SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE

Comité technique — Session n° 128 — Paris — 12 et 13 juin 1985

CERTAINS ASPECTS DE L'HYDROÉLECTRICITÉ DE FAIBLE PUISSANCE
QUELQUES ÉTUDES DE CAS DE TRANSITOIRES HYDRAULIQUES

Problèmes rencontrés à la mise en service de microcentrales

Problems encountered for operation of small power plants

J. Blanc M. Tuillier

Service « Electricité, mécanique, régulation »
Société du Canal de Provence

La Société du Canal de Provence exploite depuis 1984 deux microcentrales installées sur ces ouvrages de transport artificiels.

Depuis leur mise en service elle a eu à faire à un certain nombre de problèmes : cavitation dans la roue d'une turbine Francis, fonctionnement en moteur d'une génératrice avec détérioration des roulements de butée, défaut sur ligne E.D.F., réglage des actions du régulateur de commande des directrices (fréquence et durée), coincement de la vanne aval.

Ces incidents ont été en partie corrigés et ont permis de mesurer le rendement en temps d'une microcentrale pendant la période de fonctionnement semi-industriel.

Ces résultats peuvent être extrapolés à la période de fonctionnement industriel.

The Société du Canal de Provence has been operating two small power plants installed on this artificial waterway since 1984. A number of problems have arisen since they were placed in service : cavitation in the impeller of a Francis turbine, operation of a motor as generator with damage to the thrust bearings, fault on Electricité de France transmission line, adjustment of the action of the guide vane governor (frequency and duration), sticking of the downstream valve.

These problems have been partially corrected and allow the efficiency in time of a small power station to be measured during the semi-industrial operating period.

These results can be extrapolated to the industrial operating period.

PROBLEMES RENCONTRES A LA MISE EN SERVICE DES MICRO-CENTRALES

INTRODUCTION -

Encouragée par les incitations aux économies d'énergie, la Société du Canal de Provence a voulu récupérer les chutes d'eau disponibles sur ses ouvrages pour produire de l'électricité. Elle a ainsi envisagé tout un programme de réalisation de micro-centrales.

En 1985, deux sont en service, une en construction et une quatrième en cours de dévolution aux entreprises.

Plusieurs incidents se sont produits au cours des deux premières mises en service. Ils font l'objet du rapport ci-joint. Ils mettent en évidence le fait que le matériel utilisé n'est pas toujours fiable et qu'il est nécessaire de prévoir une période de mise au point au cours de laquelle la disponibilité de l'usine et la production ne sont pas encore les valeurs théoriques que l'on a tendance à prendre en compte au niveau des projets.

1. PRESENTATION DES MICRO-CENTRALES REALISEES -

La Société du Canal de Provence construit et exploite un "ouvrage" hydraulique à buts multiples qui dessert en eau brute un périmètre agricole de 60.000 ha, plusieurs agglomérations dont Marseille et Aix-en-Provence et des industries de la périphérie de l'Etang de Berre.

1.1. - Micro-centrale de Bimont

Le barrage de Bimont situé au Nord-Est d'Aix-en-Provence a pour rôle d'assurer une compensation saisonnière entre les apports amont et les besoins aval.

Il est constitué par une voute en béton dont le couronnement est à 82,50 m au-dessus du terrain naturel.

Une micro-centrale dont les caractéristiques sont données ci-après a été installée en pied du barrage en parallèle avec les vannes de restitution :

- . débit d'armement : 2,3 m³/s
 - . chute brute : 53 m
 - . puissance maximale brute : 1.195 KW
 - . puissance maximale disponible :
975 KV
 - . hauteur moyenne annuelle turbinée :
42 m
 - . débit moyen annuel turbiné :
1,27 m³/s
 - . puissance normale disponible : 406 KW
 - . productible annuel : 3.557.000 KWh
- écoulés en totalité sur le réseau EDF

La turbine est de type Francis (diamètre de la volute : 3,10 m et de la roue 0,70 m ; vitesse de rotation de la roue 750 t/mn, accouplement direct à une génératrice asynchrone).

En ce qui concerne la partie hydraulique de l'installation, il convient de noter que :

- . la charge amont est comprise entre 45 et 25 mètres,
- . l'axe de la turbine est calé à 1,55 m au-dessus du plancher de la salle des machines et entre 1,70 et 2,30 m au-dessus du plan d'eau aval,

. l'aspiration est un cône de 3,40 m de longueur et de section circulaire DN 640 mm à l'entrée et DN 1.000 mm à la sortie.

1.2. - Micro-centrale de RIANs

Le brise-charge de Rians est placé entre la sortie d'une galeire en charge et l'amont d'un canal à surface libre. Cet ouvrage a pour rôle de dissiper la charge excédentaire dans un matelas d'eau. Il est constitué de deux orifices équipés de vannes secteurs.

L'une de ces passes a été utilisée pour installer deux turbines à la place de la vanne secteur qui l'équipait initialement et la seconde, maintenue en service, pour transiter les débits complémentaires.

Les caractéristiques principales de la micro-centrale sont les suivantes :

- . débit d'armement : 2,8 m³/s actuellement puis doublement

- . chute brute : 6,60 m
 - . puissance maximale brute : 181 KW
 - . puissance maximale disponible : 140 KW
 - . débit moyen annuel turbiné : 1,4 m³/s
 - . puissance normale disponible : 74 KW
 - . productible annuel : 640.000 KWh
- écoulés sur le réseau E.D.F.

La turbine installée est de type hélice à pales fixes (diamètre de la roue 800 mm vitesse 500 t/mn, accouplement à une génératrice asynchrone par l'intermédiaire d'un renvoi d'angle multiplicateur de rapport 2).

Du point de vue hydraulique, la turbine fonctionne sous une charge d'eau peu variable comme le montre le schéma ci-dessous :

et elle fournit un débit sensiblement constant.

La mise en route et l'arrêt de la turbine sont assurés par l'ouverture et la fermeture d'une vanne située à son aval.

2. PROBLEMES RENCONTRES SUR LA MICRO-CENTRALE DE BIMONT -

Deux problèmes ont dû être résolus lors de la mise en service de la micro-centrale de Bimont : un problème de cavitation et un de réglage des vitesses de manoeuvre des directrices.

2.1. - Cavitation à l'aval de la zone de la turbine

Au cours des essais de montée en puissance de la machine et après couplage au réseau, un phénomène de vibration est apparu à partir de 25 % d'ouverture des directrices, correspondant à un débit de 0,70 m³/s alors que le débit nominal de la machine est de 2,3 m³/s. Le phénomène s'amplifiait avec l'augmentation du débit et l'essai a dû être interrompu compte tenu de l'amplitude des vibrations engendrées.

Il était surtout sensible au niveau de la conduite d'alimentation de la turbine et dans un premier temps il a été décidé de :

1.) rigidifier cette conduite en réalisant deux ancrages dans le génie civil (mur du barrage) de façon à limiter l'amplitude des vibrations

2.) mettre en place des guides eau en tôle forte dans le coude à 90° situé à l'amont de la turbine de façon à redresser l'écoulement à l'entrée de celle-ci

3.) vérifier qu'il n'y avait pas de corps étranger coincé dans le distributeur de la turbine. Cette dernière vérification n'a pas été inutile car un morceau de madrier en bois a été extrait.

Il convient d'ailleurs de noter que les précautions à prendre à ce niveau ne doivent pas être négligées car les conséquences peuvent être graves. Ainsi, une installation semblable à celle de Bimont a été gravement endommagée au cours des premiers jours de fonctionnement parce qu'une découpe de tuyau tombée dans la conduite forcée au cours de la réalisation d'un piquage, avait été entraînée à travers les aubes de la turbine et il a fallu changer la roue. Depuis, le maître d'ouvrage a réalisé un piège à objet à l'entrée de la turbine.

Ces interventions et aménagements réalisés, les essais ont été repris. Malheureusement, le phénomène de vibration se déclenchait toujours aux alentours du même débit.

Les vibrations étaient cependant moins importantes du fait de la plus grande rigidité du système et le phénomène a pu être observé de façon plus précise et localisé. Il s'agissait d'un phénomène de cavitation qui se produisait à l'aval de la roue de la turbine dans le coude de l'aspirateur.

Ce phénomène est lié aux turbines de type Francis et peut être imputé à :

a.) la flexibilité angulaire des aubes du rotor qui crée des vorticités variables à l'entrée de l'aspirateur lorsqu'on est loin du point de fonctionnement optimum,

b.) la présence du coude de l'aspirateur qui crée d'importants effets non axisymétriques dans l'écoulement aval.

Il y a création d'un vortex (torche) dont la forme et les dimensions dépendent non seulement du régime hydrodynamique mais également du niveau absolu de la pression qui règne dans l'aspirateur.

La solution retenue par le turbinier pour supprimer le phénomène a consisté à mettre en place à l'entrée du coude de l'aspirateur et dans son axe un tube percé de plusieurs orifices en liaison avec l'atmosphère par l'intermédiaire d'un clapet d'entrée d'air.

A faible charge l'air est aspiré à travers ce tube, forme avec le liquide une émulsion et évite ainsi le déclenchement de la cavitation. L'aspiration de l'air se fait entre 25 et 35 % d'ouverture des directrices. Au-delà de cette valeur, l'écoulement redevient correct.

Le dispositif installé permet donc de passer la zone critique sans que le phénomène de cavitation se déclenche.

Ajoutons que la zone des débits correspondant à 25 - 35 % d'ouverture des directrices est très rarement concernée par le fonctionnement de l'usine en régime permanent. Mais, au cours de la mise en service, il n'avait pas été jugé prudent de pousser la machine au-delà de ces débits sans avoir expliqué et contrôlé le phénomène.

2.2. - Réglage de la vitesse de manoeuvre des directrices

Les directrices sont manoeuvrées par un vérin à huile en ouverture et par un contre-poids à la fermeture afin d'avoir une sécurité d'arrêt de la machine.

Le calage en position de ces directrices est assuré par un régulateur qui commande les électro-distributeurs d'admission d'huile dans le vérin pour l'ouverture et de mise en fuite pour la fermeture.

Le régulateur compare la position réelle des directrices à la valeur souhaitée (point de consigne) et corrige l'écart constaté. Il convient que l'ajustement des deux valeurs se fasse par petites impulsions de manière à ne pas engendrer de régime instable en changeant le signe de l'écart à chaque action et en sortant de la plage de tolérance de la consigne.

Pour cela, il a été nécessaire de régler les "actions" du régulateur de façon à obtenir :

- . d'une part des vitesses d'ouverture et de fermeture à peu près égales,
- . et d'autre part des vitesses de manoeuvre n'entraînant pas des variations de débits trop importantes à chaque commande.

Ces réglages ont nécessité un nombre de manoeuvres assez important pour arriver à obtenir des vitesses correctes.

3 - PROBLEMES RENCONTRES SUR LA MICRO-RALE DE RIANS

3.1. - Mauvais fonctionnement de la vanne aval

Si la mise en service de la micro-centrale s'est effectuée sans difficultés majeures, un premier incident est apparu durant le premier mois d'exploitation : la vanne aval, qui commande la mise en route et l'arrêt (volontaire ou sur incident) de la turbine a rapidement présenté des blocage en début d'ouverture.

Les causes du phénomène ont été assez longues à trouver et plusieurs hypothèses ont successivement été avancées en fonction des contrôles réalisés.

La première hypothèse mettait en cause le mauvais dimensionnement du vérin de manoeuvre de la vanne. Le calcul des efforts sur la pelle de la vanne ont été repris et ils ont confirmé le bon dimensionnement de celui-ci. Par ailleurs, un essai a été fait en augmentant d'un tiers sa pression de fonctionnement. Cet essai s'est avéré négatif, des blocages se produisant toujours à l'ouverture.

La deuxième hypothèse avancée concernait le réglage des joints d'étanchéité de la vanne. En effet, la pelle de la vanne est équipée, à sa périphérie, de joints type "note de musique" en néoprène qui, en contact avec les plats métalliques fixés sur le carter, assurent l'étanchéité amont et aval.

Ces joints étant réglables, un écartement trop grand de ceux-ci pouvait entraîner des frottements trop importants entre les pièces fixes et les joints avec comme conséquence les blocages constatés.

Le contrôle du réglage de ces joints a nécessité la sortie de la pelle après démontage de la partie supérieure du carter. L'écartement des joints étant correct, une troisième idée a été émise : celle d'un mauvais équerrage du carter de la vanne.

Cette vérification a nécessité l'intervention de plongeurs car d'une part le carter est noyé sur les deux tiers de sa hauteur dans le béton de l'ouvrage et d'autre part la mise hors d'eau de l'ouvrage n'était pas possible pour des raisons d'exploitation.

Un défaut d'équerrage de 3 degrés est apparu entre les glissières verticales et le seuil horizontal. Pour corriger ce défaut de construction, l'entreprise a retailé des plats de glissement de façon à ce que la face en contact avec le joint soit perpendiculaire au seuil horizontal.

Si cet incident a perturbé l'exploitation de la micro-centrale pendant deux mois environ, il n'a jamais totalement empêché son fonctionnement.

Par contre, le deuxième incident a eu des conséquences beaucoup plus graves.

3.2. - Fonctionnement de la génératrice en moteur

Un arrêt de la micro-centrale a eu lieu lors d'un violent orage.

L'arrêt a été provoqué d'une part par un fonctionnement normal du relais de protection et d'autre part par une coupure de l'alimentation en courant continu de ce relaiage.

Après acquittement du défaut, lors de la remise sous tension de la source continue, la génératrice a immédiatement démarré en moteur sans que le relais de retour de puissance ait une action.

Le personnel effectuant la mise en route a alors stoppé rapidement l'installation (ordre de la minute) et il est apparu que le relais auxiliaire de commande du contacteur de couplage de la génératrice au réseau avait eu des contacts soudés par la surtension provoquée par la foudre et avait donné un ordre de couplage immédiat. Cet incident a été réparé mais le démarrage de la génératrice en moteur avait entraîné une détérioration du multiplicateur (situé entre l'hélice de la turbine et de la génératrice) et des pales de l'hélice.

Cet incident mécanique s'explique de la façon suivante : en fonctionnement normal, l'écoulement de l'eau crée une force sur chaque pale de l'hélice équivalente à :

- une composante axiale sur l'hélice ($F_{ah} = 3.000 \text{ daN}$: données du constructeur)

- une composante tangentielle sur chaque pale provoquant la rotation de l'arbre,

La somme des efforts axiaux $F_a + F_{ah}$ est équilibrée par la bague fixe de la butée (3) à 2 rangées de rouleaux cylindriques : réaction R_b .

Lors du fonctionnement accidentel, la force axiale F_{ah} est inversée (poussée de l'hélice sur l'eau), et R_b n'existe plus puisque la butée à deux rangées de rouleaux n'assure sa fonction que dans un seul sens.

Par ailleurs, le couple de démarrage en fonctionnement accidentel est nettement supérieur à celui fourni par l'hélice en fonctionnement normal.

Le montage des roulements n'ayant pas été prévu pour recevoir une poussée axiale importante orientée de droite à gauche sur la figure ci-dessus, le fonctionnement en moteur de la génératrice a entraîné la casse du roulement repère 4 qui a eu pour conséquence secondaire une détérioration de l'arbre primaire et un frottement des pales de l'hélice sur le corps de la turbine.

Afin qu'un tel incident ne se reproduise plus, le roulement à rouleaux cylindriques a été remplacé par un roulement à rouleau conique susceptible de supporter une poussée inverse sans dommages.

Cet incident a immobilisé la micro-centrale pendant trois mois et entraîné une perte de recette importante.

3.3. - Sensibilité des relais de protection E.D.F.

Parmi les relais de protection de découplage de la génératrice imposés par E.D.F. (protection réseau) nous avons :

- un relais à maximum de tension homopolaire à action instantanée,
- un relais à maximum et à minimum de tension réglable à $\pm 15\%$ de la tension nominale U_n et à action instantanée.

La micro-centrale est raccordée au poste source par une ligne moyenne tension de grande longueur (plusieurs dizaines de km) cheminant dans des zones boisées. Sur cette ligne, se produisent 2 types de défauts fugitifs :

- baisses de tension instantanées,
- mise à la terre accidentelle.

Ces défauts ont pour conséquence de découplage de la génératrice, l'arrêt et la remise en route de la micro-centrale. Pour supprimer cet inconvénient, une protection assurée avec les relais suivants aurait été plus judicieuse :

- en protection instantanée (protection de base) :

- . un relais à minimum de fréquence réglé à 49,5 Hz,

- . un relais à maximum de fréquence réglé à 50,5 Hz,

- . un relais à minimum de tension réglé à 0,25 U_n ,

- . un relais à maximum de tension réglé à 1,15 U_n ,

- en protection temporisée de 1 à 1,5 seconde (protection de secours) :

- . trois relais à minimum de tension réglé à 0,85 U_n ,

- . un relais de tension homopolaire réglable de 3 % à 30 % de U_n .

Ces relais présentent, par rapport aux précédents, l'avantage d'être temporisés et de ne pas découpler le réseau sur défaut fugitif.

Par ailleurs, le relais à minimum de tension est réglé beaucoup plus bas, 0,25 U_n , au lieu de 0,85 U_n .

Cette solution est envisagée dans la GTE 2666 (protection type 1-3).

Une démarche doit être entreprise auprès d'E.D.F. pour faire adopter ce type de protection.

4 - CONCLUSION -

Les mises en service de micro-centrales nécessitent un certain nombre d'opérations :

- réglage du relais de protection, des vitesses de manoeuvre des organes hydrauliques (directrices vannes, ...),

- essais des séquences de démarrage et d'arrêt sur décision ou sur incident.

Ces mises en service peuvent ainsi durer plusieurs semaines. Une fois les installations mises au point, les temps d'arrêt des micro-centrales est faible.

Ainsi, la micro-centrale de Bimont, qui a été mise en service en juin 1984, a fonctionné jusqu'à ce jour 6.050 heures sur 6.528 au total, ce qui correspond à un taux de rentabilité de 92,7 %.

Celle de Rians a dû être arrêtée pour recharger la roue, remplacer l'arbre et les roulements du renvoi d'angle ; en tenant compte de cet incident, la disponibilité de cet équipement a été seulement de 42,5 % ; ceci permet de mesurer l'importance qu'ils peuvent revêtir vis-à-vis des recettes attendues.

•
• •
•

Discussion

Président : M. S. SEYS

M. MEGNIN rappelle d'abord que la règle générale est de monter les machines horizontales avec une contre-butée capable de reprendre des efforts sensiblement égaux à ceux de la butée et d'installer un dispositif de sécurité électrique sur la vanne aval.

Sur une question de *M. MEGNIN*, *M. BLANC* indique que la perte de production suite à l'incident survenu sur la micro centrale de Rians a été de l'ordre de 60 000 F, soit 1/4 de la production annuelle, sensiblement.

Concernant les problèmes de vibration sur la centrale de Bimont, *M. BONGRAND* rappelle que le phénomène de formation de torches sous les roues des turbines Francis à charge partielle est bien connu ainsi que la solution consistant à injecter de l'air sous la roue.

Cette solution aurait pu être l'une des premières envisagées.

M. RESSOT demande l'effet de l'admission d'air sur le rendement.

M. BLANC précise que les aspects productivité et rendement n'ont pas été examinés, le problème à résoudre en priorité étant la suppression des vibrations. Il convient toutefois de noter que l'entrée d'air est importante seulement à débit partiel correspondant à un point de fonctionnement transitoire. Le fonctionnement normal est la pleine ouverture.

M. AMBLARD fait remarquer que l'on coupe généralement l'admission d'air à forte charge. Quand cette admission d'air a lieu, elle entraîne des pertes de rendement de l'ordre de 2 %.