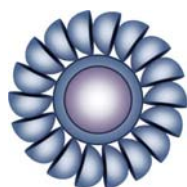
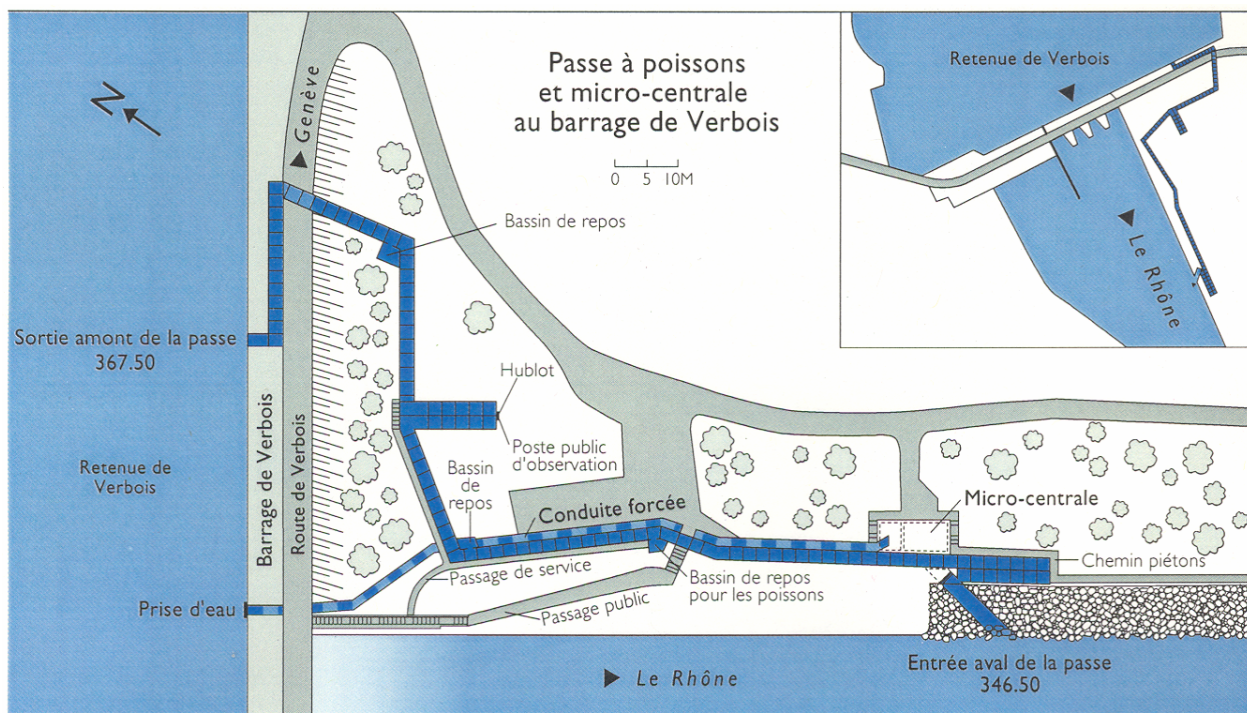




Rapport final du 30 janvier 2005

Ouvrage Micro-centrale de Verbois

Projet n° 100350 Contrat n° 150438



Mandant :

Services Industriels de Genève
Service de l'électricité
Case postale 2777, 1211 Genève 2
e-mail : www.sig-ge.ch

Mandataire:

Services Industriels de Genève
SE/ICM/ETU

Constructeurs :

JMC J-M Chappalaz, rue du Clos, CH-1446 Baulmes
e-mail : jmceng@bluewin.ch

Auteurs:

Patrick Quercia, Services Industriels de Genève,
e-mail : patrick.quercia@sig-ge.ch
Jean-Louis Martinez, Services Industriels de Genève,

Groupe de suivi:

Philippe Verburgh, Services Industriels de Genève, Directeur du Service de l'électricité
e-mail : philippe.verburgh@sig-ge.ch
André Künzi, Services Industriels de Genève, Responsable Production, SE/PRO
e-mail : andre.kuenzi.@sig-ge.ch
Jean-Michel Jolidon, Services Industriels de Genève, Responsable Ingénierie SE/ICM/Etude
e-mail : jean-michel.jolidon@sig-ge.ch

Impressum titre:

Micro-centrale de Verbois

Ce travail a été réalisé avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie. Les auteurs de ce rapport sont seuls responsables de son contenu ainsi que des conclusions qu'il contient.

Office fédéral de l'énergie OFEN

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Adresse postale: CH-3003 Berne
Tél. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/ofen

Table des matières

Table des matières	3
1 Résumé	4
2 Abstract	4
3 Introduction	5
4 Historique	5
5 Réalisation de la micro-centrale	5
6 Caractéristiques techniques	7
6.1 Description de l'installation.....	7
6.2 Turbine.....	7
6.3 Générateur	7
6.4 Principe de fonctionnement de la micro-centrale	8
7 Caractéristiques d'exploitations	9
7.1 Données hydrauliques	9
7.2 Chute brute admise pour l'exploitation.....	9
7.3 Caractéristique d'exploitation de la turbine.....	9
7.4 Régime optimum de la turbine (point sommet).....	10
8 Retour d'expérience en exploitation	10
9 Participants au projet	10
10 Coût de la réalisation	11
11 Graphiques	11
12 Remerciements	11

1 Résumé

Le respect de l'environnement ainsi que la promotion des énergies renouvelables sont deux des principales missions des Services Industriels de Genève.

La réalisation en 2000 d'une passe à poisson a entraîné une perte d'énergie due à la non exploitation d'un débit de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une chute moyenne de 18,35 m.

La construction en 2003 de la micro centrale de Verbois a permis de récupérer cette énergie.

Cette micro-centrale est équipée d'une turbine Francis à axe horizontal fonctionnant à ouverture fixe. La vitesse de rotation de la turbine et du générateur (accouplement direct) est de 605 t/min.

La puissance électrique est de 316 kW.

L'exploitation de cette micro-centrale pendant la première année a permis de détecter un défaut, qui est les pertes de charges importantes causées par l'amoncellement de déchets sur les grilles amont du canal d'aspiration. La mise en place d'un système de dégrilleur automatique devrait permettre de pallier ce problème.

2 Abstract

The respect of the environment as well as the promotion of renewable energies are two of the principal missions of the "Services Industriels de Genève".

The realization in 2000 of a scale with fish involved a loss of energy corresponding to a flow of $2 \text{ m}^3/\text{s}$ for an average fall of 18,35 m.

The construction in 2003 of the micro power station of Verbois allows the recuperation of this energy.

This micro power station is equipped with a horizontal-axis Francis turbine functioning with fixed opening. The number of revolutions of the turbine and the generator (direct coupling) is of 605 rpm.

The electric output is 316 kW.

The exploitation of this micro power station during the first year allowed us to detect a defect, which is the important pressure loss caused by the accumulation of waste on the grids upstream of the aspiration duct. The installation of an automatic system of grid cleaner should allow stage this problem.

3 Introduction

Depuis des années, les Services Industriels de Genève ont montré la voie en offrant à leurs clients un produit satisfaisant aux exigences les plus élevées quant à la qualité, la sécurité et le respect de l'environnement. Une de ses missions consiste à développer et promouvoir les énergies renouvelables et plus particulièrement hydroélectriques.

Le principal ouvrage hydroélectrique du canton de Genève est la centrale de Verbois. Cette centrale a été construite entre 1938 et 1944 et elle a subi plusieurs rénovations dont les dernières s'échelonnent entre 1996 et 1998.

Ces travaux de rénovation ont requis une modification de la concession de Verbois qui fixait un débit plafond de 530 m³/sec. L'augmentation de la puissance par l'augmentation du débit implique des adaptations réglementaires pour rester conforme aux multiples lois.

SIG a procédé à de vastes études portant sur l'écosystème du Rhône genevois. En effet, depuis la construction d'ouvrages hydroélectriques et autres, de multiples nuisances ont bouleversé l'écosystème. Un vaste programme de minimalisation des impacts liés à la modification de la concession de Verbois a été mis en place. La principale de ces mesures concerne la réalisation de l'échelle à poissons au barrage de Verbois. Cette dernière autorise à nouveau la libre circulation des poissons qui peuvent maintenant migrer et atteindre les sites de reproduction situés en amont de la retenue. Cette installation a été achevée en 2000.

Par souci de valorisation de l'énergie perdue du débit d'attrait de l'échelle à poissons, il a été décidé de construire une micro-centrale, qui fait l'objet du présent article.

4 Historique

La micro-centrale de Verbois apparaît pour la première fois au budget des investissements du Service de l'électricité des Services Industriels de Genève en 1996. Un crédit de 1.95 MCHF avait été voté. Un recours selon l'article 8 de la loi de la pêche a bloqué le projet pendant un certain temps.

Les travaux de génie civil incluant le bâtiment de la micro-centrale, ainsi que le by-pass ont été réalisés durant les années 1999 et 2000 pour un montant de 1.029 MCHF. L'installation de l'équipement de la micro-centrale ayant été momentanément reporté.

5 Réalisation de la micro-centrale

Le projet de réalisation de la micro-centrale a débuté en 2001 et s'est terminé en novembre 2002, date de sa mise en service.

L'équipement comprend :

- Une turbine Francis à axe horizontal couplée avec un alternateur asynchrone
- Une vanne de sécurité turbine (amont)
- Une vanne by-pass
- Une tuyauterie entre vanne d'arrêt et turbine
- Une tuyauterie du by-pass automatique avec dissipateur d'énergie

- Des commandes hydrauliques à eau des vannes et de la turbine
- De deux armoires de contrôle-commande permettant la supervision du groupe turbine/alternateur.

Voir le schéma de principe ci-dessous

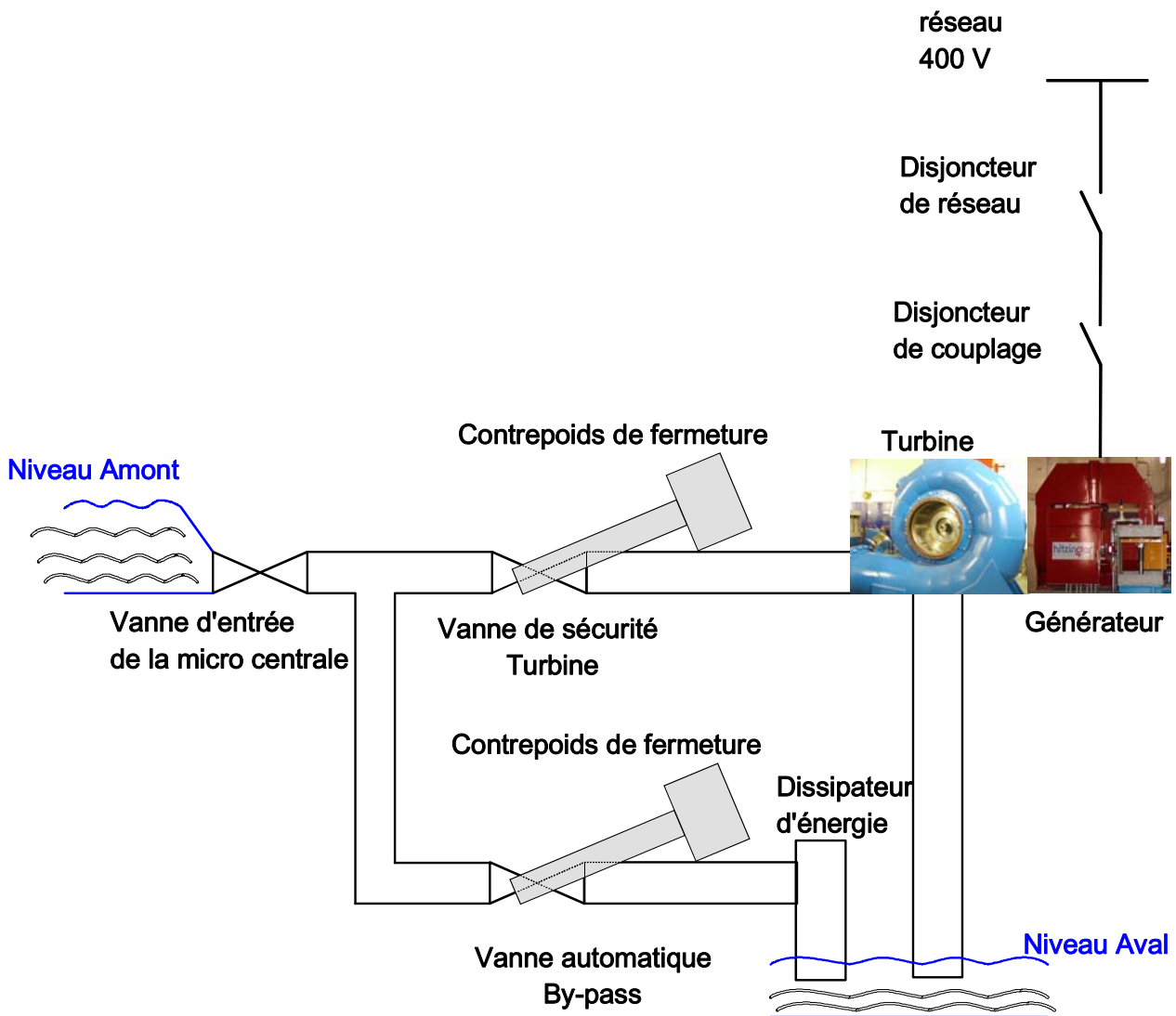


Schéma de principe de la Micro centrale de Verbois

6 Caractéristiques techniques

6.1 Description de l'installation

La production d'énergie est réalisée par une turbine dont la roue est fixée en porte-à-faux en bout d'arbre du générateur asynchrone.

Les paliers du générateur reprennent les forces agissant sur la roue de la turbine. En tout, le groupe ne comprend que deux paliers à roulements lubrifiés à la graisse.

Le générateur est équipé d'un refroidissement à eau, ce qui réduit le bruit et évite la formation de condensation sur les parties mouillées.

La vanne de sécurité de la turbine est une vanne papillon conçue pour une fermeture d'urgence. Elle est équipée d'un actionneur hydraulique à eau pour l'ouverture, la fermeture étant assurée par un contrepoids.

Les aubes directrices sont manœuvrées par un anneau de vannage, auquel les aubes sont reliées par levier pour assurer leur rotation.

L'angle de rotation des aubes ainsi que leur position en butée sont ajustables.

6.2 Turbine

La micro-centrale est équipée d'une turbine de type Francis, à axe horizontal, fonctionnant à ouverture fixe.

Construction : turbine et générateur séparés, liaison par accouplement élastique

La chute moyenne est de 18,35 m pour un débit d'environ 2 m³/s.

La puissance de l'alternateur asynchrone est de 400 kW.

Vitesse de rotation : $N = 605 \text{ t/min}$

Puissance à l'arbre : $P_{tur \text{ normal}} = 332.13 \text{ kW}$

Puissance à l'arbre : $P_{tur \text{ max}} = 401.08 \text{ kW}$

Puissance : $P = 400 \text{ kW}$

Tension : $U = 400 \text{ V}$

Courant : $I = 684 \text{ A}$

Fréquence : $f : 50 \text{ HZ}$

6.3 Générateur

Générateur asynchrone triphasé à rotor cage en c.c..

Vitesse de rotation : $N = 605 \text{ t/min}$ (identique turbine, accouplement direct)

Refroidissement à eau

Rendement : 0.952
 Puissance électrique : 316.19 kW
 Cos phi : 0.733
 Puissance apparente : 431.36 kVA
 Sin phi : 0.680
 Puissance réactive : 293.42 kVar
 Courant générateur : 622 A
 Tension générateur : 400 V

Les essais en charge du groupe ont donné les résultats suivants :

Mesure No	Vitesse T/mn	Débit m3/sec	Puiss. kW	Niveau Amont m	Niveau Aval m	Chute brute m	Chute nette m	Puis. hydraul.	Rendement total %	Commentaires
1	605	0,77	104	368,97	349,82	19,15	17,2	144,7	71,9	
2	605	1,32	208	368,97	349,82	19,15	16,5	238,9	87,1	
3	605	2,07	289	368,97	349,82	19,15	15,2	348,3	83,0	Bruit cavitation/saturation
4	605	1,97	288	368,97	349,82	19,15	15,7	341,1	84,4	Bruit cavitation/saturation
5	605	1,85	285	368,97	349,82	19,15	15,9	324,0	88,0	Bruit normal débit fonctionnement recommandé
6	605	1,85	303	369,02	348,87	20,15	15,8	340,3	89,0	Bruit normal débit fonctionnement recommandé
7	605	1,87	306	369,02	348,87	20,15	15,8	344,0	89,0	Bruit normal débit fonctionnement recommandé

6.4 Principe de fonctionnement de la micro-centrale

La micro-centrale comprend deux circuits:

- Un circuit turbine qui est normalement en fonction
- Un circuit by-pass qui est en fonction en cas de défaillance ou de révision du groupe.

Les deux circuits sont protégés et mis "EN" ou "HORS" service au moyen d'une vanne de sécurité.

Les vannes de sécurité sont ouvertes par pression hydraulique (eau) et fermées par un contrepoids sans apport d'énergie.

Il n'y a ni régulateur de débit, ni régulateur de vitesse.

Lorsque la turbine est arrêtée, le by-pass automatique est mis en service pour assurer la continuité du débit d'attrait à l'entrée de l'échelle à poissons.

7 Caractéristiques d'exploitations

7.1 Données hydrauliques

Plan d'eau amont (altitude en m)		Variation (m)	Plan d'eau aval (altitude en m)		Variation (m)	Débit (Rhône)
Max.	369.10	0	Max.	353.00	5.3	$Q_{1000}^{(*)}$
Min.	368.80	-0.3	Max.	350.20	2.5	620 m ³ /s
Min.min.	368.35	-0.75	Min.	347.70	0	50 m ³ /s

(*) niveau exceptionnel (crue millénaire $Q = 1900 \text{ m}^3/\text{s}$)

7.2 Chute brute admise pour l'exploitation

minimum	$H_{bmin} = 18.1 \text{ m}$
moyen	$H_b = 19.8 \text{ m}$
maximum	$H_{bmax} = 21.4 \text{ m}$

7.3 Caractéristiques d'exploitation de la turbine

	Min	Type	Max
Chute brute H_b (m)	18.10	19.8	21.4
Perte de charge (m)	1.30	1.4	1.5
Chute nette (m)	16.80	18.4	19.90
Débit Q (m ³ /s)	1.92	2.00	2.08

7.4 Régime optimum de la turbine (point sommet)

H = 18.4 m
Q = 2.0 m³/s

8 Retour d'expérience en exploitation

Les arrêts de la micro-centrale sont dus aux arrêts pour nettoyage de la grille d'entrée qui se colmate et produit une baisse de rendement significative.

Un grippage du joint labyrinthe en juin est à l'origine de l'arrêt prolongé de la centrale.

Actuellement, un projet de dégrilleur automatique est à l'étude et permettra ainsi d'optimiser la production.

9 Participants au projet

L'étude de la micro-centrale a été confiée au bureau d'étude JMC-Engineering J.M. Chappalaz, rue du Clos, CH-1446 Baulmes

e-mail : jmceng@bluewin.ch

La partie génie-civil a été réalisée par le bureau d'ingénieur-conseil GEOS, route de Drize, CH-1227 Carouge

e-mail : gerodetti@geos.ch

L'équipement hydroélectrique a été fourni par l'entreprise Geppert, Breitweg 8-10c, A-6060 Hall

10 Coût de la réalisation

Le coût lié à l'installation se monte à 650 kCHF.

Des coûts supplémentaires (80 kCHF) ont grevé les budgets initiaux et sont liés à l'apparition de problèmes écologiques tels que la mortalité des poissons aspirés par la prise d'eau de la conduite d'attrait qui ont induit la construction d'un répulseur à poissons (système à explosion). De plus, pour améliorer la production, il est nécessaire d'ajouter un dégrilleur automatique à la prise d'eau amont. Le coût de ce dispositif est estimé à 200 kCHF.

11 Graphiques

Figure 1 : Vue de la turbine en bleu et du générateur en rouge, depuis l'entrée de la micro-centrale

Figure 2 : Vue du distributeur

Figure 3 : Vue de la commande hydraulique de la vanne de sécurité et du distributeur

Figure 4 : Productions mensuelles 2004

Figure 5 : Heures de fonctionnement de la micro-centrale

Figure 6 : Production, heures de service et démarrage pour l'année 2004

12 Remerciements

Nous souhaiterions remercier l'Office fédéral de l'énergie pour son soutien financier dans le cadre de ce projet.

Figure 1 : Vue de la turbine en bleu et du générateur en rouge, depuis l'entrée de la micro-centrale



Figure 2 : Vue du distributeur

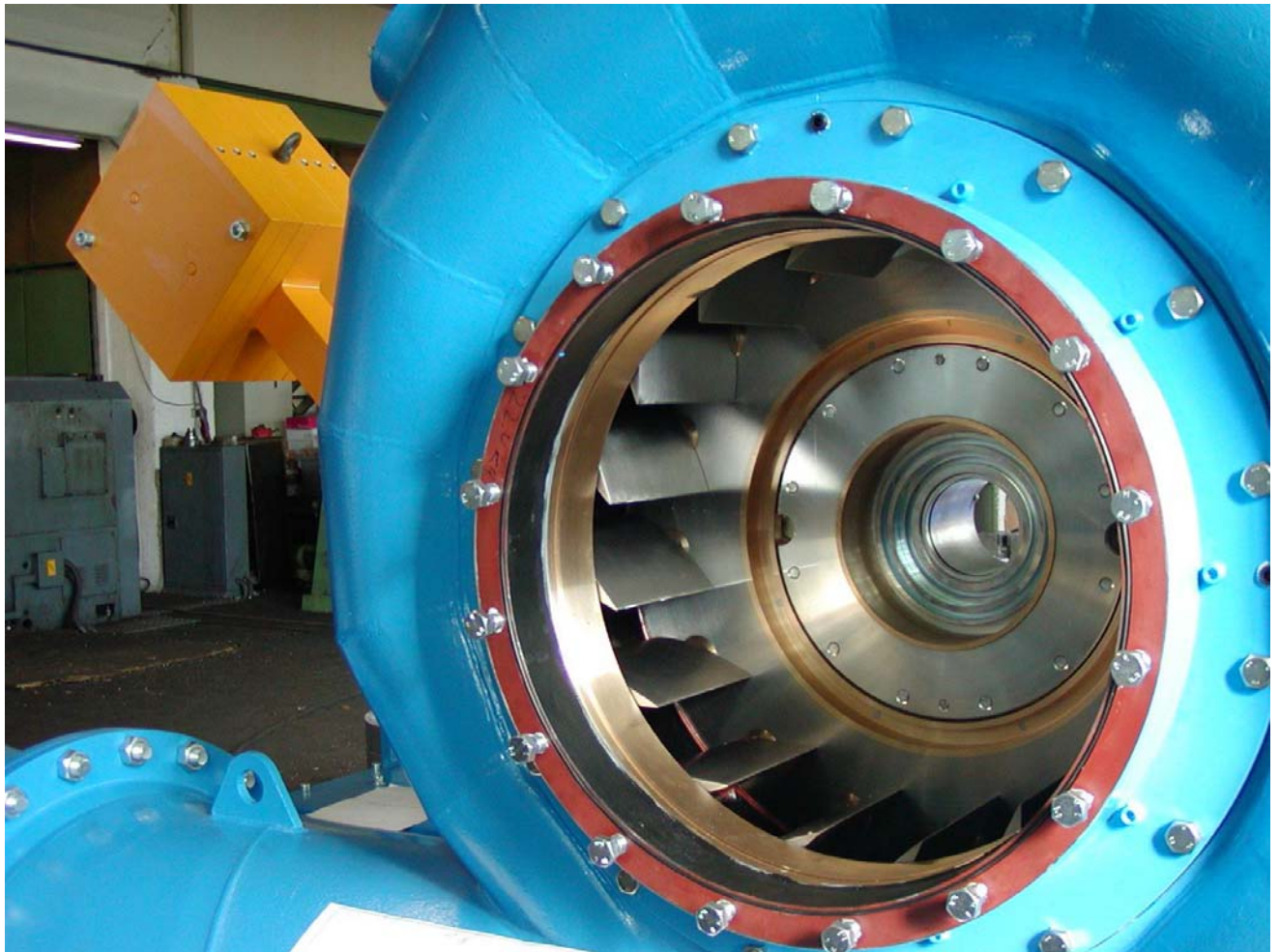


Figure 3 : Vue de la commande hydraulique de la vanne de sécurité et du distributeur



Figure 4 : Productions mensuelles 2004

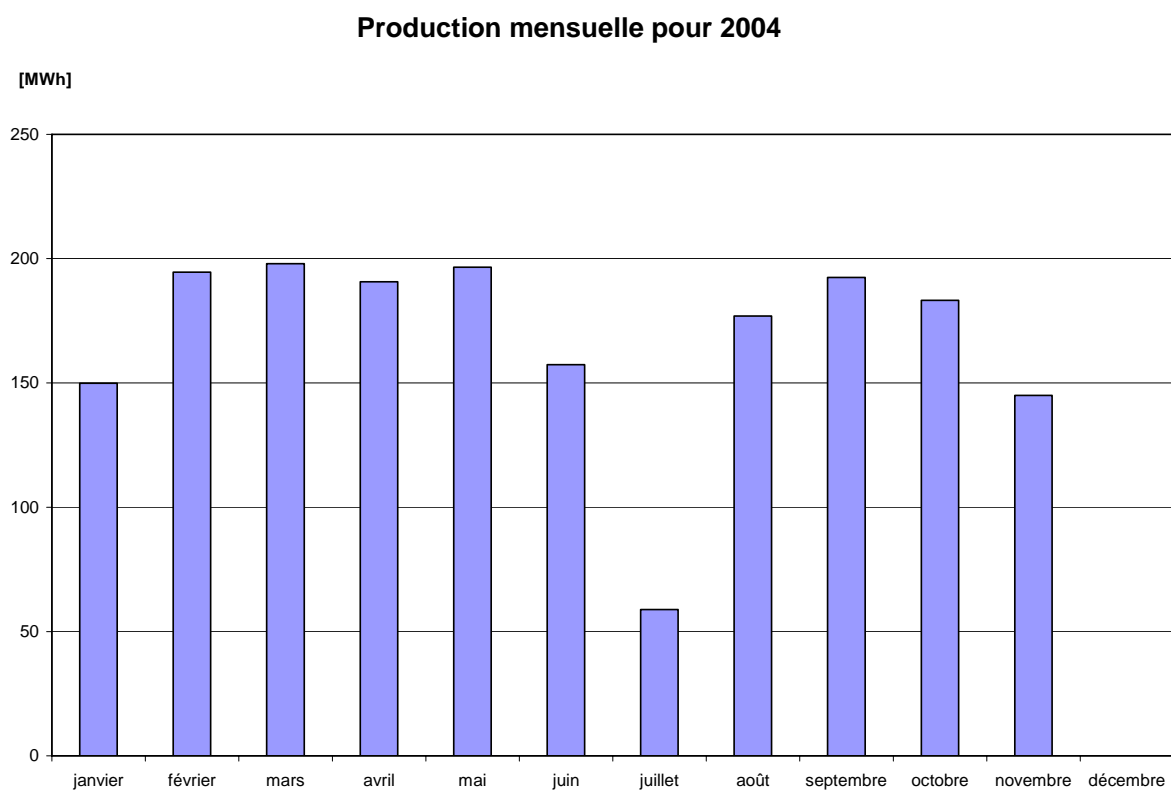


Figure 5 : Heures de fonctionnement de la micro-centrale

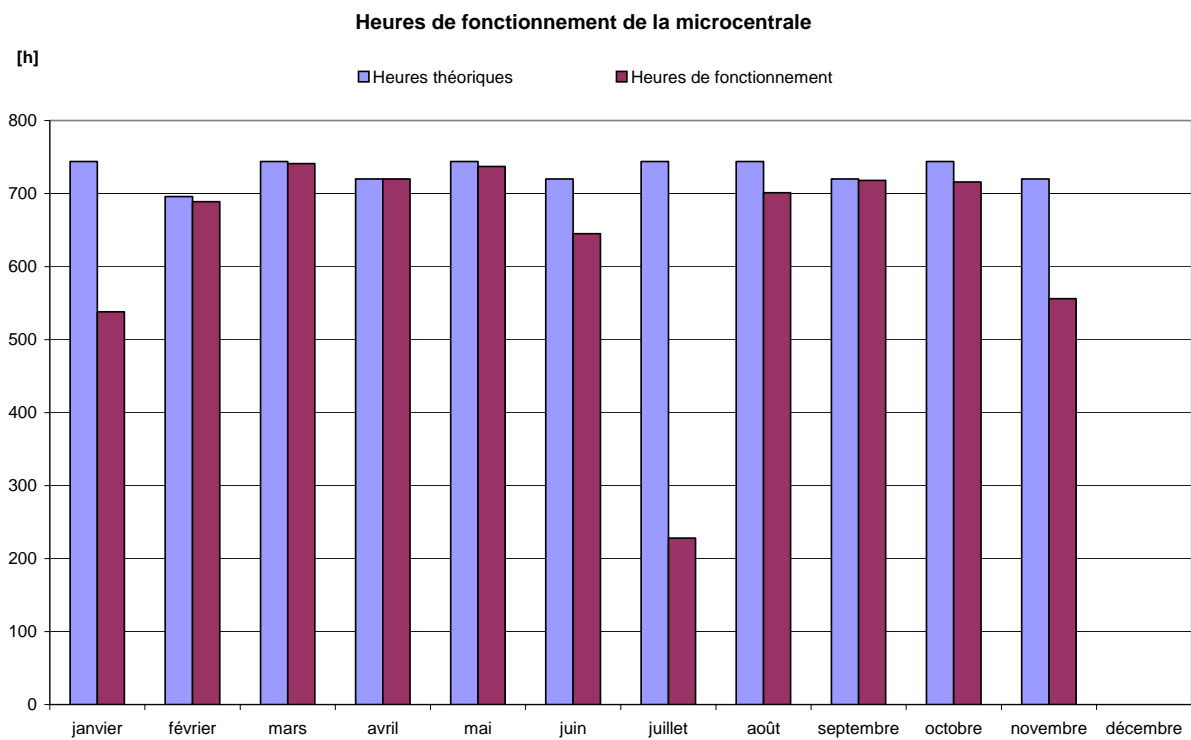


Figure 6 :

Production, heures de services et démarrages pour l'année 2004					
	Production [MWh] du mois	Fonctionnement			Démarrages du mois
		max. théorique	du mois	en %	
janvier	149.87	744	538	72.3	14
février	194.49	696	689	99.0	15
mars	197.94	744	741	99.6	4
avril	190.69	720	720	100.0	Aucun
mai	196.56	744	737	99.1	14
juin	157.33	720	645	89.6	10
juillet	58.85	744	228	30.6	10
août	176.87	744	701	94.2	36
septembre	192.43	720	718	99.7	9
octobre	183.22	744	716	96.2	15
novembre	144.94	720	556	77.2	31
décembre					
Total annuel	1843.19	8040	6989	87	158

La production moyenne de la micro-centrale, hors arrêts, sur la première année d'exploitation est de 264 kWh, ce qui équivaut au rapport de la puissance totale produite par le nombre d'heures totales en service.

