombreux composants relativement fragiles et par conséquent source d'indisponibilité.

Nous citerons notamment :

- Continuation des recherches pour concevoir des pompes susceptibles de fonctionner sans dommage en cavitation.
- Développement de dispositifs simples et robustes d'étanchéité d'arbre.
- Etudes des effets (vibrations, bruit, stabilité de fonctionnement...) des perturbations hydrauliques pour des débits inférieurs ou supérieurs à celui correspondant au rendement maximum.
- Continuation des études et essais en vue d'améliorer la connaissance des conditions réelles d'exploitation (définition des régimes transitoires exceptionnels ou accidentels, pulsation de pression, variations de température...).
- Mise au point de méthode de calcul, éventuellement d'essais, permettant de vérifier la bonne tenue des pompes en cas de séismes.

c) *Etudes fondamentales*

La recherche du coût minimum pour des pompes à caractéristiques toujours plus poussées nécessite d'approfondir les connaissances dans les domaines de l'hydrodynamique, la métallurgie, la mécanique de la rupture, l'érosion, la corrosion, la connaissance de fluide particulier, tel que le sodium...

Conclusion

La qualité du service rendu par les pompes dans les unités de production d'énergie électrique ne peut être obtenue sans efforts importants, des constructeurs et de l'utilisateur.

Les constructeurs sont conscients de ce problème et ont le souci constant de la qualité de leur matériel. Ils savent que les contraintes imposées par un utilisateur, tel qu'EDF, résultent de l'expérience et qu'elles aident à placer leurs matériels en tête du niveau de qualité internationale.

La coopération étroite entre constructeurs et EDF pour la réalisation de pompes fiables et sûres, concourt à réaliser des matériels répondant au mieux à l'intérêt général.

Discussion

Président : M. M. BANAL

Merci, M. LADREYT, dit M. le Président. Vous nous avez fait profiter de votre expérience acquise au cours d'une carrière déjà longue, en dressant pour nous un large inventaire des problèmes qui se posent à un "Maître d'œuvre exploitant" et de la politique d'Electricité de France en ce domaine.

Je pense que cet exposé va susciter beaucoup de questions et de commentaires et j'ouvre, sans plus tarder, la discussion.

Après s'être félicité de la politique suivie en la matière par Electricité de France, M. CANAVELIS présente les deux réflexions suivantes :

1 - A propos, dit-il, de ce que M. LADREYT appelle : "les essais représentant des conditions accidentelles de fonctionnement", je prendrais comme exemple les pompes alimentaires et la marche de celles-ci "en vaporisation". M. LADREYT dit : "ce genre de fonctionnement ne se produira pas souvent, mais on le prend en compte dans les hypothèses de départ et les spécifications pour augmenter la fiabilité générale de la machine ; cela a conduit, précise-t-il, à modifier les jeux et les dispositifs d'équilibrage". Je voudrais ajouter que ce petit détail est à l'origine de toute l'architecture de la pompe, et non pas seulement des jeux des dispositifs d'équilibrage ; il a déterminé le nombre d'étages, la rigidité du rotor, etc. Demander que la pompe tourne une minute dans la vapeur n'est donc pas une exigence sans conséquences.

2 - Pour deviner la philosophie d'E.D.F. en ce qui concerne les essais à effectuer, in situ, pour vérifier le comportement des machines dans le cas d'accidents très hypothétiques, je risquerai une comparaison avec l'aviation ; le pilote d'essai sait que son avion peut exploser ; il a un siège éjectable mais je doute qu'au cours des essais, il lui soit demandé de s'éjecter et de laisser l'avion s'écraser au sol. Au contraire, à propos de nos fournitures pour E.D.F., on nous dit : tel accident arrivera peut-être un jour, on va essayer pour voir ce qui se passerait alors. Il peut y avoir, surtout dans le domaine nucléaire, des accidents encore plus importants et dangereux et nous sommes amenés à nous demander jusqu'où va aller l'Electricité de France pour vérifier la tenue du matériel dans le cas d'hypothétiques accidents ?

M. LADREYT répond :

Notre philosophie repose sur la nécessité de disposer d'un matériel fiable. Aussi, dès le départ, au niveau des choix, nous évitons les solutions dangereuses et nous sommes attentifs au choix des constructeurs afin d'être sûr de ce qu'ils sont capables de faire avec nous. Ensuite, nous faisons des essais, mais en se limitant à des situations disons probables ; nous ne recherchons pas des cas absolument exceptionnels.

En ce qui concerne le fonctionnement en cavitation des pompes alimentaires, je crois qu'il s'agit d'une question de principe. Lorsqu'on ne fait jamais les essais démontrant que les hypothèses et les choix retenus sont bons, d'une part on peut se tromper et d'autre part, on risque de voir s'altérer la confiance réciproque entre maître d'œuvre et constructeur. Il faut éviter que, pour aboutir à un prix plus bas, tel constructeur puisse fournir une machine ne répondant que partiellement aux spécifications demandées.

Il est donc utile de réaliser - de temps en temps et non pas systématiquement - certains essais pour vérifier que les choix sont bons et pour conforter la confiance réciproque entre les parties en présence. De tels essais effectués sur le plan national constituent, d'ailleurs, pour les Constructeurs, une excellente référence vis-à-vis de leur clientèle étrangère. J'ajouterais que la préparation de tels essais est étudiée de façon à ne pas mettre en danger le matériel de la centrale dans laquelle ils sont exécutés et ne sont réalisés que lorsqu'on est sûr de dominer raisonnablement le problème.

M. GUITON estime qu'à l'étranger - en Angleterre notam-

ment - la nécessité de procéder à des essais en cavitation sur les pompes alimentaires s'est imposée avec plus d'acuité qu'en France, du fait que les phénomènes appelés "transitoires de Gage"* entraînant une dépressurisation momentanée à l'entrée des pompes y ont été beaucoup moins bien maîtrisés qu'à l'Electricité de France où ils deviennent fort rares.

M. GILMER intervient, ensuite, en ces termes :

Je m'associe à tout ce qu'ont dit M. LADREYT, M. GUITON et M. CANAVELIS, mais je crois que l'idée de ce dernier était qu'il est toujours dangereux de faire des essais sur des machines d'une puissance de 15 000 kilowatts en raison de l'importance des énergies en jeu. Quand on fait un essai, il y a toujours un risque ; mais je reconnais que dans le cas de l'E.D.F., toutes les précautions ont été prises pour ne pas avoir de problèmes. D'ailleurs, il faut bien dire que des cavitations, il s'en est produites dans les Centrales, et toutes les pompes ne se sont pas volatilisées pour autant. Tout ce qui a été fait sur ces machines durant ces dernières années concourt à les rendre beaucoup plus robustes et, de ce fait, on ne risque pas de passer par une vitesse critique au moment où il y aura vaporisation. Or, il est vraisemblable que les dégâts autrefois constatés sur certaines pompes alimentaires résultaient de la conjugaison de plusieurs circonstances défavorables ; la vaporisation s'est produite au moment où l'on passait en pleine vitesse critique des mobiles flexibles de cette époque ; ces mobiles étaient beaucoup moins résistants que ceux d'aujourd'hui, aussi bien en flexion qu'en torsion car leurs diamètres étaient nettement plus petits. En outre, le système d'équilibre était très sensible aux phénomènes de vaporisation, et en général, les gros accidents de pompes alimentaires se sont produits sur les pistons d'équilibrage automatique (dans l'interface).

J'aurais aimé entendre aussi des opinions moins favorables à l'exposé de M. LADREYT. . . observe M. le Président.

Répondant à cette invitation, M. CHEVALIER se fait l'avocat du diable en posant les questions ci-après :

La politique de concertation avec les Constructeurs qu'Electricité de France a menée pour les pompes et que M. LADREYT a exposée conduit à des exigences, à des développements, à des essais. . . , somme toute à un renchérissement probable des matériels.

Ce n'est certes pas la politique en usage à l'étranger, aux U.S.A. en particulier, et pourtant semble-t-il, les Constructeurs et les Clients américains installent des matériels qui fonctionnent à la satisfaction générale.

Que faut-il en penser ? N'est-on pas conduit ainsi - en France - à renchérir les matériels, ce qui contribue au renchérissement du prix du Kw nucléaire ? N'aboutit-on pas, de ce fait, à la définition de la "pompe E.D.F." parfaitement invendable à l'étranger ?

J'aimerais, à ce sujet, entendre l'avis des représentants des Constructeurs étrangers qui sont dans cette salle.

M. le Président BERGERON exprime ainsi son opinion sur les points évoqués par M. CHEVALIER :

La collaboration entre Electricité de France et les Constructeurs a été particulièrement efficace ; en adoptant nos matériels à ses exigences, nous avons fait de grands progrès. Il faut évidemment fixer des limites judicieuses à ces exigences et je saisis cette occasion pour rendre hommage à la clairvoyance de M. LADREYT qui a accepté - par exemple - de limiter pour des

* Du nom de celui qui a commencé à les étudier à E.D.F. il y a près de trente ans.

raisons de fiabilité à 700 ou 800 m la "hauteur engendrée par roue" alors que des tentatives ont été faites à l'étranger avec des roues engendrant une hauteur de 1 100 mètres.

Des échanges salutaires entre Electricité de France et les Constructeurs ont beaucoup influé sur les possibilités de ces derniers, notamment dans les conditions difficiles de service des pompes à sodium de Phenix et de Super-Phenix. Dans de tels cas, des exigences excessives risquent d'être catastrophiques et il convient de laisser une certaine latitude au Constructeur dans le choix de certaines options.

Quels sont les premiers résultats des expériences effectuées à Fessenheim pour augmenter la radioprotection du personnel pendant les opérations d'entretien des joints de pompes primaires ? demande M. MARTINEAU (Serete).

M. LADREY et M. PETIGNY répondent en résumant les résultats des essais effectués, à ce sujet. Il en ressort que la conception des pompes et les outillages mis en œuvre ont permis de réduire sensiblement le temps d'intervention du personnel de maintenance. En temps normal, les doses reçues par ce personnel sont petites par rapport aux doses admissibles. Seules les interventions à la suite d'un accident pourraient soulever des problèmes et exiger une protection spéciale.

A la suite d'une remarque de M. BRAZZINI (E.D.F.) sur les

statistiques de disponibilité concernant les centrales américaines, M. LADREY déclare :

J'ai beaucoup discuté sur ce sujet avec les ingénieurs américains. Ils aimeraient bien utiliser des méthodes analogues à celles en vigueur à E.D.F. Mais leur processus de passation des marchés conduit quasi-automatiquement à acheter le matériel le moins cher proposé ; ce qui est pour le moins une option discutable...

De ce fait, si les constructeurs américains veulent vendre des pompes, ils sont conduits, dans la situation actuelle, à proposer des matériels ayant une moins bonne disponibilité que les nôtres et cela parce que leurs clients n'ont guère le souci d'essayer de prendre en compte les problèmes de disponibilité qui impliquent, pourtant, la mise en jeu de sommes importantes.

A l'Electricité de France, nous essayons d'optimiser l'ensemble du matériel, ce qui ne conduit pas forcément à des pompes plus chères. Je pense que les machines établies suivant nos méthodes doivent être compétitives sur le marché international, non seulement au point de vue de la technique (de ceci, je suis convaincu), mais également au point de vue des prix, compte tenu de la conception générale de l'installation. Je connais des pompes, conçues d'après nos critères, qui ont été vendues à l'étranger sur des marchés difficiles.

Abstract

Governing factors for the design and manufacture of pumps for Electricité de France thermal and nuclear power plant

Power station water circuits include a large number of pumps which vary considerably as regards size, design, use, water properties (temperature, purity, corrosion, etc.) and the material of which they are made.

Even pumps designed for heaviest-duty operation often give trouble, owing to the complex operation of their fixed and moving components (guide and thrust bearings, shaft seals, static seals, hydraulic balancing components, etc.), satisfactory behaviour of which may be impaired by vibration, corrosion, erosion, cavitation and other factors difficult to keep under control.

Pump manufacturers have accumulated a wealth of experience since the turn of the century and, in the face of severe competition, are endeavouring to standardise their products with a view to ensuring satisfactory service at minimum cost. Standardisation so far has been confined to widely-used small pumps and specific components, i.e. guide and thrust bearings and shaft seals.

On the other hand, technical development has resulted in increasingly higher equipment performance and design sophistication, as in the case of power station pumps for example, the outputs of which have risen sharply during the last thirty years or so. Here, standardisation possibilities for specific pump types are limited to individual technical stages, with the result that increasingly complex, diversified design studies are required for such purposes as definition of operating conditions, solution of metallurgy problems, determination of maintenance requirements, etc.

In addition to availability, the effect of conditions applicable to construction of nuclear power plant in France has been

requiring increasingly closer attention during the past few years. These conditions are as follows :

- a) Wider standardisation possibilities associated with the scope of French power plant construction policy.
- b) Operating security specifications, for which highly reliable equipment designs are essential.
- c) Specifications for the protection of power plant service personnel against radiation, which imply minimal maintenance requirements and dismantling and assembly times.

These factors all affect the hitherto conventional quality/cost ratio for pumps and justify the issuing by users of such equipment of technical specifications aiming at optimal service from equipment meeting various security, reliability, investment cost and maintenance requirements. Such specifications are included among the mutual commitments of users and manufacturers to one another.

To meet these various requirements, Electricité de France has concentrated action on the following points in relation to pumps for nuclear power plant :

- a) Choice of manufacturers according to their design and production facilities.
- b) Closer attention to detail in design studies by use of series effect.
- c) Definition of conditions under which equipment is to operate and relating to the service to be provided.
- d) Drawing-up of special design and manufacturing specifications.
- e) Choice and inspection of materials.
- f) Systematic checking and testing of prototype and industrial equipment.