

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 17

Artikel: Expérience d'exploitation des aménagements de pompage de pointe

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915202>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

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

Expérience d'exploitation des aménagements de pompage de pointe

Par le Groupe d'experts de l'expérience d'exploitation des aménagements de pompage de pointe¹⁾

Im nachfolgenden Bericht sind spezielle Probleme der Speicherkraftwerke behandelt. Dabei wird vor allem auf die spezifischen Eigenschaften der hydraulischen und elektrischen Ausrüstung eingegangen und eine Übersicht über die Betriebsergebnisse, speziell der Verfügbarkeiten, gegeben. Die Vorteile dieses Kraftwerktyps werden abschliessend zusammengefasst.

1. Introduction

Ce rapport rassemble les renseignements recueillis à l'aide d'un questionnaire envoyé à tous les pays membres.

Il mentionne principalement les enseignements d'exploitation pour les conditions qui diffèrent de celles des usines hydrauliques classiques. On trouvera donc plus souvent citées les installations de pompage pur (sans apport naturel au bassin supérieur) et les machines réversibles.

2. Equipement hydraulique

2.1 Réservoirs

La constitution de ceux-ci diffère en fonction des données du site.

En ce qui concerne les centrales dont le bassin supérieur ne comporte aucun apport naturel (pompage pur), le revêtement étanche est souvent constitué par un revêtement asphaltique:

- en revêtement monocouche, on constate des défauts localisés facilement réparables, soit par réchauffement et martelage, soit par addition de produit liquide (mastix);
- en revêtement bicouche, il se produit parfois des décollements entre couches provoquant des cloques et des fissures. L'action du soleil peut être importante et nécessiter un refroidissement artificiel par rampes d'arrosage.

Dans le cas d'un bassin dont l'étanchéité était assurée par du béton d'argile, il a fallu renouveler complètement celui-ci et améliorer l'étanchéité du fond par des injections de bentonite.

Le curage du bassin est parfois nécessaire.

2.2 Galeries et conduites d'eau

La rupture du distributeur mobile, en pompe, a provoqué des oscillations de pression qui ont amené la rupture d'un couvercle de trou d'homme dans la conduite haute pression, entraînant l'inondation de la centrale et une immobilisation de longue durée.

Suite à la rupture d'une grille disposée dans la galerie blindée haute pression, des éléments de cette grille ont circulé pendant un certain temps dans la galerie et les bâches spirales, provoquant des dégâts heureusement mineurs, jusqu'au moment où le débris principal s'étant coincé dans une machine, provoquait la rupture de plusieurs broches de sécurité de l'arbre mobile. La rupture initiale est attribuée à des ondes vibratoires provoquées par un fonctionnement anormal en pompe.

¹⁾ Le groupe d'experts ayant permis l'élaboration de ce document était composé de: MM. J. Seydel, rapporteur, (Belgique), G. Lenssen (République fédérale d'Allemagne), E. Stefko (Autriche), M. De La Puerta (Espagne), D. Simonnot (France), T. S. Burt (Grande-Bretagne), F. Seripa (Italie), Olrog (Suède) et M. Leibundgut (Suisse).

Le rapport traite des problèmes particuliers aux centrales de pompage de pointe. Il passe en revue les accidents et particularités de l'équipement hydraulique et électrique puis présente une analyse des résultats d'exploitation et, notamment, des indisponibilités. Un bref résumé des avantages de ce type de centrale termine le rapport.

Un accident du même genre s'est présenté avec une grille arrachée à la sortie en turbine; l'accident a été décelé par des vibrations anormales de la machine en pompe.

Dans un autre cas, une échelle d'aluminium s'est détachée de sa fixation, sans entraîner, heureusement, de dégâts majeurs.

2.3 Equipements de protection

Les prises d'eau inférieures sont toutes munies de grilles d'écartement variant de 20 à 145 mm (en moyenne 60 mm). Elles ne sont nettoyées que dans des cas exceptionnels (bassin inférieur constitué par une rivière, en cas de hautes eaux ou de présence de glace).

Certaines prises d'eau de bassins supérieurs sans apport naturel ne sont pas équipées de grilles. Lorsqu'il y en a, le nettoyage est nul.

Dans deux cas, des vibrations ont provoqué des ruptures de barreaux et de traverses de grille.

La rupture d'une tige de by-pass incorporée dans une vanne sphérique a endommagé le distributeur mobile et la roue.

Le calage de vannes batardeaux, à la sortie des aspirateurs, a dû être modifié et amélioré, suite à des vibrations dues à des oscillations de pression.

2.4 Machines hydrauliques

2.4.1 Pièces fixes

Pour les machines dont la bâche spirale est enrobée dans le béton, des précautions spéciales sont prises, telles que intercalation d'une couche élastique, bétonnage sous demi-pression.

Etant donné les contraintes dues aux oscillations de pression, spécifiques aux machines réversibles, il est recommandé de contrôler très soigneusement, lors de l'essai sous pression de la bâche spirale, les tensions et les déformations de celle-ci.

2.4.2 Distributeur mobile

Certaines centrales signalent des ruptures fréquentes des broches de sécurité (cisaillement).

En machines ternaies, celles-ci sont causées généralement par la présence de corps étrangers.

Indisponibilité globale des unités de pompage de pointe Tableau I

Puissance nominale MW	Nombre de machines concernées	Indisponibilité globale %
20 à 39	21	9,9
40 à 59	28	5,8
60 à 79	12	8,7
80 à 99	8	22,1
100 à 119	15	23,4
120 à 139	12	14,8
142	3	19,9
Toutes	99	12,5

Dans les machines réversibles, deux accidents, avec dégâts à la roue, se sont produits au moment de la première opération en pompe. La cause en serait une sous-estimation des efforts dans les directrices à la prise de charge en pompe.

2.4.3 Roues

Une seule usine signale le refus de réception des roues pour cavitation excessive (en pompe, entrée à l'intrados).

Les critères de l'usure excessive par cavitation sont de plus en plus souvent définis dans les cahiers des charges et concernent la surface, la profondeur et le poids du métal enlevé; dans certains cas, la comparaison s'effectue par rapport à l'observation d'une plaque témoin.

Différents cas de corrosion électro-chimique sont signalés (acier-bronze ou acier-inox).

L'injection d'air pour réduire les effets de la cavitation est parfois appliquée en pompe également, dans les machines réversibles.

2.4.4 Arbres et paliers

Pratiquement, tous les joints d'étanchéité sont réalisés par des anneaux de carbone; nombreux défauts, généralement maîtrisés par ultrafiltration de l'eau d'arrosage.

Pour les groupes ternaires horizontaux, il convient d'apporter un soin particulier au mode de scellement des machines pour éviter une modification de la ligne d'arbre, particulièrement pour les pompes à plusieurs étages.

2.4.5 Pivots (Machines réversibles)

Plusieurs grippages sont signalés, généralement lors de la mise en service.

Les pompes d'injection d'huile à haute pression sont utilisées sur toutes les machines. L'épaisseur du film est de 0,01 à 0,1 mm (surtout 0,08 mm).

2.4.6 Dénoyage

Le contrôle de dénoyage est généralement effectué par flotteurs; quelques défauts d'appareillage. Pour corriger ces défauts, plusieurs centrales ont mis en service des détecteurs de niveau de type capacitif avec succès.

2.4.7 Freinage

L'utilisation du freinage électrique ne s'est pas généralisée, même pour les machines réversibles récentes.

2.4.8 Vibrations

Dans les centrales récentes, vue l'importance des phénomènes oscillatoires, spécialement dans les machines réversibles, des détecteurs de vibrations sont installés sur les machines.

Dans plusieurs cas, les armoires électriques sont placées sur coussins amortisseurs.

2.5 Exhaure

Les critères de dimensionnement des pompes d'exhaure restent presque toujours empiriques. Lorsqu'ils sont définis, ils correspondent au débit d'un orifice de 75 à 150 mm en haute pression et de 75 à 200 mm en basse pression.

3. Equipements électriques

3.1 Alternateur moteur

Dans plusieurs usines (unités de plus de 60 MW) ayant moins de 10 ans de fonctionnement, il a été nécessaire de recalibrer le bobinage statorique. Le calage et les enroulements

des pôles des machines, réversibles spécialement, posent des problèmes.

Lorsque le rotor est construit avec jante flottante, la vitesse de décollement est généralement comprise entre 120 et 130 % de la vitesse nominale.

Les types d'excitation ont suivi l'évolution générale de la technique de construction des grandes unités. Les excitations statiques des machines récentes posent des problèmes de commutation et entraînent parfois des difficultés d'utilisation de certains relais de protection (statorique et rotorique de terre).

3.2 Système de démarrage en pompe

Tous les types de démarrage sont utilisés; peu de problèmes après mise au point lors de la mise en service.

Pour les machines réversibles, l'utilisation en Compensateur Synchrone impose l'installation d'un système de dénoyage de la roue, ce qui explique le faible nombre d'usines démarrant roue noyée.

3.3 Transformateurs principaux

Aucun incident propre au fonctionnement en usine de pompage n'a été signalé.

3.4 Appareillage auxiliaire

On déplore trop d'indisponibilités dues au mauvais fonctionnement d'accessoires divers (capteurs, appareillage électrique ou mécanique, etc.). Par comparaison avec les usines de turbinage pur, ces accessoires sont à la fois plus nombreux et plus sollicités. Leur fiabilité doit donc être accrue. Des résultats de l'enquête, il résulte que les bureaux d'études et les constructeurs n'attachent pas assez d'importance à ce problème.

Quelques centrales récentes sont équipées d'un relaiage électronique.

Il existe des calculateurs dans quelques centrales; ils commandent parfois les programmes d'automatisme. Ailleurs, ils servent à l'enregistrement des données et des événements; leur utilité est surtout grande lors des mises en service.

La majorité des centrales est télécommandée en ce qui concerne le réglage de la charge. Le réglage fréquence-puissance est d'application très générale.

Les protections des machines sont classiques; protections électroniques dans les centrales récentes.

L'air comprimé de dénoyage est pratiquement toujours fourni à partir d'une installation centrale.

L'eau de réfrigération est filtrée (mailles de 1 à 3 mm); pour l'arrosage des labyrinthes et du presse-étoupe, un filtrage secondaire est presque toujours prévu.

L'alimentation de secours est surtout basée sur l'existence des réseaux de distribution locaux. Quelques groupes Diesel (500 à 2000 kVA) existent dans des centrales plus isolées, si elles ne comportent pas des groupes hydrauliques de secours classiques (ou réversibles).

4. Programme de construction

Les centrales utilisant des machines ternaires ont généralement été mises en service sans retard sur le programme initial.

Les causes de retard sont dans l'ordre d'importance:

- difficultés d'excavation;
- incidents pendant la mise en service;
- exécution du Génie civil;
- retard dans les fournitures.

5. Exploitation

5.1 Généralités

Les graphiques suivants représentent, en ordonnée, toujours le nombre de machines concernées et, en abscisse, les principales caractéristiques dégagées des chiffres statistiques fournis. La moyenne 1970-1974 a été calculée pour les usines anciennes. Pour les usines mises en service depuis 1970, les chiffres sont calculés à partir des données reçues. Les parties hachurées représentent les centrales de pompage pur.

5.2 Marche en turbine

5.2.1 Marche en turbine

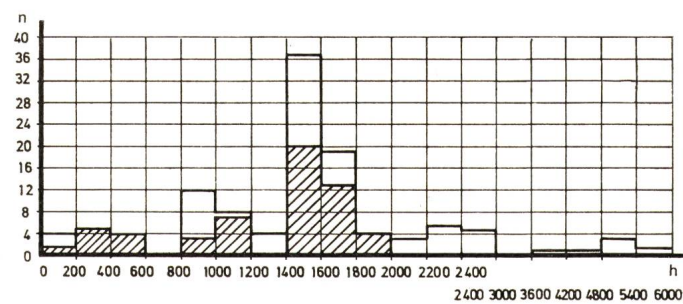


Fig. 1 Marche en turbine

n nombre de machines concernées
 h heures par an

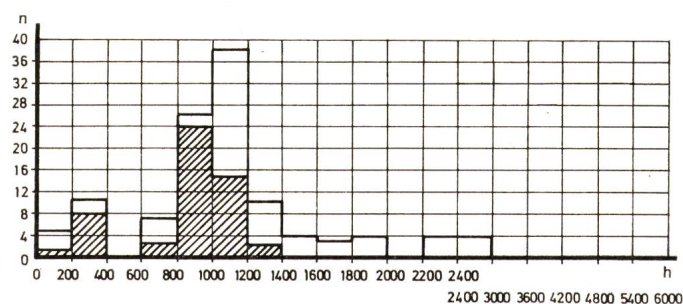


Fig. 2 Utilisation annuelle moyenne par machine

La fig. 2 représente l'utilisation annuelle moyenne par machine, c'est-à-dire, la durée annuelle fictive pendant laquelle chaque machine aurait fonctionné à puissance nominale pour produire l'énergie produite annuellement. C'est, en fait, le quotient de l'énergie totale produite par l'usine par la puissance nominale des turbines.

La majorité des usines sont utilisées entre 800 et 1200 heures par an. Les utilisations plus importantes sont le fait des centrales où l'apport est important.

5.2.2 Facteur d'utilisation de la puissance des turbines

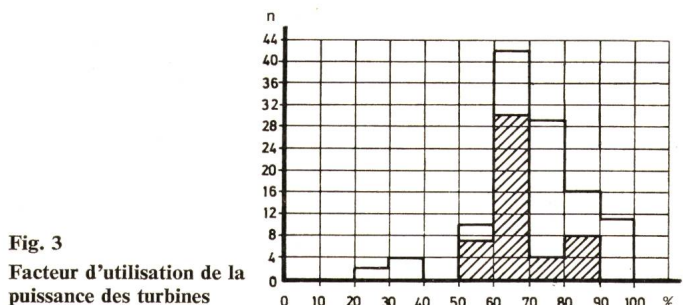


Fig. 3
Facteur d'utilisation de la
puissance des turbines

Le facteur d'utilisation de la puissance des turbines est le rapport entre la puissance moyenne horaire en turbinage et la puissance nominale des machines $\times 100$.

En pompage pur, ce pourcentage est généralement de 70 % mais peut atteindre 90 %. Il est plus élevé pour les autres centrales.

5.3 Rapport entre l'énergie produite (turbinage) et l'énergie consommée (pompage)

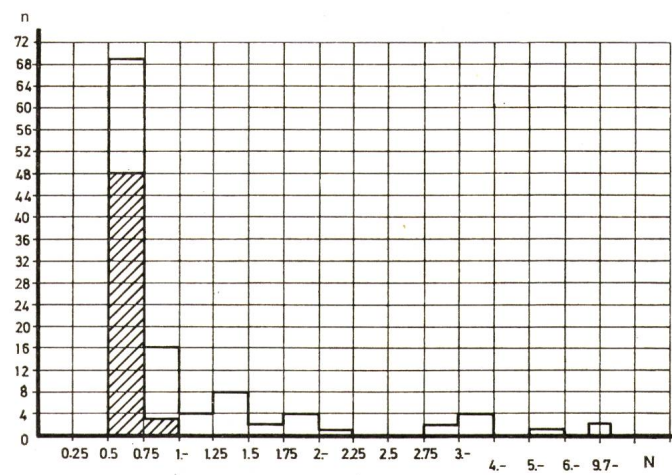


Fig. 4 Rapport entre l'énergie produite (turbinage) et l'énergie consommée (pompage)

n nombre de machines concernées
 N rapport entre l'énergie produite et l'énergie consommée

En pompage pur, la moyenne se situe aux environs de 0,7 représentant le rendement global de la centrale. Pour les autres usines, l'influence des apports naturels peut devenir prédominante.

5.4 Temps de démarrage et d'arrêt

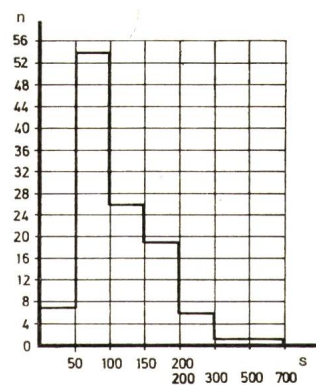


Fig. 5
Temps de démarrage en turbine
 s temps de démarrage
(en secondes)

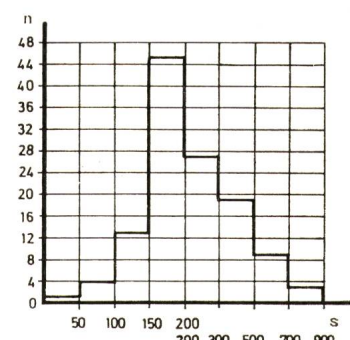


Fig. 6
Temps de démarrage en pompe
 s temps de démarrage
(en secondes)

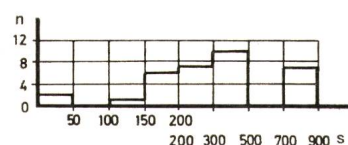


Fig. 7
Temps d'arrêt en turbine
 s temps d'arrêt (en secondes)

Les machines ternaires sont rarement freinées, leur redémarrage en turbine pompe ou compensateur synchrone ne posant aucun problème.

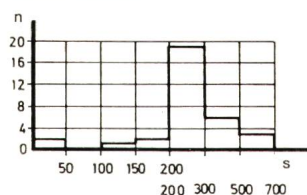


Fig. 8
Temps d'arrêt en pompe
s temps d'arrêt (en secondes)

5.5 Divers

5.5.1 Régulation

Le coefficient α de régulation des centrales à machines réversibles est légèrement inférieur à 0,3.

Les survitesses, lors des déclenchements en turbine, se situent aux environs de 40 % pour les groupes réversibles.

Une majorité des centrales est conçue pour pouvoir produire en réseau isolé.

5.5.2 Puissance perdue lors du fonctionnement en compensateur synchrone

La puissance perdue en fonctionnement comme compensateur synchrone dépend évidemment du type et de la puissance de la machine.

- Machine ternaïre, *Pelton* 0,3 MW
- Machine ternaïre, *Francis* 0,3 à 2 MW
- Machine réversible 2 à 5 MW

5.5.3 Réserve de marche minimale

L'utilisation des centrales par les centres de répartition prévoit souvent une réserve de marche minimale, les jours ouvrables, de l'ordre de une ou deux heures de turbinage à pleine puissance.

5.5.4 Réserve tournante

Quelques centrales signalent ce type de fonctionnement en compensateur synchrone turbine. Les autres indiquent que la rapidité de mise en service permet de les considérer comme réserve instantanée.

5.5.5 Délestage du réseau par déclenchement des pompes

Pratiquement toutes les centrales sont équipées de relais fréquencemétriques (réglage de 47,5 à 49,8 Hz) coupant automatiquement les pompes en service.

La télécommande de l'arrêt n'est pas généralisée.

Taux moyen d'indisponibilité réel des unités de pompage de pointe

Tableau II

	Réversibles	Ternaïres	Total
Nombre de machines sous revue	24	75	99
Indisponibilités en % de temps			
Entretien programmé	8,4	6,1	6,7
Arrêt pour avarie	5,8	3,4	4,0
Sous-total	14,2	9,5	10,7
Causes extérieures	0,2	2,4	1,9
Total	14,3	11,9	12,5

5.6 Indisponibilités

Comme il fallait s'y attendre, l'indisponibilité des centrales de pompage de pointe est nettement plus élevée que celle des usines hydrauliques classiques.

L'influence des causes extérieures à la centrale (accidents de ligne, grève, etc.) atteint 7% dans deux cas (8 machines) et 32 % dans un cas (2 machines).

L'entretien programmé représente 63 % des temps d'indisponibilité, lorsqu'on ne tient plus compte des causes extérieures à la centrale. Comme il est presque toujours possible, pour une centrale de pompage, d'effectuer ces travaux programmés, soit pendant les temps d'arrêt, soit pendant les périodes de moindre utilisation, le taux d'indisponibilité réelle est nettement plus favorable que les chiffres cités ci-dessus ne le laisseraient croire, ainsi que l'indique le tableau II ci-avant (moyenne par machine).

6. Avantages des centrales de pompage

– *Couvrir les pointes de charges* en évitant la mise en service d'unités thermiques moins économiques ou en réduisant leur temps de fonctionnement. Certaines centrales estiment néanmoins que ce rôle est secondaire.

– *Moduler la puissance produite* en fonction de l'allure aléatoire de la charge. Comme déjà signalé, de nombreuses centrales de pompage sont directement commandées par un réglage fréquence-puissance.

– *Intervenir rapidement* pour pallier les déficits de production dus à des accidents dans d'autres centrales.

– *Meilleure utilisation des ressources hydrauliques*, spécialement en Espagne et en Italie, où certaines usines ont un réservoir supérieur à capacité annuelle ou même hyperannuelle.

7. Conclusions

Le rôle des centrales de pompage de pointe diffère suivant la demande du centre de contrôle du réseau dont elle fait partie. En général, toutefois, on constate que les fréquences de démarrage en turbine des unités sont analogues à celles des centrales de pointe classiques. De plus, elles doivent assurer, par pompage, la reconstitution des réserves d'énergie (sinon une consommation nécessaire, par exemple pour garder certaines unités thermiques à leur minimum technique), ce qui entraîne de nouveaux démarrages.

Les contraintes qui en résultent semblent ne pas avoir d'incidences particulières sur les matériels principaux, les constructeurs en ayant tenu compte. Par contre, les équipements périphériques donnent de nombreux soucis aux exploitants; la fiabilité des unités en est trop souvent affectée.

En ce qui concerne les machines réversibles, le compromis entre la pompe et la turbine conduit à des machines dont le comportement n'est pas encore toujours parfait. Des accidents sont dus à des vibrations, des oscillations de pression, des efforts axiaux et transversaux peu ou mal connus. Les expériences et études en cours feront évoluer la technique vers une meilleure construction. Ceci permettra à ce type de machine d'atteindre une fiabilité comparable à celle des unités classiques de pointe.

Actuellement néanmoins, il convient de se montrer prudent en évaluant le temps nécessaire aux mises en service ainsi que la durée de la période pendant laquelle le fonctionnement des machines est soumis aux inévitables défaillances du début d'exploitation.