



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport annuel 12 mai 2009

Turbines diagonales

Programme de développement d'une turbine hydraulique diagonale destinée à équiper les petites centrales à moyenne chute (25 à 100 m)

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Force hydraulique
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:

MHyLab
Chemin du Bois Jolens 6
CH-1354 Montcherand
www.mhylab.com

Auteurs:

Aline Choulot, MHyLab, aline.choulot@mhylab.com
Vincent Denis, MHyLab, vincent.denis@mhylab.com

Responsable de domaine de l'OFEN: Dr. Michael Moser

Chef de programme de l'OFEN: Dr. Klaus Jorde

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 101915 / 152361

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Résumé

Suite au succès rencontré par MHyLab dans le cadre des programmes de développement des turbines haute chute avec les Pelton, et des turbines basse chute avec les axiales, ce nouveau projet vise à développer les turbines moyenne chute avec les turbines diagonales sur les mêmes principes de haut niveau de performances, haute fiabilité, coût compétitif et simplicité de construction.

Le financement obtenu de l'*OFEN* et des *S/G* nous avait permis, en 2007, d'établir les bases de notre projet de développement.

L'année 2008 a été marquée par la suppression de 2 obstacles: l'un financier, l'autre technique. En effet, le soutien de *Swiss Electric Research* nous a été accordé, début 2008, et une collaboration avec la Haute Ecole de Horw-Lucerne a pu être établie avec *MHyLab* pour la modélisation du profil méridien à la base de notre modèle réduit. Cette collaboration est la bienvenue, d'autant plus que les aptitudes pour ce type de travail sont rares actuellement sur le marché.

Tous les acteurs et facteurs étant cette fois réunis, *MHyLab* est à même de mener à bien ce projet diagonale, le prochain objectif étant de faire tourner le stand d'essai avec la configuration à 8 pales en janvier 2010.

Introduction

Ce rapport fait le bilan des activités "diagonales" du **1er janvier 2008 au 30 avril 2009**, et fait suite au rapport annuel 2007, daté au 6 décembre 2007.

Buts du projet

Description

Ce programme a pour objectif le développement de la technique hydro-mécanique d'une turbine diagonale destinée à équiper les petites centrales à moyenne chute : 25 à 100 m.

Il s'inscrit entre les deux domaines déjà réalisés avec succès et complètement opérationnels, celui des hautes chutes (70 à 700 m) et des basses chutes (1 à 40 m), qui sont respectivement ceux des turbines Pelton et axiales.

Comme pour les deux domaines précédents, celui des moyennes chutes doit répondre aux critères suivants :

- haut niveau de performances et comportement hydrodynamique garantis par un développement systématique en laboratoire.
- haute fiabilité, directement liée à la rentabilité de l'installation,
- coût compétitif également lié à la rentabilité de l'installation, mais aussi à la compétitivité des constructeurs suisses.
- possibilité de construction par des PME et ateliers locaux, leur assurant ainsi un accès à la R&D qui leur fait généralement défaut et permettant leur positionnement sur le marché international.

Tout comme les 2 programmes de développement précédent, à l'issue de ce projet, ce concept innovant devrait permettre de développer **un nouveau savoir-faire, une nouvelle technologie et un nouveau produit**.

Objectif global

Pour ce faire, l'objectif global consiste à:

1. Développer, en s'appuyant sur une méthode de calculs numériques d'écoulement, un **modèle réduit** de turbine à installer sur le stand d'essais de MHyLab, valider les options choisies, et développer un profil hydraulique optimal.
2. Couvrir un **domaine de dénivellation compris entre 25 et 100 m**, pour une puissance maximale de l'ordre de 1 MW, en développant des **configurations à 8, 10 et 12 pales**, dont le rendement mécanique devra atteindre 90% tout en présentant un excellent comportement exempt de cavitation.
3. Développer un **outil de conception systématique** basé sur les résultats d'essais en laboratoire qui permettra un dimensionnement sur mesure de chaque machine, en fonction des caractéristiques du site.
4. Développer un produit industriel basé sur les travaux de R&D en laboratoire, dont le **rappor coûts-bénéfice** est largement supérieur à celui des produits "standard".
5. **Garantir le fonctionnement hydrodynamique** des turbines, comme cela se fait avec les grandes unités.
6. Permettre une **réduction des coûts de fonctionnement** grâce à une optimisation des performances et un comportement hydrodynamique exempt de cavitation.
7. Fournir une technologie efficace, sûre et garantie aux **constructeurs** indépendants suisses et européens, laquelle est à ce jour encore inabordable financièrement.
8. Permettre une large **diffusion** des résultats du projet de R&D.

Cet objectif global, nécessitant des moyens financiers importants, est toutefois réaliste grâce à la contribution de l'*OPEN* à laquelle s'ajoutent celles des *SIG²* et de *Swiss Electric Research¹*.

Planning

Le premier planning établi en 2007 définissait pour les années 2007, 2008 et 1^{er} semestre 2009, les objectifs suivants:

1. Recherche d'information, tracé théorique du profil, calculs numériques
2. Etudes constructives du modèle réduit et dessins de fabrication
3. Fabrication du modèle réduit et montage sur la plateforme d'essais
4. Essai en laboratoire de la 1^{ère} configuration à 12 pales
5. Essai en laboratoire de la 2^{ème} configuration à 8 pales
6. Recherche d'un site de démonstration

Cette planification initiale n'a pu être respectée pour les raisons suivantes:

- tous les moyens financiers n'étaient pas réunis avant le démarrage, en octobre 2008, du projet soutenu par de *Swiss Electric Research*,
- la collaboration avec des spécialistes du tracé d'aubage issus de General Electric au Canada, nous ayant fait défaut suite à une réorganisation de la société et la vente de ses activités hydrauliques au Groupe Andritz, l'organisation mise en place pour la modélisation du rotor/stator de la turbine a du être entièrement revue.

Le planning a par conséquent été redéfini lors de l'établissement de la collaboration avec *Swiss Electric Research* (cf. Tableau 1).

Étapes	Points clés	Délai
Conception du modèle de laboratoire	Dossier de plans de construction du modèle à disposition	03/09
8 pales : Conception finale du modèle	Dossier de plans spécifiques au modèle 8 pales	04/09
8 pales : Construction et mise en place du modèle d'essais	Modèle à 8 pales monté sur le stand	12/09
8 pales : Essais en laboratoire et développements. Analyse des résultats et systématisation	Dossier des résultats à disposition	09/10
12 pales : Construction, conception et mise en place de la nouvelle roue	Modèle à 12 pales monté sur le stand	10/10
12 pales : Essais en laboratoire et développements Analyse des résultats et systématisation	Dossier de synthèse des résultats à disposition	06/11

Tableau 1. Planning défini avec *Swiss Electric Research*

Travaux effectués et résultats acquis

A ce jour, les travaux suivants ont été exécutés :

- Analyse de l'état de l'art et des méthodes utilisées dans le domaine des moyennes chutes en petite hydroélectricité. Cette analyse a été menée en se basant sur les rares publications et exemples de turbines et pompes turbines diagonales de grande taille. Elle a permis de faire une synthèse des solutions retenues et des besoins du domaine. C'est sur cette base que nous avons pu définir un programme de travail et de développement précis.
- Rédaction d'une notice : "*Turbine diagonale MHyLab – Conception hydromécanique. Profil méridien et aide au tracé d'aubage*". (voir document annexé). Cette notice est le résultat principal du travail scientifique effectué depuis 2007. Il s'agit là de la base indispensable nécessaire au développement ultérieur de la machine de laboratoire.
- Approfondissement du profil hydraulique de la turbine défini en 2007 (cf. Figure 1). Ce profil réutilise les techniques et savoir-faire optimisés lors du programme de recherche sur les turbines basse chute, à savoir:
 - Forme saxo qui permet un positionnement optimal du générateur
 - Entonnoir amont à section carrée
 - Aspirateur droit ou coudé

Comme montré sur la Figure 1, seule la partie stator/rotor devra faire l'objet d'une modélisation. Un premier profil méridien pour une configuration à 8 pales a été défini comme base pour la modélisation: dimensions du moyeu, rayon externe de roue, angle d'inclinaison des pales par rapport à l'axe de la roue, etc.

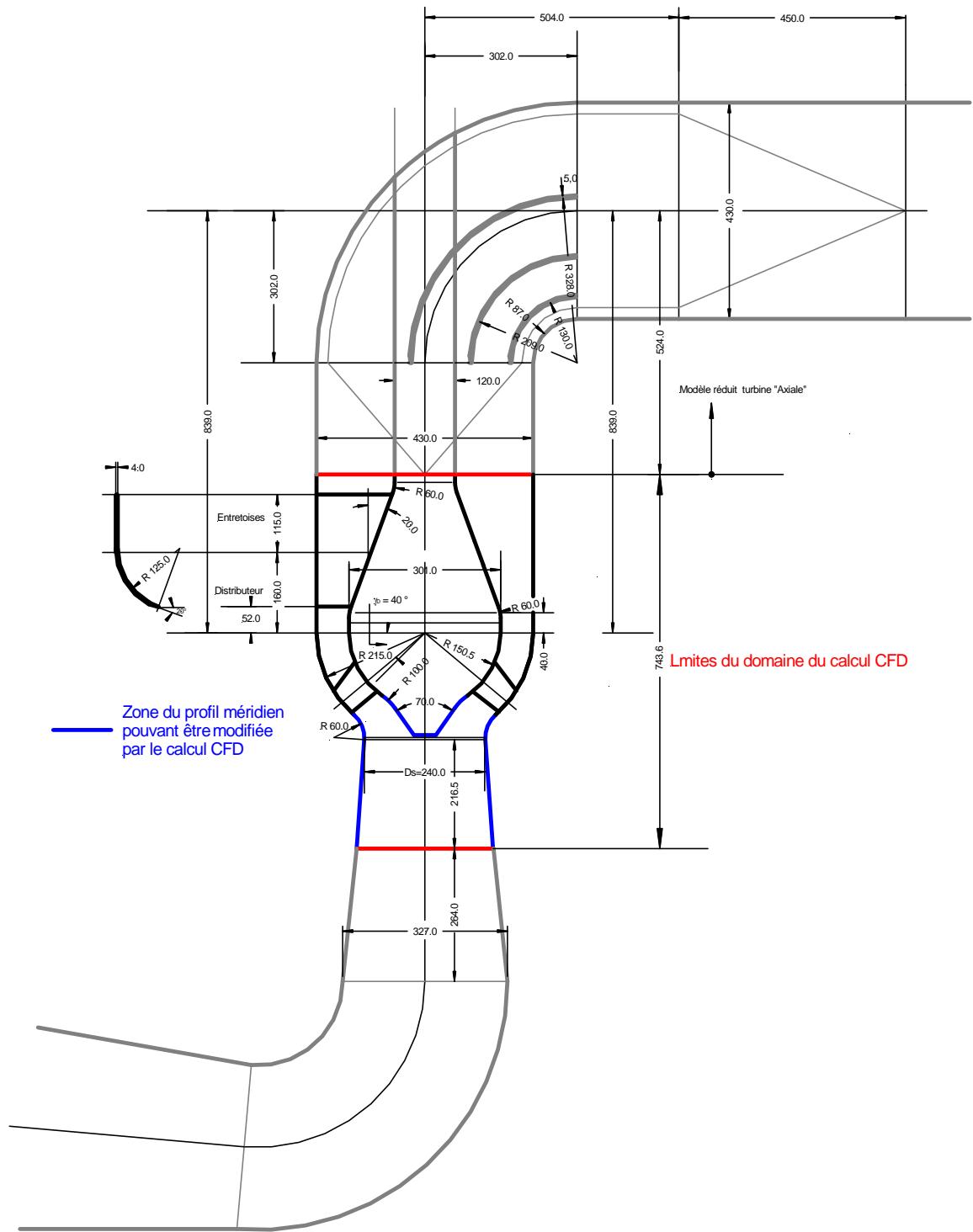


Figure 1. Profil méridien de la turbine diagonale

- Mise sur pied, pour le développement par modélisation numérique du rotor/stator, d'une collaboration entre la *Haute Ecole de Horw Lucerne (HSLU)*³ – Pr. Th. Staubli et *MHyLab*, dont les tâches principales sont décrites à la page 8 et dans une notice intitulée: "*Conception hydraulique du stator-rotor d'une turbine diagonale, programme proposé à la HSLU³*" (voir document annexé).

- Etude mécanique de la roue pour la commande des pales (entre 8 et 12). (cf. Figure 2). La roue devant être adaptée à 8, 10 ou à 12 pales, il est nécessaire d'intégrer la commande des 12 pales inclinées dans la roue tout en assurant le montage / démontage de la roue. Un système d'accouplements coniques a été proposé et est en cours de validation par modélisation.

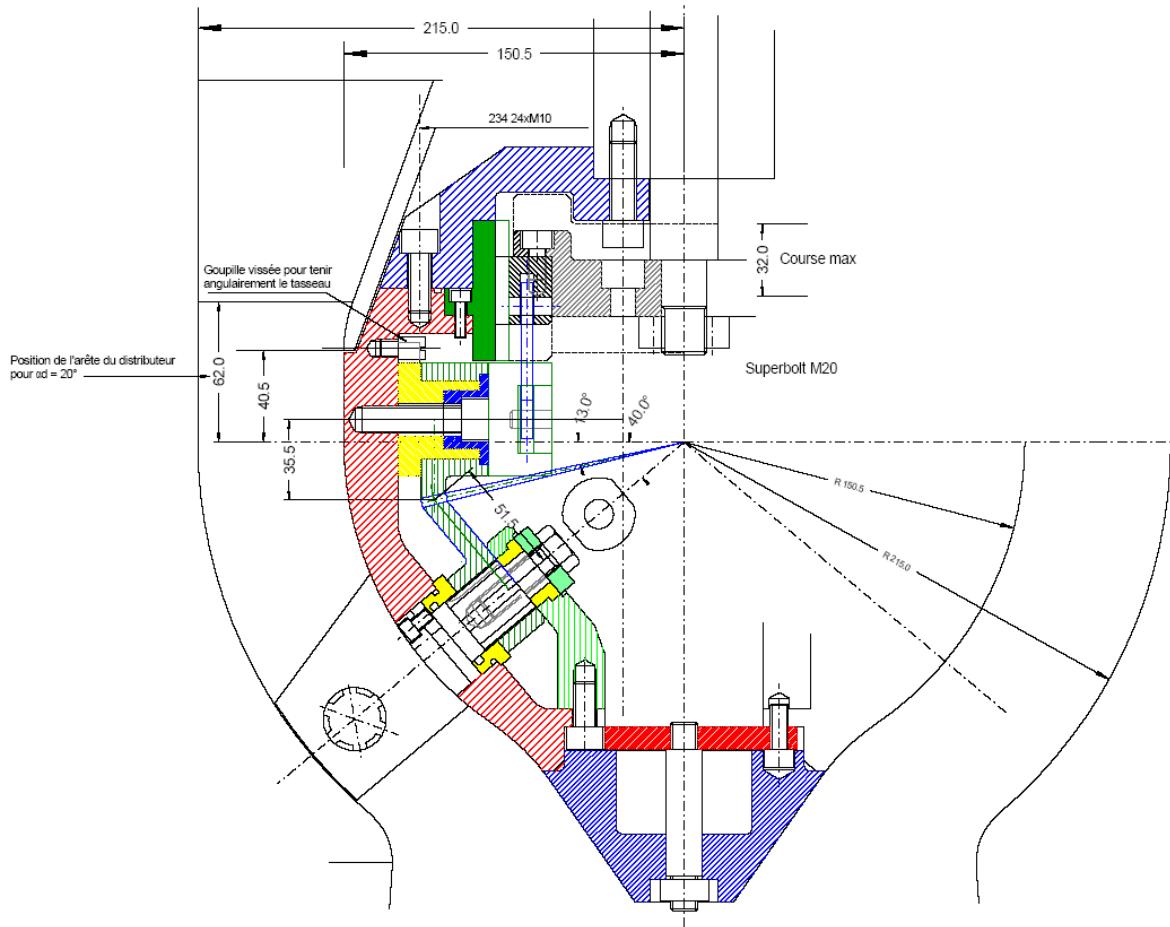


Figure 2. Etude mécanique de la roue diagonale, système de commande des pales et montage/démontage de la roue

Tous les travaux effectués depuis 2007 ont permis de poser les bases nécessaires à la réalisation du premier modèle réduit, étape essentielle pour la réussite du projet.

Collaboration nationale

En terme de soutien financier, celui de Swiss Electric Research¹ s'ajoute à ceux des Services industriels de Genève (Fonds SIG NER)² et de l'OFEN.

En terme de collaboration technique, un contrat a été établi avec la Haute Ecole de Horw, Lucerne³ pour les travaux de modélisation du rotor/stator.

¹ Swiss Electric Research, Monbijoustrasse 16, 3001 Berne, www.swisselectric.ch

² Fonds SIG NER – SIG – Service de l'électricité, case postale 2777, 1211 Genève, www.mieuxvivresig.ch

³ Hochschule Technik + Architektur Luzern (HSLU), Fluidmechanik & Hydromaschinen, Technikumstrasse 21, 6048 Horw

Collaboration internationale

Bien que notre proposition ait passé avec succès tous les stades d'évaluation, notre demande de financement dans le cadre du 7ème PCRD s'est soldée par un échec, faute de moyens financiers à disposition. La collaboration internationale initialement prévue ne pourra donc pas avoir lieu. Il n'est cependant pas exclu que le projet puisse être à nouveau présenté lors d'un appel à proposition subséquent.

Évaluation de l'année 2008 et perspectives pour 2009

Depuis 2007, les travaux réalisés considèrent plus particulièrement les objectifs globaux 1 et 2 définis en page 4, qui consistent à concevoir le modèle réduit qui sera monté sur le stand d'essai MHyLab, modèle réduit qui se doit d'être adapté pour 8, 10 ou 12 pales de manière à couvrir le domaine des moyennes chutes de 25 à 100 m.

Cette 2^{ème} année de projet a plus particulièrement vu l'approfondissement de la définition du profil méridien et de la conception du modèle réduit.

L'année 2009 est dédiée à:

1. l'étude hydraulique du stator-rotor,
2. la conception des pales motrices (tracé optimisé de l'aubage moteur pour la configuration à 8 pales pour 40 m de chute),
3. l'analyse numérique des écoulements dans la configuration tracée (pressions, vitesses, incidences, etc.).
4. l'étude constructive du modèle réduit,
5. la réalisation des dessins de fabrication, y compris l'étude du moyeu
6. la fabrication du modèle réduit, y compris le moyeu, hormis les pales
7. la fabrication des 8 pales et montage dans le moyeu.
8. le montage du modèle réduit sur la plateforme d'essai.

Les points 1 à 3 sont réalisés avec le concours de la HSLU, dont les tâches sont les suivantes:

- Concevoir l'aubage moteur dans le profil méridien proposé puis le valider par CFD, pour un prototype à 8 pales sous 40 m de chute avec un axe de pales incliné à 40° par rapport à l'axe de la roue, aux dimensions du modèle réduit.
- Vérifier que ce profil méridien proposé pour cette première configuration est conservé dans tout le domaine requis, soit de 25 à 100 m de chute (nombre de pales : 8 à 12) ; le choix définitif de l'angle d'implantation des pales, si possible identique pour toutes les configurations, résultera de cette analyse.
- Contrôler que pour une implantation maximale de 1 mètre du plan de référence Z_R sous le niveau d'eau aval, pour la plus haute chute, une cavitation non érosive soit assurée au point de fonctionnement optimal.
- Valider la modélisation numérique d'une turbine diagonale à partir d'un cas réel. En effet, nous avons à disposition des informations sur une turbine diagonale récente en service en Ecosse (turbine à bâche spirale, double réglage, angle des axes des pales de 30° sous 58 m de chute, $N' = 300 \text{ t/min}$, $P_{\text{turb}} = 17.1 \text{ MW}$).

Les essais sur stand démarrent en janvier 2010.

Conformément au planning (cf. page 4), les objectifs 1 et 2 ont été atteints. Actuellement, le projet se déroule selon la planification adoptée pour Swisselectric Research.

A ce jour, la collaboration avec la *HSLU*, l'obtention d'une aide financière supplémentaire issue de *Swiss Electric Research*, les études mécaniques de la roue et de la commande des 12 pales inclinées sont de bonne augure pour la suite du programme de développement des petites turbines diagonales.

Références

Le domaine exploré étant nouveau pour la petite hydraulique et ne faisant l'objet d'aucune publication récente à notre connaissance, nous ne pouvons citer d'ouvrages ou articles de référence.

Annexes

- Notice sur la conception hydromécanique d'une turbine "diagonale", intitulée: "*Turbine diagonale MHyLab, conception hydro-mécanique, Profil méridien et aide au tracé de l'aubage*"
- Notice intitulée: "*Conception hydraulique du stator-rotor d'une turbine diagonale, Programme proposé à la HSLU par MHyLab*"