

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 102 (1976)
Heft: 11

Artikel: Revalorisation de l'énergie par accumulation hydraulique
Autor: Graeser, Jean-Émile
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72933>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Pas de place pour l'indifférence !

La presse l'a annoncé : la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes soutient la loi fédérale sur l'aménagement du territoire. Nous avons la faiblesse de penser qu'une telle prise de position, émanant de milieux en majorité concernés directement par le projet, n'aura pas passé entièrement inaperçue dans le flot des communiqués de ce genre. C'est pourquoi il nous semble utile de considérer cette décision de plus près.

A l'issue d'une présentation et d'un débat devant un public de 300 personnes environ, le 30 avril dernier, la SIA avait convoqué ses membres à une assemblée générale extraordinaire en réservant la possibilité de voter une résolution en faveur ou contre le projet de loi soumis à votation le mois prochain. Rappelons les chiffres : par 30 voix, contre 9 opposants et avec 10 abstentions, l'assemblée s'est prononcée pour le projet. A cette date, la SVIA comptait 928 membres ; une majorité de 21 voix (2,3 % de l'ensemble des membres) sur 49 présents (5,3 % de l'effectif total) a suffi pour que les partisans de la loi puissent comptabiliser l'appui d'une société de plus.

Le moment n'est pas de se demander si l'exigence d'un quorum serait raisonnable pour une prise de position qui engage la société, mais de s'interroger sur la possibilité de trouver des objets de discussions aptes à regrouper au moins une part importante des membres habitant la région lausannoise. En effet, la loi sur l'aménagement du territoire est sans conteste la question la plus importante sur laquelle l'électorat ait à se prononcer pendant longtemps, car du résultat de la votation dépendront quantité de facteurs capitaux aussi bien pour notre vie privée que professionnelle. Or, il faut bien le reconnaître, le projet soumis au vote est loin de faire l'unanimité et requiert de chacun d'entre nous qu'il réponde à nombre de questions. Si elle est adoptée, la loi sur l'aménagement du territoire introduira une ère nouvelle dans le domaine de la propriété privée et de la liberté individuelle ; le conseiller fédéral Furgler n'en fait pas mystère, lorsqu'il décrit l'objectif de la loi : « Autant de liberté que possible, autant d'ordre que nécessaire. » Le sacrifice d'une part de liberté à la nécessité de l'ordre est un acte de la plus haute importance dans un Etat fondé pour préserver la liberté et où l'on s'est toujours attaché à obtenir l'ordre par le consensus des autonomies régionales et locales.

Le rapprochement de ce projet de loi, restreignant considérablement le cadre où s'exerce aujourd'hui la propriété foncière, et des efforts en vue de faciliter l'accession à la propriété privée incite également à la réflexion sur les formes dans lesquelles subsistera demain la propriété foncière dans notre pays.

Sur le plan économique, l'adoption de la loi aurait également des conséquences qu'il s'agit de connaître pour se former une

opinion sur l'ensemble du projet. Dans le cas où la taxation des plus-values entraînée par les mesures d'aménagement ne suffirait pas à financer la péréquation en faveur des régions et des propriétaires dont les terrains sont freinés dans leur mise en valeur par les dispositions de la loi, la caisse fédérale devrait être mise à contribution. On le voit, dans la conjoncture actuelle où coïncident un fort ralentissement de l'activité de la construction et une détérioration des finances fédérales, il faut se demander comment les buts fixés pourraient être atteints, si les moyens financiers font défaut.

En ce qui concerne plus particulièrement la Suisse romande, il est indispensable d'examiner dans quelle mesure la loi proposée permet à nos régions de conserver le plein contrôle de leur développement, aussi bien en ce qui concerne l'essor économique que la préservation de l'environnement, sous peine de voir le centre de gravité de l'activité économique se déplacer encore plus vers le nord du pays, avec toutes les conséquences que cette évolution pourrait avoir pour les finances de nos cantons. Cela pose la question de savoir comment pourraient être aplanies les divergences entre plan directeur fédéral et intentions des cantons, par exemple.

On voit qu'il ne suffit pas d'être acquis à l'idée de dispositions légales régissant l'aménagement harmonieux de notre territoire (ou plutôt de ce qui est encore susceptible d'un développement harmonieux) ; l'exemple de ce qui s'est fait jusqu'à présent est suffisant pour que personne ne puisse nier la nécessité impérieuse d'une législation en la matière. En revanche, cette urgence ne justifie en aucun cas que l'on néglige la façon d'arriver au but. Notre formation, la profession que nous exerçons et les responsabilités que nous assumons nous permettent particulièrement bien d'apprécier les objectifs et les conséquences du projet soumis à l'électorat et nous en fait le devoir d'un examen approfondi aussi bien que d'une prise de position engageant plus de 5 % d'entre nous.

En évoquant ci-dessus les problèmes que pose le projet de loi plutôt que les buts poursuivis, nous avons supposé à bon droit que ces derniers sont connus de nos lecteurs et désiré souligner à quel point l'importance des questions soulevées exclut toute indifférence. Il serait navrant que nos professions, dont il n'est pas besoin de rappeler le rôle dans le développement du pays, ne sachent pas secouer leur inertie et prendre leurs responsabilités lors d'un scrutin déterminant pour la société et le visage du pays que nous léguons aux générations suivantes.

JEAN-PIERRE WEIBEL.

Revalorisation de l'énergie par accumulation hydraulique (suite et fin) ¹

par JEAN-EMILE GRAESER, Lausanne

2. Les pompes-turbines réversibles et leurs problèmes

Partant du fait qu'une pompe centrifuge est susceptible de travailler en turbine de façon acceptable par inversion du sens de rotation, il était tentant de chercher à en améliorer le comportement en turbine sans préjudice du fonctionnement en pompe déterminant pour le tracé de l'au-bage.

La machine réalisant le compromis hydraulique recherché comprend une roue de pompe caractérisée par un diamètre extérieur plus grand que celui d'une roue de turbine de même chiffre de rotation (fig. 8). L'apport de la turbine Francis dans la machine réversible est constitué par la couronne d'aubes orientables entourant la roue.

¹ Voir *Bulletin technique de la Suisse romande* n° 6 du 18 mars 1976.

Elles jouent le double rôle de distributeur en turbine et de diffuseur en pompe. Bâche spirale et coude d'aspiration se retrouvent comme dans les autres machines à réaction.

Sur le plan de l'écoulement, on constate que la pompe-turbine présente les mêmes caractéristiques qu'une pompe. La présence d'un aubage mobile n'autorise en effet aucun réglage du débit, la fonction de diffuseur remplie par cet aubage directeur ne l'étant que pour une position donnée.

En turbine, en revanche, la présence des aubes orientables permet un réglage du débit, donc de la puissance, tout comme sur la Francis. L'écoulement est cependant caractérisé par un triangle de vitesses bien différent de celui d'une turbine à réaction conventionnelle (fig. 9). Un angle d'incidence défavorable existe à l'entrée de l'aubage et la vitesse restante est affectée d'une composante périphérique non négligeable.

Il en résulte un rendement moins élevé de la pompe-turbine.

Le fait que le rendement d'une pompe-turbine présente son maximum en turbine pour une chute supérieure à celle sous laquelle le fonctionnement en pompe est optimum tient aux lois physiques qui régissent les écoulements et les transformations d'énergie. La pompe-turbine dans sa forme actuelle ne constituera donc toujours qu'un compromis, mais sur le plan du rendement, il est incontestable que de gros progrès ont été faits et que de nouvelles améliorations seront atteintes à des degrés divers par les constructeurs [4].

Cette hypothèque qui pèse sur la pompe-turbine pourrait être levée si l'on disposait de moteurs-générateurs dont la vitesse variable pourrait être adaptée aux deux types de service. Un écart de vitesse de l'ordre de quelque 20 %,

au profit du service pompe, plus rapide, permettrait à la pompe-turbine de donner son optimum sur le plan énergétique. L'emploi de machines synchrones à deux vitesses qui devrait s'imposer ne s'est pas généralisé, en raison du coût élevé et de la complexité actuels de telles machines. Dans un cas dont l'étude nous a été soumise, la plus-value sur la machine électrique à nombre variable de pôles atteint déjà 30 %, sans compter les dépenses supplémentaires nécessitées par un appareillage plus important. Actuellement, seules de fortes variations de chute justifient l'adoption de cette solution déjà réalisée pour quelques cas particuliers.

Nous persistons à croire, malgré les améliorations apportées aux caractéristiques des pompes-turbines, que le fonctionnement à vitesse variable des groupes réversibles constituerait un élément de progrès important dans la conception des aménagements de pompage-turbinage. Il convient de vouer une attention particulière à toute tentative effectuée dans ce sens. Les convertisseurs statiques apporteront peut-être la solution économique désirée. Des essais ont été entrepris au Japon dans ce sens.

L'examen de la caractéristique de fonctionnement de la pompe-turbine met en évidence un autre progrès accompli dans la réalisation de ces machines.

Les premières pompes-turbines mises sur le marché, encore trop apparentées aux pompes dont elles dérivait, n'avaient en turbine qu'un débit insuffisant par rapport à la pompe. Les possibilités d'exploitation s'en trouvaient limitées.

Actuellement, grâce aux améliorations apportées au tracé du distributeur, le débit maximum de la turbine peut

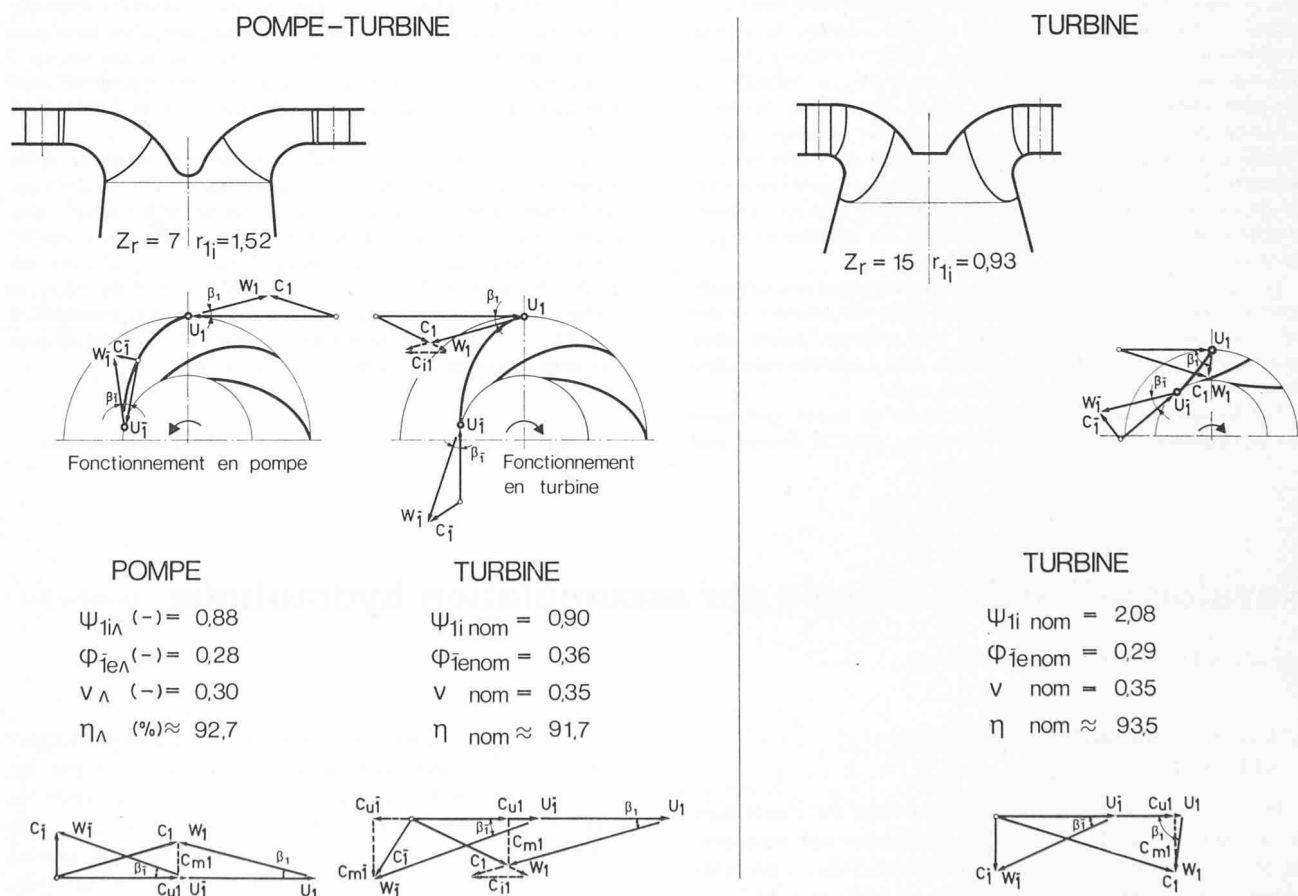


Fig. 9. — Roues de turbine et de pompe-turbine susceptibles d'assurer le même service en turbine : comparaison des profils hydrauliques, des caractéristiques essentielles et des triangles de vitesses.

atteindre 1,5 fois le débit nominal de la pompe. La puissance turbine sous la chute maximum devient plus importante que la puissance maximum en pompe, ce qui permet une utilisation plus rationnelle des groupes.

Les machines hydrauliques sont sujettes à la cavitation [5]. Ce phénomène bien connu, caractérisé par la formation passagère de bulles de vapeur provoquées par une baisse locale de la pression, est redouté des exploitants. Il soumet la machine à la fois à des chocs et vibrations souvent violents et à une usure qui peut atteindre des proportions désastreuses.

Pour éviter ce phénomène, on s'efforce de maintenir en tout point de l'écoulement à l'aval de la machine une pression supérieure à celle de dégagement de vapeur.

Le risque de cavitation est beaucoup plus élevé en pompe qu'en turbine, c'est la raison pour laquelle, sous cet aspect, une pompe-turbine est soumise à une servitude beaucoup plus astreignante qu'une turbine classique à réaction.

Pour cette dernière, le type et la vitesse de rotation sont choisis de telle façon que le groupe dont elle fait partie puisse être implanté au niveau de la restitution. Cette façon de procéder permet, en général, de limiter l'importance des fouilles et de maintenir la machine électrique assez haut pour la mettre à l'abri des eaux en cas d'inondation accidentelle.

Avec l'établissement de projets de centrales de pompage-turbinage, en raison des contre-pressions importantes qu'exige le bon fonctionnement des pompes-turbines, cette conception a été abandonnée au profit du principe d'une implantation profonde de la centrale (fig. 10) [6]. Pour en tirer le meilleur parti, de plus en plus fréquemment on choisit délibérément des machines rapides, donc plus ramassées et moins coûteuses à puissance donnée, ou plus puissantes pour un encombrement déterminé.

La cote optimum est déterminée par une étude dans laquelle le facteur économique joue un rôle déterminant. La comparaison des coûts du génie civil et des groupes hydro-électriques doit être faite avec soin. L'étude technique et économique de l'ensemble nécessite plus que jamais une collaboration très étroite entre ingénieurs hydrauliciens et de génie civil. Cette collaboration qui, à des degrés divers, a toujours existé, présente un intérêt accru dans le cas qui nous intéresse. En effet, la part des machines dans les dépenses totales d'investissement est beaucoup plus grande dans les installations de pompage-turbinage que dans les autres aménagements hydrauliques.

A Vianden, par exemple, le coût de la partie électromécanique y compris le blindage métallique de puits atteint presque la moitié du coût total de l'aménagement.

Les manœuvres de démarrage, d'arrêt et de déclenchements auxquelles sont soumises les machines réversibles se traduisent par des régimes transitoires dont certains sont caractérisés par des perturbations d'écoulement très violentes. Plusieurs machines conçues dans une méconnaissance relative de ces perturbations ont été victimes d'incidents plus ou moins graves.

En turbine, une pompe-turbine se comporte comme une machine classique quand il s'agit des manœuvres de démarrage et d'arrêt. Ce n'est plus le cas lors d'un déclenchement intempestif au cours duquel la vitesse d'emballlement est atteinte. L'effet centrifuge qui se manifeste à cette occasion provoque une diminution brusque du débit. Ce phénomène, très rapide, entraîne une pointe de pression élevée. Une surpression de 35 % n'est pas rare, bien supérieure aux 10 à 15 % atteints dans les installations équipées de turbines classiques.

En pompe, les régimes transitoires méritent une attention particulière.

Le démarrage du groupe nécessite une source motrice indépendante de la pompe-turbine. On a recours soit à la machine électrique principale, soit à un moteur auxiliaire. Dans le premier cas, la machine synchrone doit être spécialement conçue pour assurer cette fonction en régime asynchrone. Avec une telle machine, le démarrage de la pompe peut avoir lieu à roue noyée malgré le puissant effet de freinage que le barbotage de cette dernière provoque.

Ce procédé de démarrage maintenant souvent utilisé pour de très grosses unités, a été rendu possible grâce à d'importantes études effectuées récemment dans ce domaine [7].

Si le moteur entraînant la pompe vient à manquer brusquement de courant, on parle de déclenchement du groupe. La pompe laissée à elle-même est brusquement freinée et cesse aussitôt de refouler. Il s'agit d'un phénomène brutal car les masses tournantes, malgré leur inertie, s'immobilisent en l'espace de quelques secondes pour repartir dans l'autre sens, jusqu'à ce que la fermeture de la vanne mette la pompe hors service. L'inversion du débit consécutif au déclenchement provoque d'importantes fluctuations de pression dans l'installation dont de nombreux éléments doivent être conçus et dimensionnés en fonction de ce phénomène.

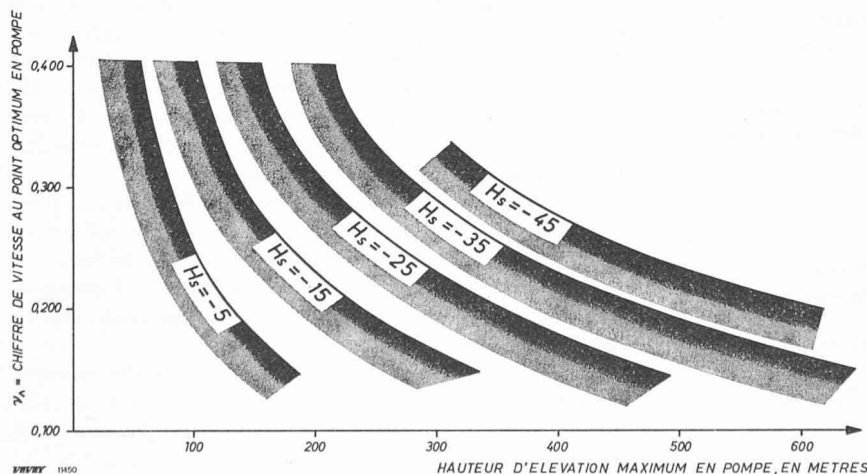


Fig. 10. — Pompes-turbines réversibles à un étage : profondeurs d'enfoncement approximatives en fonction de la hauteur d'élévation H et du chiffre de rotation ou de vitesse v_A (facteur de forme). Ce diagramme suppose des variations de chute modérées.

$$v_A = N \cdot \frac{(\dot{V}_v / \pi)^{1/2}}{(2gH_A)^{3/4}} \quad [-] \quad \text{avec}$$

$\dot{V}_v$: débit au point de rendement optimum en pompe m^3/s

H_A : hauteur d'élévation relative au même point m

N : vitesse de rotation rad/s

(Cliché mis obligeamment à disposition par les Ateliers de Constructions mécaniques de Vevey SA.)

Nous touchons, avec l'étude du comportement dynamique des pompes-turbines, le centre des préoccupations actuelles des constructeurs de machines hydrauliques.

Depuis longtemps, incapables d'améliorer les formes hydrauliques de leurs machines à l'aide de la seule théorie, les constructeurs recourent aux essais sur modèle à la recherche des meilleurs rendements et d'une plus grande sécurité à la cavitation. On sait le soin et les moyens apportés à la réalisation de stands d'essais créés dans ce but, tel celui de l'Institut de machines hydrauliques de l'EPFL [8]. Leur conception est essentiellement conditionnée par la mesure, en régime permanent, du rendement énergétique que des lois de similitude simples et des formules de revalorisation assez universellement admises, bien qu'encore discutées, permettent de transposer assez facilement du modèle à l'exécution industrielle.

Mais maintenant d'autres phénomènes doivent être analysés et maîtrisés qui nécessitent la mise en œuvre de mesures d'un genre nouveau. Déjà, l'augmentation des puissances unitaires avait montré, par exemple, l'importance qu'il fallait attribuer à la torche génératrice d'instabilités (fig. 11). Si l'on pouvait à la rigueur ignorer les effets de ces dernières sur les petites unités, il n'en est plus question dès qu'il s'agit de grosses machines.

La mesure de phénomènes pulsatoires n'est pas compliquée en elle-même. L'interprétation des résultats est beaucoup plus complexe. Au niveau des essais, il est assez facile de comparer des résultats obtenus à partir de plusieurs modèles et d'opérer ainsi entre eux une sélection. Mais la détermination des fluctuations réelles de pression, de régime et d'efforts auxquelles seront soumises les machines industrielles à partir d'un modèle imposent à ce dernier des conditions nouvelles qu'il n'est pas toujours aisé de définir ou qu'on n'arrive guère à satisfaire.

Les phénomènes de résonance mettant en cause des éléments déformables de la machine, comme les aubes directrices, ne peuvent guère être maîtrisés sur un modèle qui n'obéit pas aux lois de similitudes propres à ce genre de phénomène.

Les incidents nombreux qui sont survenus récemment lors de la mise en marche de pompes-turbines montrent à quel point ces différents problèmes rendent perplexes la plupart des constructeurs. Parfaitement au courant des difficultés qu'ils avaient à surmonter dans l'exécution du distributeur de machines réversibles de grandes puissances, plusieurs parmi ces derniers ont sous-estimé les sollicitations auxquelles les aubes directrices sont soumises.

Les essais sur modèle montrent que les efforts et les moments agissant sur ces aubes atteignent au cours des régimes transitoires des multiples de leurs valeurs en régime de service. L'aubage et sa commande sont dimensionnés en conséquence. La rupture d'organes essentiels mettant la machine hors service se produit cependant sur l'exécution industrielle.

De tels phénomènes mettent en évidence la fragilité des extrapolations quand elles s'appliquent à des machines de grandes puissances et de grosses dimensions.

3. Les nouvelles tendances constructives dans la réalisation des pompes-turbines

Certains constructeurs, et parmi eux des Suisses, conscients des problèmes évoqués plus haut et prévoyant des difficultés, ont délibérément repoussé certaines idées reçues pour leur plus grand profit sinon sur le plan financier immédiat, au moins sur le plan technique.

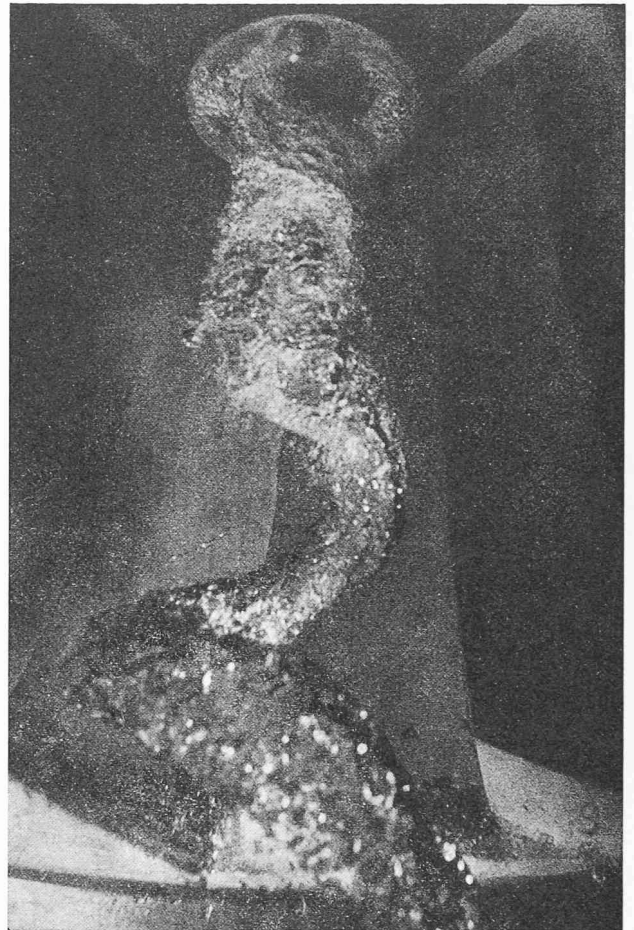


Fig. 11. — Torche à l'aval d'une roue de machine hydraulique. (Photo IMH.)

Pour la commande des aubes directrices du distributeur, par exemple, abandonnant notamment l'idée de la commande commune par cercle de vannage et élément individuel de rupture, ils ont adopté un système de commande propre à chaque aube permettant le contrôle individuel de la position et des efforts.

La recherche de constructions toujours plus compactes incite les fabricants à concevoir des groupes verticaux ne comportant que deux paliers au lieu des trois traditionnels. Il s'agit là d'un effort entrepris de concert par le mécanicien et l'électricien. Il ne peut porter ses fruits qu'à condition qu'une collaboration effective existe entre les différents constructeurs, notamment dans le calcul de la ligne d'arbre. L'unanimité n'existe pas quant à l'interprétation des résultats de calculs complexes où la vitesse critique est exprimée en fonction de la flexibilité des supports. Un effort est à faire pour améliorer la connaissance des corrélations entre les résultats calculés à l'aide de nouvelles méthodes et ceux effectivement mesurés.

Quand il s'agit de paliers, le constructeur de machines hydrauliques doit être en mesure de donner les efforts radiaux auxquels la roue est soumise et qui doivent être repris par les paliers. Certaines déconvenues et constatations récentes montrent que l'inattendu est également de mise dans ce domaine.

Le développement de la construction soudée modifie considérablement le dessin des machines dont les plus anciennes étaient réalisées par assemblage d'éléments en acier coulé.

Forces hydrauliques exploitables dans le monde

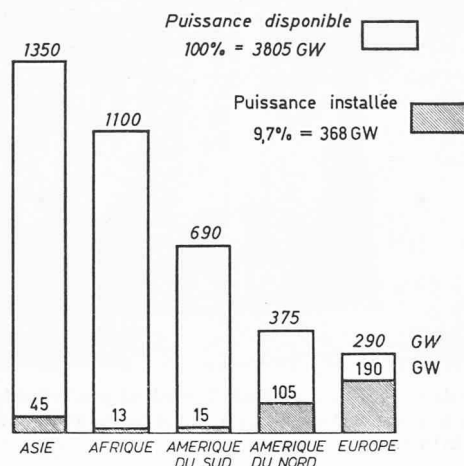


Fig. 12. — Répartition des forces hydrauliques exploitables dans le monde.

L'utilisation bientôt systématique de la soudure dans la réalisation de pièces de plus en plus grandes nécessite une maîtrise parfaite des déformations auxquelles ces pièces sont sujettes. La détermination des contraintes et des déformations par la méthode des éléments finis est utilisée couramment pour le dimensionnement des fonds et des roues.

Ces dernières, encore réalisées en acier coulé dans la construction d'unités importantes, atteignent maintenant des poids supérieurs à celui d'une coulée de haut-fourneau.

Elles doivent être préparées en plusieurs éléments qui sont ensuite soudés. Dans ce domaine, les roues destinées à la centrale de Luddington constituent un exemple intéressant d'assemblage par soudure. Leur diamètre est supérieur à 8 m et leur poids atteint 300 t.

Avec l'augmentation de l'encombrement des pièces, les problèmes de transport se posent de façon de plus en plus ardue. On en vient fréquemment à terminer la fabrication des éléments les plus importants des machines hydrauliques dans les centrales auxquelles elles sont destinées. Il n'est alors plus question de procéder à des montages pré-alables en ateliers, puisque la soudure, le recuit et l'usinage final sont alors exécutés en centrale. Dans ce domaine également, on assiste à une évolution et à l'abandon de préjugés tenaces.

Mettons fin à cette évocation de problèmes techniques auxquels l'industrie des machines hydrauliques est confrontée. Les difficultés actuellement ressenties à des degrés divers par les différents constructeurs sont loin d'être insurmontables. Les moyens de les résoudre existent. Des résultats positifs sont et seront obtenus au prix d'un effort constant.

Le champ des recherches doit être élargi, la formation des spécialistes doit s'améliorer et, dans une certaine mesure, le nombre de ces derniers doit s'accroître.

En tant qu'enseignant, nous retiendrons la nécessité impérieuse du recrutement de bons constructeurs, de jeunes ingénieurs au courant des techniques nouvelles, capables d'apporter une contribution efficace au travail d'équipe que réclame la réalisation de grandes machines. Sur un autre plan, la construction d'aménagements tels que ceux que nous venons de décrire demande aux ingé-

nieurs des différentes spécialités, génie civil, mécanique et électricité, de resserrer davantage les liens de leur collaboration. La réalisation de grandes installations techniquement irréprochables et d'une bonne rentabilité est à ce prix.

A l'EPFL, dans le cadre de l'élaboration en cours du nouveau plan d'études des ingénieurs-mécaniciens, les propositions faites relatives à la spécialité des machines et installations hydrauliques tiennent compte de ces tendances. Une place plus grande est accordée à l'étude de la dynamique et des vibrations. En outre, différents cours et exercices portent sur la conception et la construction des machines hydrauliques ainsi que sur les phénomènes transitoires et les problèmes des grandes machines électriques ou du génie civil.

Cet effort d'adaptation est parfaitement justifié, car la construction de machines et d'installations hydrauliques est appelée à contribuer dans la mesure des possibilités naturelles, à l'accroissement indispensable des moyens de production d'énergie.

Indépendamment des installations de pompage-turbine, compléments avantageux des puissantes centrales thermiques et nucléaires, de nouveaux aménagements hydro-électriques seront créés, dispensateurs d'une énergie propre, d'origine solaire, ne l'oublions pas. Ceci est d'autant plus vraisemblable que dans le monde, seuls quelque 9 % des ressources exploitables sont actuellement mises à profit et que la production d'énergie électrique à partir de ces ressources n'entraîne aucune pollution des cours d'eau, ni chimique, ni thermique (fig. 12).

Ces perspectives justifient l'optimisme des constructeurs de machines hydrauliques et autorisent, dans ce domaine, quelques espoirs quant à l'avenir du développement d'aménagements ne participant pas à l'extension des nuisances menaçant notre société.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ***: *Pumpspeichermöglichkeiten in der Schweiz*. Mitteilung Nr. 46 des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft (Berne) 1972.
- [2] ***: *La pompe-turbine Isogyre*. Bulletin technique des Ateliers des Charmilles (Genève), 1975.
- [3] E. H. MÜHLEMANN: *Machines hydrauliques pour installations avec accumulation artificielle, comparaison des coûts, des rendements et des temps de démarrage*. Bulletin Escher-Wyss (Zurich), 1972.
- [4] W. MEIER, J. MULLER, H. GREIN, M. JAQUET: *Turbines-pompes et pompes d'accumulation*. Bulletin Escher-Wyss (Zurich), 1971.
- [5] TH. BOVET: *Contribution à la notion du chiffre de cavitation d'une turbine hydraulique à réaction* (publication n° 3). EPFL-IMH (Lausanne), 1968.
- [6] J. CHAPPUIS: *Quelques considérations dans le cadre de notre programme de recherche sur les pompes-turbines*. Bulletin technique des Ateliers de Constructions mécaniques de Vevey (Vevey), 1970.
- [7] J. CHATELAIN, M. JUFER, A. PERILLARD: *Groupes de pompage*. Publication de la SA des Ateliers de Sécheron (Genève), 1968.
- [8] TH. BOVET, P. HENRY: *Le nouveau stand d'essai universel pour machines hydrauliques à réaction* (publication n° 6). EPFL-IMH (Lausanne), 1970.

Adresse de l'auteur :

Jean-Emile Graeser, ingénieur EPFL
Chargé de cours à l'EPFL
Institut de Machines hydrauliques
26, avenue de Cour, 1007 Lausanne