



PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES

POMPE FONCTIONNANT EN TURBINE AVEC RÉGLAGE DU DÉBIT (PAT-FRANCIS)

1^{ÈRE} PARTIE:

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Rapport final – février 2007

Auteur:

Jean-Marc CHAPALLAZ

Ingénieur EPFL/SIA

Rue des Jaquettes

CH-1446 BAULMES

E-MAIL: jmceng@bluewin.ch

WEB: <http://mypage.bluewin.ch/jmchapallaz/>



Résumé:

Les pompes utilisées comme turbine trouvent leur application dans les microcentrales hydrauliques. Cependant, leur application est limitée car elles ne peuvent travailler qu'à débit fixe ou peu variable.

Dans cette étude, l'auteur propose de transformer une pompe utilisée comme turbine (PAT) en turbine Francis, dite PAT-Francis, en remplaçant la bache spirale de la pompe par une nouvelle bache équipée d'un distributeur à aubes réglables tel qu'utilisé sur les turbines Francis.

La publication comporte quatre parties:

1^{ère} partie: Présentation générale – Exemples d'utilisations de pompes en turbines – Caractéristiques et limites de fonctionnement d'une PAT - Concept proposé pour une PAT à débit réglable, ou PAT-Francis

2^{ème} partie: Présélection de la pompe inversée pour fonctionnement en turbine selon la méthode statistique développée par l'auteur - Détermination du point de fonctionnement optimum et des courbes caractéristiques.

3^{ème} partie: Concept et pré-dimensionnement du distributeur à pales réglables adapté sur une pompe de série

4^{ème} partie: Pré-dimensionnement de la nouvelle bache spirale à adapter sur la PAT-Francis et propositions pour une construction simplifiée.

L'étude est illustrée par les exemples des pompes fonctionnant comme turbines à débit fixe dans deux microcentrales hydrauliques réalisées sous la direction de l'auteur.

Abstract:

Standard pumps are used as turbines in micro-hydropower plants. However their application is limited since they can only operate at fixed or slightly variable flow.

In his study, the author proposes to transform a pump used as turbine (PAT) in a turbine equipped with variable guide vanes, similar to a Francis turbine. This machine is named PAT-Francis. It can be realised by taking away the existing spiral casing of a standard pump and replacing it through a guide vane system with a new spiral.

The publication is divided into 4 parts:

1st part: General presentation – Examples of applications of pumps as turbines – Characteristic curves and operation limits of a PAT – Proposed concept for a PAT with variable flow, or PAT-Francis

2nd part: Preliminary selection of a pump to be used as a turbine, according to a statistical method developed by the author – Determination of the optimal operating point and characteristic curves.

3rd part: Concept and preliminary dimensioning of a variable guide vane system for a standard pump used as a turbine

4th part: General lay-out of a new spiral casing to be adapted on the PAT-Francis and proposals for a simplified construction.

The study is illustrated with the examples of two pumps used as fixed flow turbines in a micro-hydropower plant realized under the direction of the author

Date: février 2007

Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Adresse postale: CH-3003 Berne

Tél. +41 31 322 56 11, fax +41 31 323 25 00 www.bfe.admin.ch

Responsable OFEN: bruno.guggisberg@bfe.admin.ch

Numéro de projet: 101867

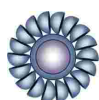


Table des matières :	page
1. Introduction	3
2. Exemples d'installations où des pompes sont utilisées comme turbine	4
2.1 Turbinage / pompage entre deux réservoirs	
2.2 Station de réduction de pression entre deux réseaux de distribution	
3. Caractéristiques de fonctionnement d'une pompe et de la pompe en turbine	6
4. Limites d'utilisation des pompes en régime turbine (PAT)	7
5. Solution proposée – PAT à débit réglable	8
6. Exemple de pompe-turbine à débit réglable	9
7. Recherches et publication de l'auteur	10

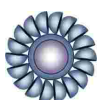
1. Introduction

Les pompes de série utilisées comme turbine trouvent leur application dans les microcentrales hydrauliques.

Il s'agit d'une technique séduisante, car l'utilisation de pompes fabriquées en grande série, avec des modifications mineures, est très avantageuse du point de vue prix.

Cependant cette technique a ses limites, en particulier par le fait qu'une pompe utilisée comme turbine ne peut fonctionner, avec un bon rendement, qu'à un débit constant ou peu variable.

Ce rapport présente un développement basé sur l'utilisation de pompes de série qui sont équipées d'un distributeur réglable afin de pouvoir adapter la machine à des débits d'eau variables. Cette transformation rend ce type de machine hydraulique comparable, du point de vue fonctionnement, à une turbine de type Francis, mais d'un coût sensiblement inférieur.



2. Exemples d'installations où des pompes sont utilisées comme turbine

2.1. Turbinage / pompage entre deux réservoirs

Un réseau de distribution d'eau séparé en deux sous-réseaux avec des niveaux de pression différents peut être alimenté par deux réservoirs (voir schéma ci-dessous).

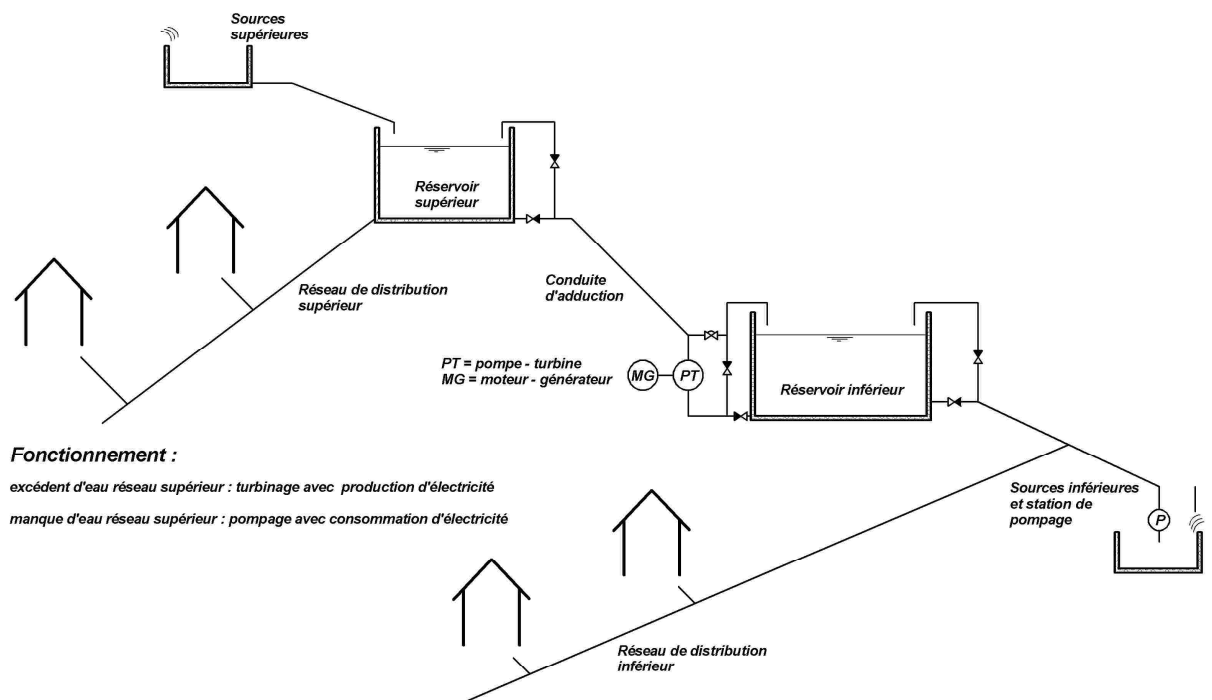
Dans un tel cas, il y échange d'eau entre les deux réservoirs.

Lorsque le réseau supérieur alimente le réservoir inférieur, la différence de pression est détruite par une vanne de dissipation ou en récupérant l'énergie hydraulique par une mini-turbine. Une pompe inversée fonctionnant par éclusage à débit constant est tout-à-fait adaptée pour ce type d'exploitation. Cette solution technique n'est en revanche pas applicable si l'exploitant désire varier les débits.

Lorsque des sources alimentent le réseau inférieur, le réservoir supérieur sera rempli par pompage.

Dans le cas où les échanges sont saisonniers, pompage durant quelques mois et turbinage, ou destruction d'énergie, durant d'autres périodes, une même machine peut fonctionner en turbine et en pompe, mais à des vitesses de rotation différentes, ce qui ne représente pas un obstacle technique majeur (moteur à deux vitesses ou variateur de fréquence).

La machine étudiée dans le cadre de ce projet peut satisfaire à ce mode de fonctionnement.



Réseau de distribution d'eau potable à deux niveaux de pression avec pompe - turbine



2.2. Station de réduction de pression entre deux réseaux de distribution

Lorsque deux réseaux travaillent à des niveaux de pression différents et sont interconnectés sans volume tampon dans le réseau inférieur, la différence de pression est détruite dans des vannes régulatrices de pression aval (régulateurs de pression aval)

Dans de tels cas, il est possible de récupérer l'énergie hydraulique par une mini-turbine, mais il faut tenir compte que les débits sont variables en fonction des fluctuations de la consommation.

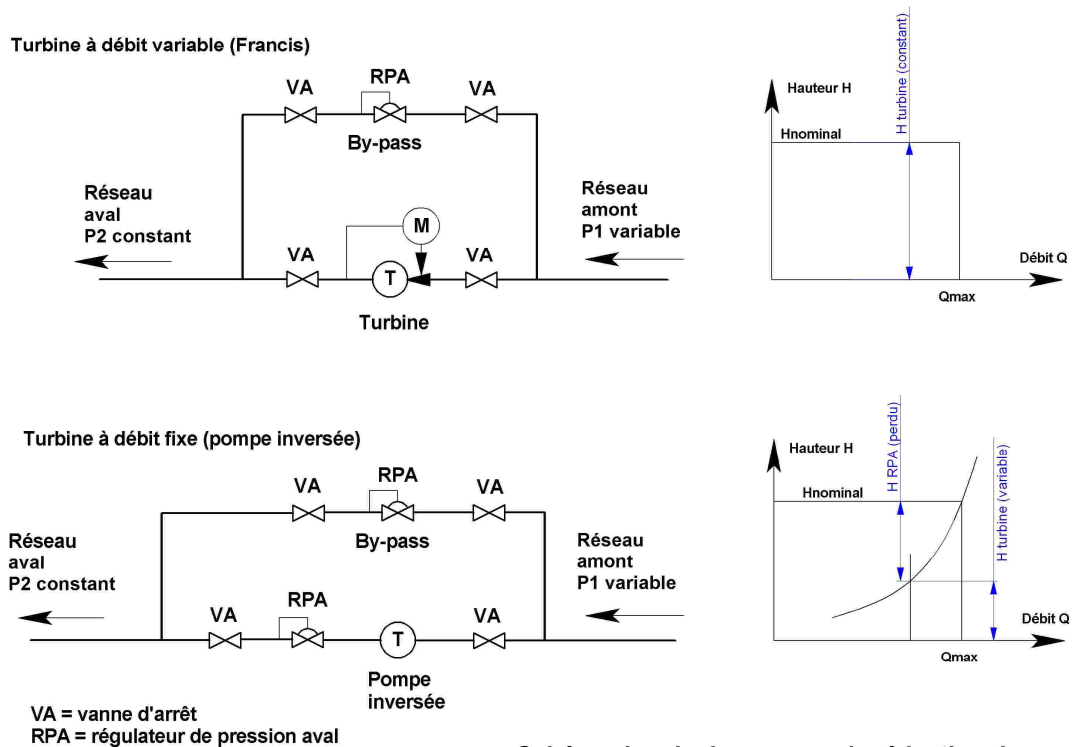
Il est possible d'équiper la station de réduction avec une pompe inversée (PAT), dont le coût est intéressant, mais au prix d'une perte d'efficacité.

La pompe inversée n'est en effet pas réglable, et un régulateur de pression aval devra être intercalé en série dans le circuit pour adapter le système aux variations de débits. Cette solution ne pose pas de problème technique compliqué, il faut cependant examiner avec attention les phénomènes transitoires (coup de bélier).

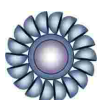
La deuxième possibilité est l'équipement de la station de réduction avec une turbine dont le débit peut être réglé. Deux options techniques sont envisageables:

- turbine Pelton à contre-pression (roue dénuyée par injection d'air comprimé), technique encore à l'état expérimental
- turbine Francis, machine coûteuse pour les petites puissances

Le présent projet entend proposer une solution adaptée pour ce genre de projet.



**Schéma de principe groupe de réduction de pression avec turbine de récupération
Comparaison turbine FRANCIS et pompe inversé (PAT)**



3. Caractéristiques de fonctionnement d'une pompe et de la pompe en turbine

En régime turbine, les paramètres de fonctionnement sont les suivants:

- la vitesse de rotation en turbine est opposée à celle en pompe
- le sens de l'écoulement en turbine est inversé (entrée turbine = sortie pompe)
- en turbine, la pression augmente avec le débit
- en pompe, la pression diminue avec le débit

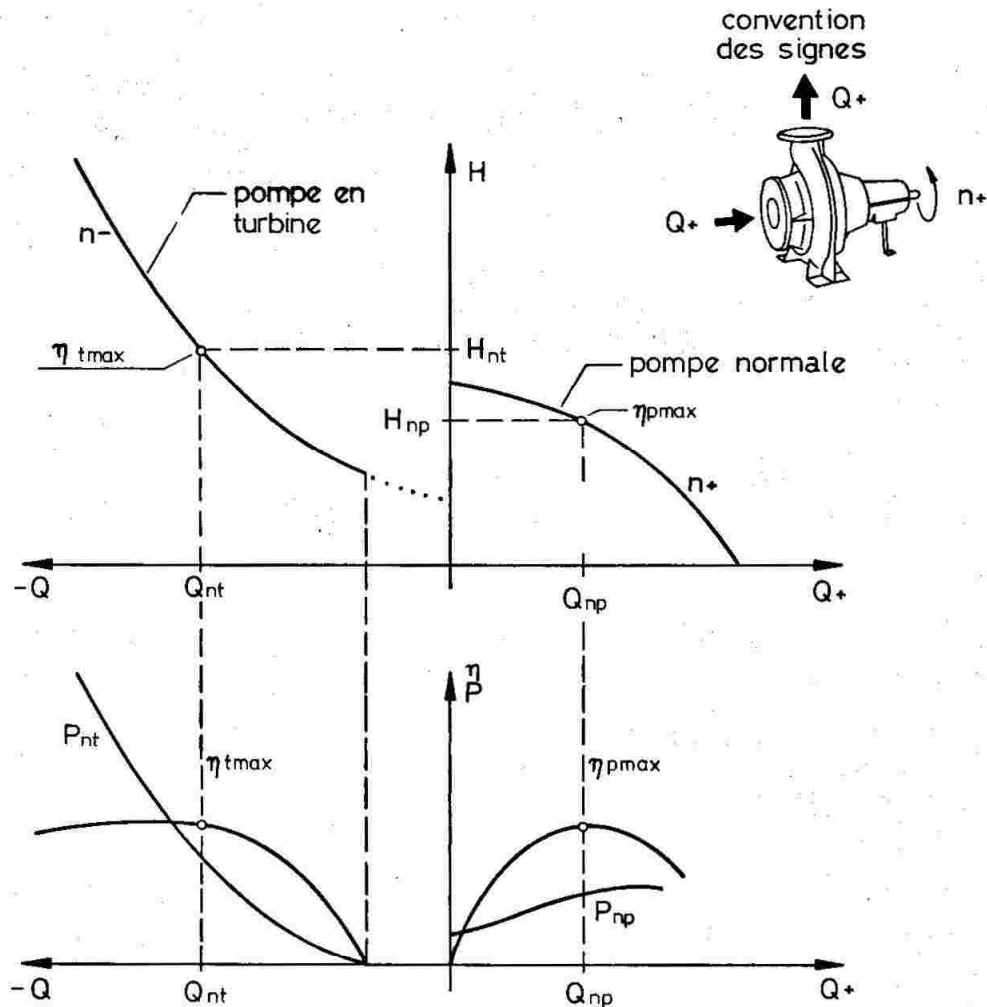


Figure 4.3 : Courbes caractéristiques complètes d'une pompe à vitesse de rotation constante

Q_{np} H_{np} η_{pmax} : point de fonctionnement optimum comme pompe

Q_{nt} H_{nt} η_{tmax} : point de fonctionnement optimum comme turbine

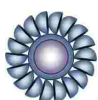
n : vitesse de rotation

Q : débit

H : chute

P : puissance

η : rendement



4. Limites d'utilisation des pompes en régime turbine (PAT)

Les pompes inversées ont des limitations du point de vue exploitation :

- elles doivent fonctionner à un débit fixe, ou faiblement variable
- elles peuvent présenter des difficultés lorsqu'elles sont installées dans des circuits hydrauliques comprenant de longues conduites, car leur débit peut varier fortement en cas de déclenchement d'urgence. Ceci peut conduire à de fortes variations de pression (coup de bélier) pouvant endommager l'installation si des précautions ne sont pas prises

Certains constructeurs ont pensé pallier au manque de flexibilité de la pompe en turbine en faisant fonctionner les groupes à vitesse variable.

En ce cas le courant produit par la génératrice est converti par voie électronique à la fréquence du réseau de 50Hz.

Cette solution a ses limites, car le comportement de la pompe en régime turbine diffère de son comportement en pompe. Si le débit d'une pompe à vitesse variable suit la variation de la vitesse de rotation, ou de la fréquence d'alimentation, il n'en est pas de même pour la même machine en régime turbine.

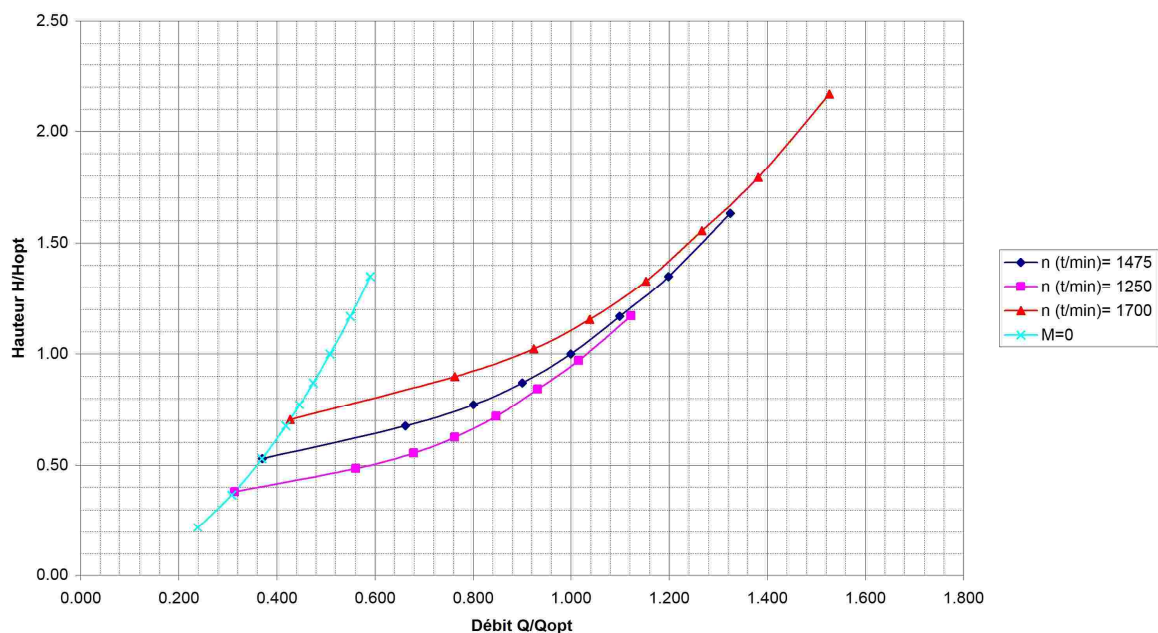
A titre d'exemple, voir diagramme ci-dessous, les courbes caractéristiques d'une PAT de vitesse spécifique $n_q = 24$ pour 3 vitesses, 1250, 1475 et 1700 t/min.

Sur le diagramme, il est visible que pour une hauteur constante $H/H_{opt} = 1$ (hauteur nominale), le débit ne variera que de env. 15% pour une variation de vitesse de 36%.

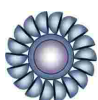
Contrairement à ce qui se passe en régime pompe, *le débit en turbine diminue avec l'augmentation de la vitesse.*

Enfin, lors d'un déclenchement et d'une montée du groupe en survitesse, le débit va se réduire de moitié.

Caractéristique H-Q



Caractéristiques adimensionnelles à vitesse variable d'une pompe fonctionnant comme turbine, vitesse spécifique turbine $n_q=24$



5. Solution proposée – PAT à débit réglable

Pour pallier aux inconvénients susmentionnés, le présent projet propose de modifier les pompes utilisées comme turbine en intégrant un distributeur à aubes réglables, sur le même principe que pour les turbines Francis.

Ce distributeur permettra d'ajuster le débit en fonction des paramètres désirés, un niveau amont, ou une pression aval si la machine est utilisée comme réducteur de pression.

La bête spirale de la pompe ne disposant pas de l'espace nécessaire pour y intégrer ce mécanisme, elle sera supprimée et remplacée soit par une nouvelle bête spirale construite sur mesure en acier mécano-soudé, soit en utilisant une spirale d'une autre grandeur de pompe si cela s'avère possible.

La roue de la pompe sera conservée, avec l'arbre, le bloc joint d'arbre et les paliers, ce qui réduira les coûts par rapport à une machine construite entièrement sur mesure.

Il est ainsi possible d'obtenir une machine qui aura un comportement similaire à celui d'une turbine Francis, mais à un coût de fabrication notablement inférieur.

Le prix atteignable, tenant compte de l'utilisation de composants standards, devrait se situer à mi-chemin entre celui d'une pompe simple et d'une turbine Francis.

Un dernier avantage de ce type de machine: l'installation d'un distributeur n'empêche pas d'utiliser la machine comme une pompe traditionnelle. En ce sens, cette machine est comparable aux pompes-turbine travaillant sur des grandes centrales hydro-électriques à accumulation.

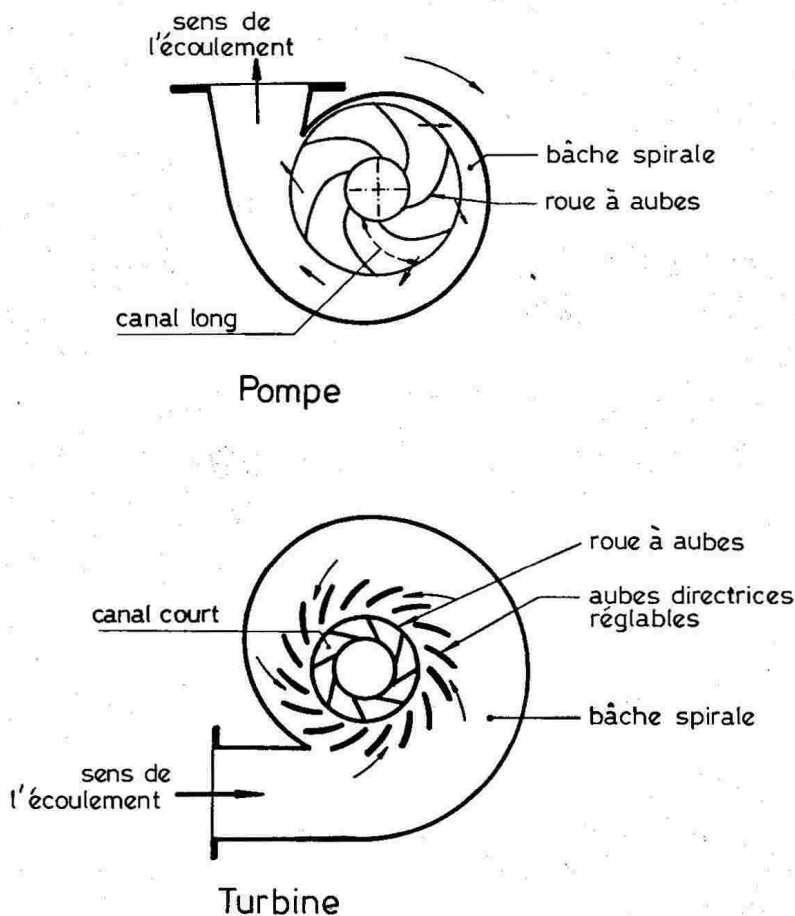


Figure 5.: Comparaison entre une pompe et une turbine Francis

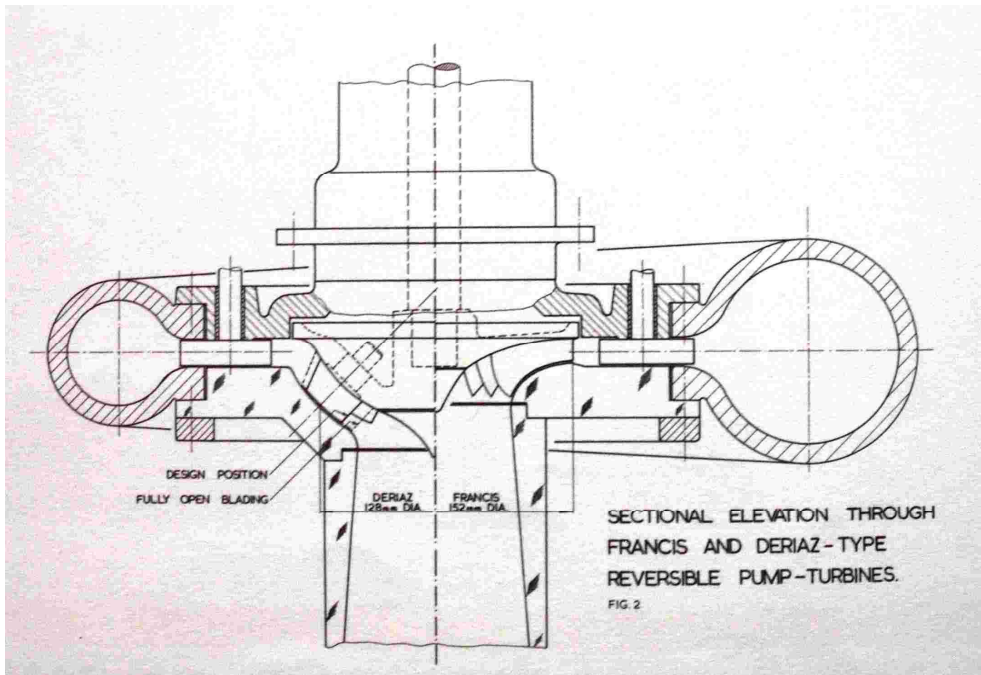


6. Exemple de pompe –turbine à débit réglable

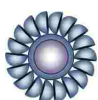
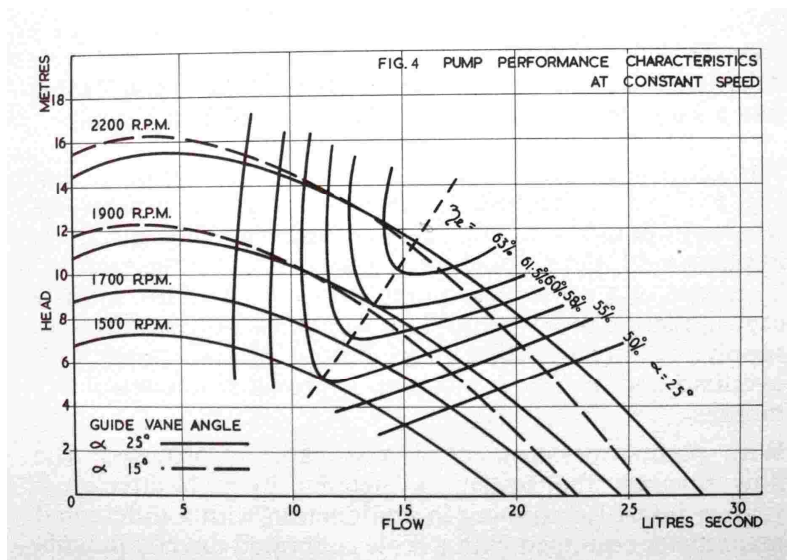
L'auteur a réalisé au cours de sa carrière professionnelle (1969) pour le fabricant anglais ARMFIELD une pompe sur laquelle a été adapté un distributeur pour en faire une pompe-turbine de type Francis.

Cette machine était de petite dimension (diamètre roue 150mm) et était destinée à un banc d'essai et de démonstration pour étudiants d'écoles techniques.

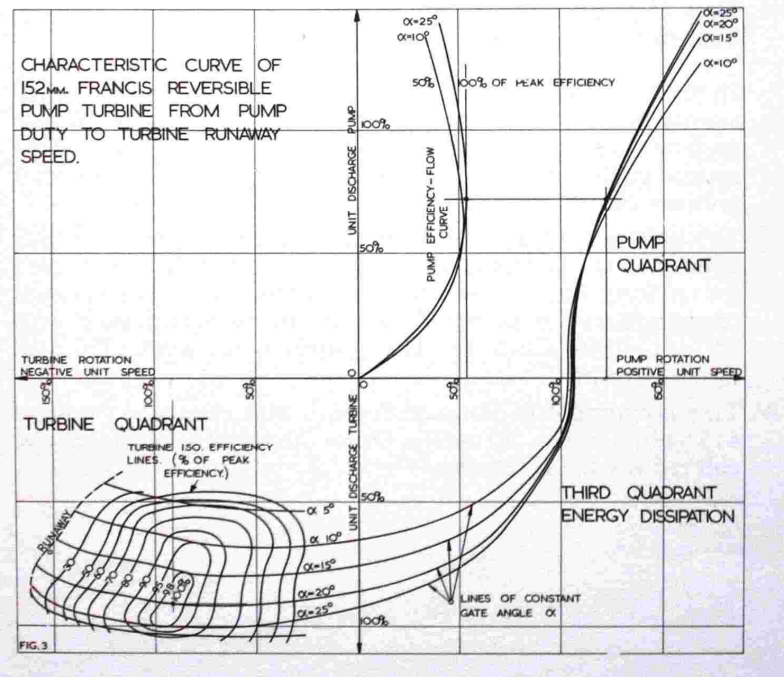
Ci-dessous une coupe de la machine selon prospectus (cette machine était prévue pour recevoir deux types de roues : diagonale à pales variable, type Dériaz, et roue Francis)



Caractéristique en régime pompe avec deux angles d'aubage distributeur



Caractéristique complète en pompe et en turbine en fonction de la vitesse pour différents angles de l'aubage du distributeur



7. Recherches et publication de l'auteur

Sur mandat de la GTZ (Coopération technique au développement de la République Fédérale d'Allemagne), l'auteur a effectué une étude complète sur la problématique des pompes utilisées comme turbine en 1990 / 1991.

Dans ce cadre, des investigations fouillées ont été effectuées, et une centaine de courbes caractéristiques de pompes utilisées comme turbine ont été examinées et interprétées.

L'aboutissement de ce travail est un ouvrage très complet sur le sujet, destiné en particulier aux ingénieurs travaillant dans le cadre de projets de développement.

Ce livre est aujourd'hui malheureusement épuisé.

Une partie des informations de cet ouvrage sera reprise dans la suite du projet (sélection de la pompe destinée à fonctionner en turbine)

Titre: Manual on Pumps used as Turbines, MHPG Series, Volume 11, GTZ

