

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 86 (1994)  
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Fissuration d'un avant-distributeur de turbine  
**Autor:** Comte, Bernard  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940779>

#### **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:** 20.02.2026

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

# Fissuration d'un avant-distributeur de turbine

## Diagnostic et réparation

Bernard Comte

### 1. Introduction

Mis en service en 1973, l'aménagement de Lessoc est constitué par un barrage-usine à contreforts avec évidements (fig. 1), retenant 1,5 mio de m<sup>3</sup> d'eau. Sa production moyenne annuelle est de 22 GWh.

L'usine est équipée de 3 groupes hydro-électriques à axe horizontal ayant les caractéristiques suivantes:

Groupes 1 et 2:

- turbine à hélice fixe
- alternateur asynchrone
- puissance 3450 kW
- chute 20 à 24 m
- débit 16,7 m<sup>3</sup>/s

Groupe 3:

- turbine Francis réglable
- alternateur synchrone
- puissance 1635 kW
- chute 20 à 24 m
- débit 8 m<sup>3</sup>/s

Les groupes 1 et 2 sont du type bulbe «en S» avec des turbines à hélice de conception spéciale ayant des avant-directrices qui font suite à un coude à 90° placé à l'entrée de la machine selon la figure 2. Le débit est fixe et non réglable.

Dès les premières années d'exploitation de nombreux

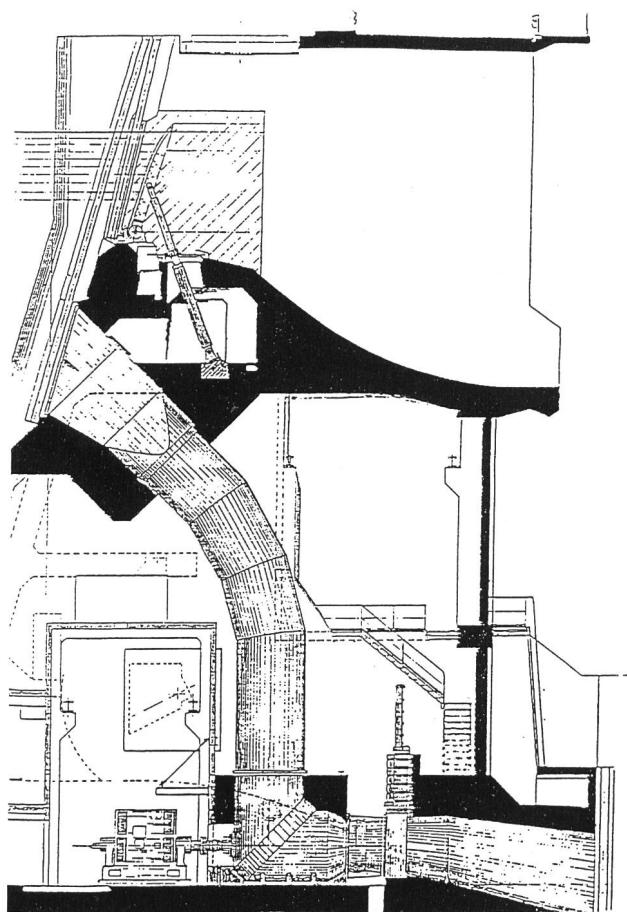


Figure 1. Plan d'ensemble.

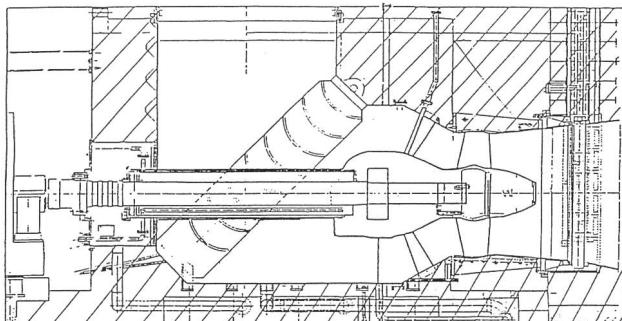


Figure 2. Coupe d'un groupe.

problèmes apparaissent sur ces groupes:

- érosion par cavitation des manteaux, du moyeu et de l'ogive de la roue
- grippage des butées
- usure anormale des glissières de vanne

Ces difficultés obligèrent à l'exploitation de procéder à plusieurs modifications et réparations.

En 1986, après 30 000 heures de fonctionnement, dans le but d'arrêter l'importante érosion par cavitation (voir figure 3), un revêtement de protection fut appliqué par projection d'acier inoxydable. L'avant-distributeur, le corps et le manteau du bulbe, le moyeu et l'ogive de la roue devaient être traités avec le procédé Projacier en qualité PA2.

Lors de l'exécution des travaux on remarqua une importante fissure à la liaison d'une aube côté moyeu (voir figure 4). Un contrôle par liquide pénétrant révéla d'autres fissures aux attaches de plusieurs aubes, aussi bien du côté manteau que du côté moyeu.

La réparation de ces fissures fut effectuée par soudure, selon un procédé traditionnel.

Après 1000 heures de fonctionnement un nouveau contrôle permit de constater que de nouvelles fissures s'étaient formées sur la plupart des zones réparées et qu'il y avait même une extension à d'autres aubes.

Devant l'étendue et la gravité des dégâts constatés, les Entreprises Electriques Fribourgeoises décidèrent de prendre conseil auprès d'un exploitant spécialisé, l'Électricité de France (EDF).

### 2. Analyse de la situation

Une première analyse du groupe et plus particulièrement de l'avant-distributeur par les spécialistes d'EDF laissa entrevoir que les problèmes rencontrés étaient certainement d'ordre vibratoire, les avant-directrices se présentant sous la forme d'aubes minces et élancées (figure 5).

Un contrôle magnétoscopique précis montra que 15 aubes sur 24 étaient partiellement fissurées (figure 6), certaines étant même complètement fissurées. A noter que les aubes sont en acier coulé et qu'elles sont soudées après encastrement dans le manteau extérieur et au centre directement sur le moyeu.

Sur la base de ces premiers renseignements, l'approche du problème a été conduite par la Division technique générale d'EDF (DTG) en deux étapes:

- l'une portant sur l'analyse du comportement dynamique propre du distributeur en air permettant de situer les fréquences propres
- l'autre portant sur le suivi des contraintes supportées par les directrices lors de toutes les phases de fonctionnement du groupe, afin de rechercher des corrélations



Figure 3.  
Erosion par  
cavitation d'une  
aube.



Figure 4.  
Fissure à  
l'attache d'une  
aube côté  
moyeu.

entre les sollicitations mesurées et d'autres grandeurs caractéristiques du fonctionnement

Le service «Essais hydrauliques» de la DTG a effectué les travaux suivants:

- relevé des premières fréquences propres de flexion de chacune des avant-directrices en air
- analyse modale en air des aubes n1, 2 et 3
- estimation des fréquences propres en eau
- analyse des contraintes supportées par les aubes lors du fonctionnement du groupe

Les résultats obtenus montrent (figure 7) que les aubes ont un premier mode de flexion vers 420 Hz et qu'avec la masse ajoutée par l'eau il se situe à 300 Hz.

Lors du démarrage et de l'arrêt du groupe, on constate l'apparition de fluctuations de contraintes de l'ordre de 35 MPa et l'examen fréquentiel des contraintes mesurées montre plusieurs composantes situées entre 290 et 300 Hz pour un débit inférieur au débit nominal.

L'accrochage des vibrations a donc eu lieu pendant les 120 secondes des 15 000 démarrages et arrêts enregistrés sur le groupe depuis sa mise en service en 1973. Le nombre de cycles subis par l'avant-distributeur est voisin de  $5,5 \times 10^8$ .

#### Rappel

Un tel phénomène est possible lorsqu'il y a concordance

entre la fréquence propre de flexion en eau des avant-directrices et la fréquence des détachements tourbillonnaires (tourbillons de Karman) ou fréquence de Strouhal:

$$F_p \# F_s$$

$$\text{avec } F_s = \frac{S V}{d}$$

$F_s$  = fréquence de Strouhal

$F_p$  = fréquence du premier mode de flexion

$S$  = nombre de Strouhal

$V$  = vitesse de l'eau

$d$  = épaisseur du sillage au bord de fuite

Plusieurs essais ont été effectués pour supprimer cet accrochage de vibrations:

- augmentation de la fréquence propre par liaison entre deux aubes
- modification de la fréquence de Strouhal en agissant sur le bord de fuite (baguette de 3 mm)

Le résultat des différentes mesures et des nombreux essais effectués a permis de donner les conclusions générales suivantes:

- Les fissures constatées au niveau de l'avant-distributeur du groupe ont progressé sous l'influence des vibrations de flexion des avant-directrices suivant leur premier mode de flexion.
- Ce phénomène est de nature hydro-élastique.
- Ses conséquences sur les contraintes de flexion supportées par les aubes peuvent être atténuées de 60% en diminuant le bord de fuite des avant-directrices.

#### 3. Réparation

Les causes de la fissuration des avant-directrices étant connues, une procédure de réparation pouvait être envisagée.

La solution proposée par EDF qui a été retenue est décrite ci-après:

- meulage du bord de fuite des aubes à 25 mm, talon 1 mm
- affouillement des fissures (arc-air ou meule suivant les cas) selon procédure détaillée
- contrôle du fond de fouille par ressage
- soudage court (env. 40 mm) et martelage sur cordons rouges (3 à 4 s)

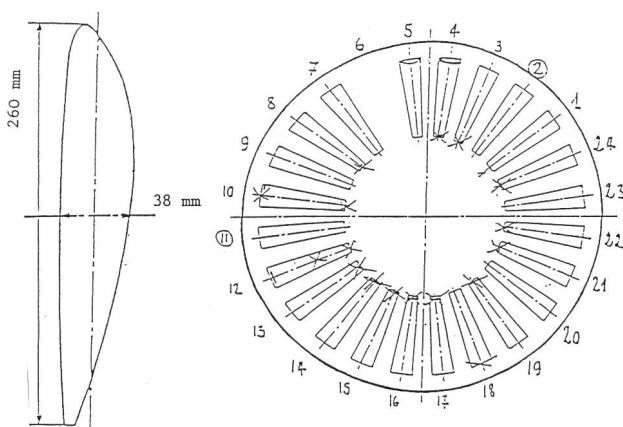


Figure 5. Détail d'une aube.

Figure 6. Avant-distributeur.

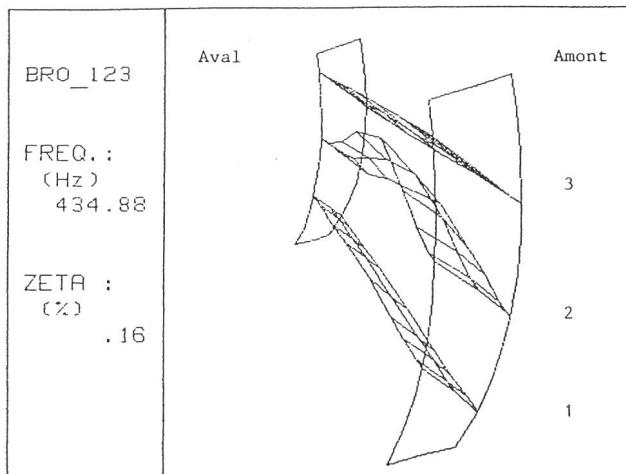


Figure 7. Premier mode de flexion.

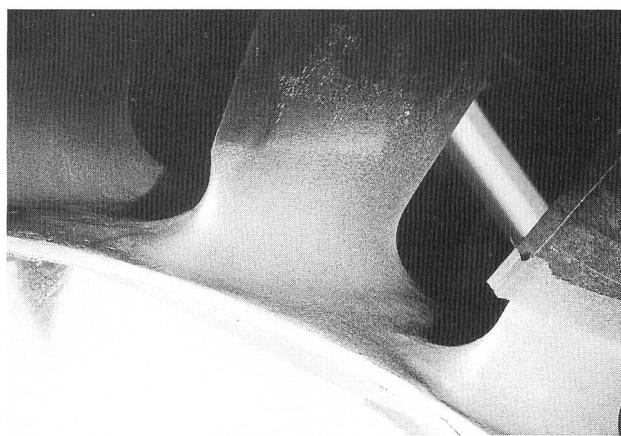


Figure 8. Zone 'grenaille' du pied d'aube.

- finition des bords d'attaque et de fuite par soudage en long
- meulage de finition des soudures
- grenaiillage de précontrainte
- peinture de protection
- usinage en place de la portée du cône support du joint d'arbre

A noter que toutes ces opérations font l'objet de descriptifs très détaillés qui définissent toutes les consignes et les modes opératoires afin de garantir une réparation dans les règles de l'art.

Les travaux ont été réalisés par le personnel EEF sous contrôle de la DTG. A cet effet, deux agents des EEF ont été spécialement formés aux ateliers EDF de Venthon sur une maquette 1:1 du groupe de Lessoc permettant d'effectuer des essais de soudage et martelage en toutes positions. Le grenaiillage de précontrainte a été effectué sur toutes les zones traitées des attaches d'aubes (figure 8).

#### 4. Contrôle après réparation

Différents contrôles ont été effectués après la réparation afin de vérifier l'évolution de l'état du groupe en fonction des heures de fonctionnement. On procéda aux contrôles suivants:

- après 500 heures de fonctionnement, contrôle visuel
- après 1000 heures de fonctionnement, contrôle magnétoscopique des soudures et recherche de fissures

- après 3000 heures de fonctionnement, contrôle général du groupe, recherche de fissures, contrôle des bords de fuite et zones de cavitation

Les différents contrôles et examens ont permis de constater la parfaite réussite de la réparation entreprise. Sur cette base, la décision a été prise d'effectuer les mêmes travaux sur le deuxième groupe dont l'état était pratiquement identique à celui du premier groupe avant la réparation.

Les derniers contrôles effectués au mois de décembre 1992 confirment la parfaite réussite des réparations entreprises sur les deux groupes.

#### 5. Coût des travaux

L'ensemble des travaux de réparation comprenant:

- recherche, essais et diagnostic
  - méthodologie de réparation
  - réparation des groupes 1 et 2
  - contrôles détaillés
- s'est élevé à 650 000 francs.

#### 6. Conclusion

L'intérêt des approches expérimentales globales couramment utilisées par EDF-DTG doit être relevé. De telles approches répondent aux préoccupations des exploitants et sont pluridisciplinaires, elles s'appuient sur des examens de type métallurgique, mécanique, hydraulique et font largement appel à la mesure in situ en ambiance industrielle.

Le cas de Lessoc en apporte la preuve. Les deux groupes bulbe étaient dans un état critique. Bien que n'ayant guère plus de 30 000 heures de marche, leur vie restante était hypothétique. Grâce aux investigations et recherches faites, la réparation a été possible et elle permettra de prolonger notablement la durée de vie de ces deux turbines.

#### Littérature consultée

- J. L. Ballester et Ph. Richet «Vibrations hydroélastiques de l'avant-distributeur d'un groupe bulbe», journées de l'hydraulique Lyon 1989.
- A. Chaubert, «Vibrations dues aux tourbillons de Karman observées sur des turbines», symposium Interlaken 1986, Verbandsschrift Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband 47.

Adresse de l'auteur: *Bernard Comte, ing. ETS, chef de la division exploitation et production, Entreprises Électriques Fribourgeoises, EEF, CH-1700 Fribourg.*