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: 89 (1998)

Heft: 21

Artikel: Lutter contre l'usure par abrasion : une protection de surface appliquée sur les pales et le manteau des turbines Kaplan

Autor: Moser, Willy / Moulin, Clément / Vullioud, Gérald

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902129

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: 09.07.2025

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

L'article suivant décrit l'expérience réalisée sur une turbine Kaplan par l'application d'un revêtement à base de carbure de Tungstène pour réduire l'usure par abrasion des pales et du manteau. Cette technologie devrait permettre une réduction des temps d'indisponibilité pour les travaux de maintenance.

Lutter contre l'usure par abrasion

Une protection de surface appliquée sur les pales et le manteau des turbines Kaplan

■ Willy Moser, Clément Moulin, Gérald Vullioud et Guido Walt

Issu du glacier du Rhône, dans le massif du Saint-Gothard, le Rhône coule dans une vallée étroite, encaissée entre les alpes valaisannes au sud et les alpes bernoises au nord. Son cours supérieur est ainsi complètement alpestre. Son régime est caractérisé par des hautes eaux au printemps et en été et une période d'étiage en hiver. Ce régime est actuellement fortement modifié par la présence des bassins d'accumulation qui retiennent l'eau en été et la restituent en hiver. Pour des informations détaillés voir l'encarté sur la page 42.

Maintenance et entretien

L'aménagement de Lavey a la particularité de turbiner les eaux du Rhône qui transportent des quantités considérables d'alluvions contenant une forte proportion de sable (jusqu'à 45% de quartz) en suspension dans l'eau (fig. 1).

La concentration moyenne de sable relevée par des mesures ponctuelles est la suivante:

- en été (mai à septembre): 0,5 g/l, avec des pointes à 3 g/l
- en hiver (octobre à avril): 0,05 g/l

L'importance du phénomène d'usure de roues de turbine est quantifiée d'une

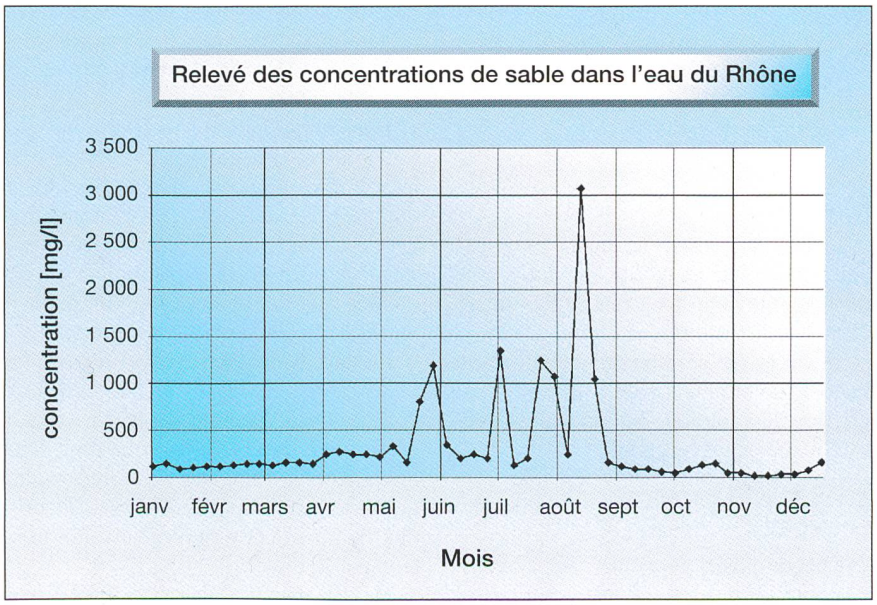
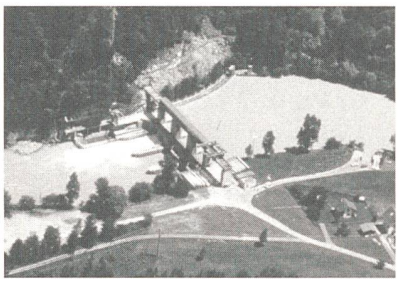


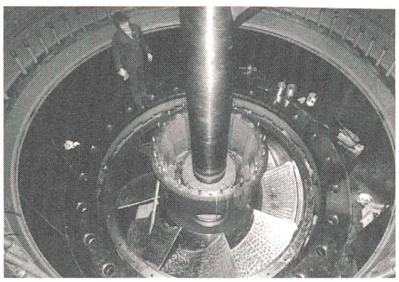
Fig. 1 Proportion de sable dans les eaux du Rhône
Les variations de cette concentration sont marquées en été à la période de fonte des neiges et d'orage.

Adresse des auteurs
Willy Moser, Ing. ETS, Service de l'électricité Case postale 836, 1000 Lausanne 9
Clément Moulin, Ing. ETS, Service de l'électricité, Case postale 836, 1000 Lausanne 9
Gérald Vullioud, Ing. EPFL, Hydro Vevey, Case postale, 1800 Vevey
Guido Walt, Ing. EPFZ, Eutectic Castolin, Case postale 360, 1001 Lausanne / St-Sulpice

Aménagement de Lavey

Mise en service	1950
Débit maximum utilisé	220 m^3/s
Chute nette	36 à 42 m
Turbines Kaplan, axe vertical, 8 pales	3
Puissance nominale	31 MW
Production annuelle moyenne	400 mio kWh





Barrage et prise d'eau (à gauche); roue rénovée d'une turbine Kaplan en cours de montage

part par des mesures des dimensions géométriques effectuées régulièrement (fig. 2) et d'autre part par des mesures de rendement.

Mesures dimensionnelles

Par exemple, sur le groupe 3, on a relevé:

- de mars à novembre 1994, une usure de la feuille en queue de pale, de 3,6 mm pour une concentration moyenne de sable de 0,6 g/l, un fonctionnement de 4400 heures et une production de 97,6 GWh
- de novembre à avril 1995, l'usure mesurée est de 0,28 mm pour une concentration moyenne de sable de 0,05 g/l, un fonctionnement de 3120 heures et une production de 80,3 GWh

Ces valeurs permettent deux constatations:

- L'usure est environ dix fois plus importante en été qu'en hiver
- L'usure est proportionnelle à la concentration de sable

Rendement

Les variations de rendement constatées entre une roue neuve et une roue usée dépassent le pour-cent. Les enjeux financiers sont importants, une perte de rendement de 1% représente annuellement un manque de production de 1300 MWh par groupe. L'évolution du rendement mesuré ressort dans la figure 3.

Entretien

Chaque hiver, un groupe sur trois est mis hors service trois à quatre mois pour être réparé *in situ* au moyen de recharge par soudure.

Malgré ces importants travaux d'entretien, l'usure est telle que les roues doivent être remplacées tous les dix à douze ans.

L'hiver 1998/99 verra la mise en service du nouveau complexe de Cleuson-Dixence. Le comportement hydrologique du Rhône s'en trouvera fortement modifié par un apport de débit supplémentaire de 75 m^3/s (capacité d'un groupe de Lavey) durant les cinq mois d'hiver et à certaines heures de la journée. Les nouvelles conditions ont pour conséquence une adaptation et une réduction des périodes d'indisponibilité des groupes pour leur entretien.

Recherches de solutions nouvelles

Face à ces perspectives d'avenir et à leurs enjeux financiers, les Services Industriels de la Ville de Lausanne (SIL), avec la société Hydro Vevey constructeur de turbines, ont recherché diverses solutions pour prolonger la durée de vie des pales de turbine.

Dans un premier temps Hydro Vevey a tout d'abord conçu des pales de rechange avec un profil épaissi pour augmenter la durée de vie de celles-ci. Cette solution ne limitait cependant en rien la durée même des travaux de réparation et ne permettait pas d'obtenir l'amélioration souhaitée de la disponibilité des groupes.

Partant d'expériences positives réalisées sur d'autres types de turbines, constructeur et exploitant ont alors décidé d'effectuer un essai en protégeant deux des huit pales d'une roue avec une couche de matériau composite WC-Co (Hydrodur, marque déposée) résistante à l'abrasion par le sable.

Parallèlement à ces essais industriels, Hydro Vevey, en collaboration avec l'Institut de Génie Atomique de l'EPFL, a procédé à plusieurs séries de tests sur éprouvettes de façon à établir une classification de différents matériaux et de différents procédés d'application. Ces éprouvettes ont été soumises à des jets d'eau chargée du sable prélevé à Lavey. Le taux d'érosion par le sable a ainsi été établi pour différentes vitesses de jets et pour différents angles d'incidence. Pour compléter ces essais, d'autres éprouvettes ont été parallèlement soumises à des essais d'érosion de cavitation, les machines hydrauliques pouvant être soumises simultanément aux deux types d'endommagement.

Les résultats obtenus, tant par l'expérience industrielle que par les tests en laboratoire, se sont révélés très prometteurs.

A l'usine de Lavey, après deux campagnes d'exploitation incluant les périodes d'été avec fortes concentrations de sable (jusqu'à 3,5 g/l contenant 45% de quartz), les deux pales protégées ont été découvertes quasiment intactes contrairement aux pales voisines qui présentaient déjà des usures très prononcées (1,2 mm de moyenne après 2730 heures de fonctionnement) et des jeux fortement accrus entre pales et manteau de roue (fig. 4 et 5). La couche protectrice n'avait été percée qu'en un seul point, sur quelques cm^2, conséquence d'un défaut local d'application et nullement imputable à la résistance même de la couche.

Côté laboratoire, les taux d'érosion mesurés avec les meilleures protections sont inférieurs d'un facteur voisin de 100 au taux mesuré sur l'acier inox 13Cr-4Ni qui constitue la matière de base des pales.

Forts de ces résultats très positifs, les SIL ont décidé de poursuivre l'expérience en protégeant les huit nouvelles pales

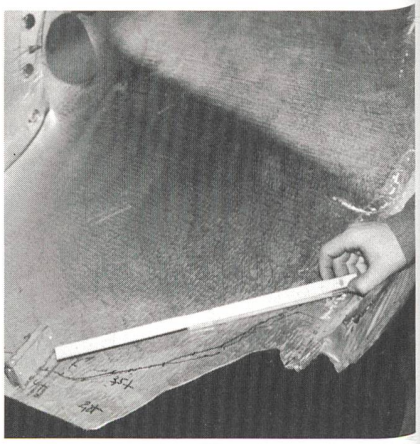


Fig. 2 Etat des pales après six ans d'exploitation

Une partie de la matière en queue de pale et de la collerette a disparu. La réparation est effectuée en ressoudant un triangle de métal en acier inox 13/4 et en rechargeant le diamètre extérieur, puis par meulage, le profil est reconstitué.

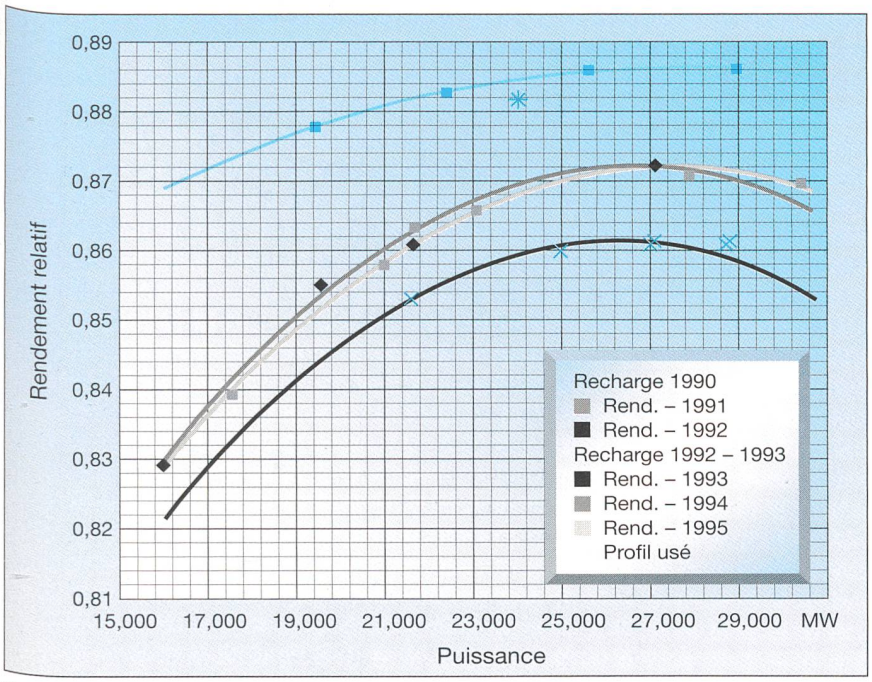


Fig. 3 Evolution du rendement relatif au cours du temps. La variation de rendement mesurée entre une roue neuve et une roue usée non réparable, avoisine 2,4 %

Cette perte de rendement est progressive et elle peut être partiellement stoppée par une réparation par recharge du diamètre extérieur de la roue.

d'une seconde roue ainsi que le manteau supérieur, réalisé en quatre parties.

Confiées à Hydro Vevey, ces nouvelles pales ont été, après usinage, acheminées dans les ateliers Tero-Lab de Castolin à St-Sulpice, pour y être protégées (fig. 6).

Ce revêtement constitué de carbure de Tungstène intégré dans une matrice métallique est projeté thermiquement par un procédé HVOF (High-Velocity-Oxy-Full). Ce procédé permet de projeter des poudres à vitesse supersonique dans une atmosphère peu oxydante. La température des particules reste limitée, ce qui évite des transformations structurales et permet de conserver toutes les propriétés de résistance de la poudre.

Les couches déposées sont denses et appliquées jusqu'à obtenir une épaisseur voisine de 0,4 mm. Elles peuvent être réparées ou renouvelées après consommation.

Avant la projection, deux plaquettes témoins ont été jointes à chacune des pales ou des parties de manteau et ainsi elles ont été revêtues en même temps que les pièces. Ces plaquettes ont été soumises aux contrôles de qualité suivants:

- mesure de la micro-dureté déterminée à environ 1200 Vickers
- analyse métallographique par traitement d'image pour définir le taux et la distribution des microporosités
- mesure d'adhérence avec une contrainte d'arrachement supérieure à 80 MPa
- mesure de la rugosité, comprise entre N7 et N8. L'expérience industrielle de Lavey a montré que cette rugosité de surface initiale est fortement réduite en cours d'exploitation

Par ailleurs, l'épaisseur du revêtement déposé a été soigneusement mesurée selon une cartographie prédéterminée ce qui permettra un suivi régulier et précis de l'usure de la couche, et ainsi de programmer à l'avance la nouvelle application.

Conclusion

Ce nouveau revêtement devrait apporter une amélioration importante pour l'exploitation et la maintenance des turbines de l'usine hydro-électrique de Lavey. La très forte diminution de l'usure des pales permettra de choisir un profil hydraulique optimum car moins sollicité. Il diminuera considérablement les temps de révision et sera ainsi un atout important pour affronter la libéralisation du marché de l'électricité.

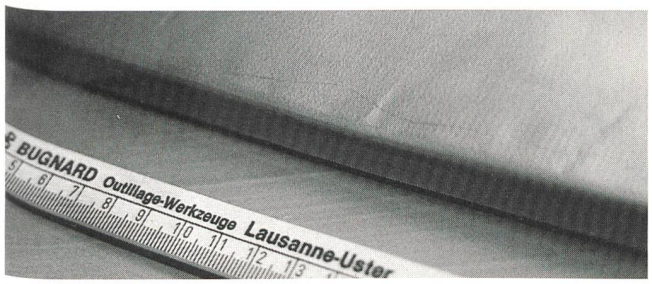


Fig. 4 Collerette de la pale numéro 1 avec revêtement de matériau composite

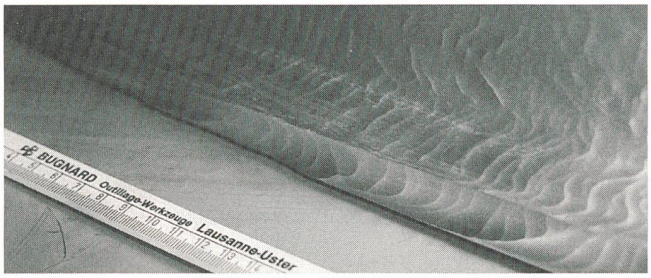


Fig. 5 Collerette de la pale numéro 8 sans revêtement

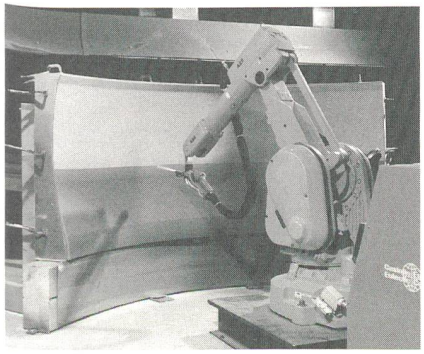


Fig. 6 Revêtement d'un élément de manteau de turbine

Wolframkarbidschichten gegen die Abnutzung von Turbinenblättern

Der vorliegende Artikel beschreibt Erfahrungen, die im Wasserkraftwerk Lavey mit Wolframkarbidbeschichtungen von Kaplan-Turbinenblättern erzielt wurden. Während unbehandelte Turbinen nach einigen Betriebsjahren deutliche Abriebschäden aufweisen, zeigen Vergleichsmessungen an vergüteten Oberflächen nur geringe Betriebsspuren. Die geringere Beanspruchung des Materials erlaubt eine Optimierung der Turbinengeometrie und führt zu verkürzten Revisionszeiten. Aufgrund ökonomischer Vorteile werden neue Turbinen in Zukunft vermehrt mit oberflächenvergüteten Materialien ausgerüstet.

die Ni-MH

Die Ni-MH Knopfzellen Akkumulatoren tragen ihren Teil zum technologischen Fortschritt bei z.B. bei Telekom, Instrumentierung, Sicherheit- Wehr- oder Medizintechnik.

Neu: Die grösste Auswahl an Ni-MH Knopfzellen der Schweiz

Batterie-Konfektionierung nach Mass und Batteriemanagement

Fragen Sie uns!

Electronica München
10.11-13.11
Stand B6.419

Leclanché

Ihr Spezialist der Speicherung elektrischer Energie

CH - 1401 Yverdon-les-Bains
Tel.: 024-447 22 83 • Fax: 024-447 22 85
www.leclanche.ch

Kostenersparnis beim Stromverbrauch

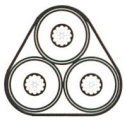
- Analysieren und beurteilen von Elektroenergieverbrauch
- Massnahmen zur Reduktion der Lastspitzen
- Richtige Gerätepalette für wirtschaftliche Lösungen
- Energiekosten-Senkung **bis 20%**
- Optimales Preis- /Leistungsverhältnis
- Über 30 Jahre Erfahrung und Fachkompetenz

zertifiziertes Qualitätssystem ISO 9001 SQS Reg.Nr. 12327-01 Système de Qualité Certifié

detron ag

Industrieautomation - Zürcherstrasse 25 - CH4332 Stein
Telefon 062-873 16 73 Telefax 062-873 22 10

Mit Sicherheit ein überlegener Vorsprung.



SEV +

Tri-Delta-Mittelspannungskabel von Studer-Kabel, das erste Produkt der Energieverteilung mit der Auszeichnung «SEV+» (SEV PLUS), garantiert Sicherheit und Qualität auf höchster Leistungsstufe.
Tri-Delta, das ausgezeichnete Mittelspannungskabel mit überlegenen Vorteilen:

- Markant verlängerte Lebensdauer durch bewährte Diffusionssperre.
- Geringere Energieverluste.
- Umweltschonende Verarbeitung; Kennzeichnung sämtlicher Kunststoffe, halogen- und schwermetallfrei.
- EMV, Störaussendung und Störempfindlichkeit markant geringer als bei konventionellen Mittelspannungskabeln.

Studer Draht- und Kabelwerk AG
CH-4658 Däniken
Telefon (+41) 062 · 288 82 82
Telefax (+41) 062 · 288 83 83

Foto: Prisma

Studer-Kabel

Der Zukunft voraus.