

Filière Energie et techniques environnementales

Orientation Energies renouvelables

Travail de bachelor Diplôme 2017

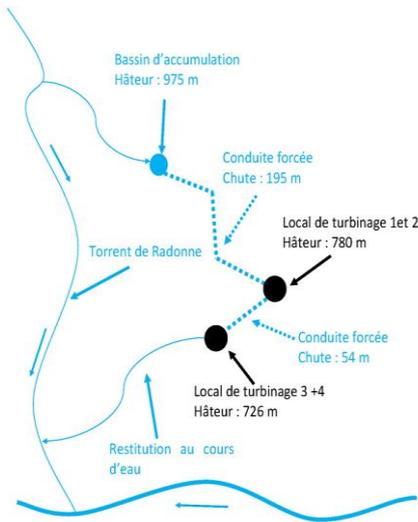
Sebastian Zajaczkowski

*Rénovation complète d'une microcentrale
électrique existante : étude de faisabilité*

- *Professeur*
Davide Pavanello
- *Expert*
Aline Choulot
- *Date de la remise du rapport*
18.08.2017

Rénovation complète d'une microcentrale électrique existante : étude de faisabilité.

Diplômant/e Sebastian Zajackowski



Objectif du projet

Le projet s'est concentré sur les aspects techniques et économiques de l'étude de faisabilité d'une rénovation complète d'une centrale hydroélectrique.

Méthodes | Expériences | Résultats

Le domaine viticole de Beudon possède une usine hydroélectrique. Cette dernière pourrait bénéficier d'une importante amélioration de sa capacité de production d'énergie électrique annuelle grâce à une rénovation complète de ses composants. Le but de ce projet était de réaliser une étude de faisabilité tenant compte des aspects techniques et financiers. Dans un premier temps, la collecte de tous les documents disponibles (anciens et récents) a été cruciale pour le bon déroulement du projet. Ensuite, je me suis concentré sur la spécification des paramètres nécessaires aux dimensionnements des turbines hydrauliques (dimensionnement confié à MhyLab), des alternateurs ainsi que de l'ingénierie civile. Après avoir dimensionné toutes les parties principales de l'aménagement hydroélectrique, je suis passé à la projection des coûts totaux d'une rénovation entière de l'usine, avec l'appui des professionnels des branches respectives. Ils ont su me fournir des offres détaillées selon mes besoins et mes dimensionnements. Finalement j'ai pu effectuer une analyse économique détaillée qui tient en compte de :

- Investissements totaux
- Prix de revient du kWh produit
- Chiffre d'affaire annuel

Travail de diplôme
 | édition 2017 |

Filière

Energie et technique
 environnementales

Domaine d'application

Hydraulique

Professeur responsable

Davide Pavanello
 davide.pavanello@hevs.ch

Partenaire

Centre InfoEnergie Suisse
 romande pour la petite
 hydraulique : MhyLab

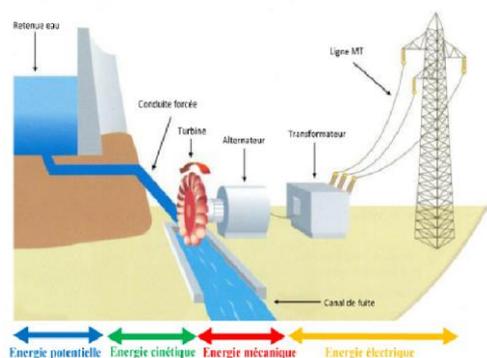


Schéma de principe d'une centrale hydroélectrique



Local de turbinage

1. Sommaire :

1. Sommaire :	1
2. Introduction.....	4
2.1. Cahier des charges.....	4
2.2. Objectifs	4
2.3. Différentes variantes à évaluer.....	4
3. Déroulement du projet	6
4. Situation actuelle.....	7
4.1. Equipements actuels.....	8
4.1.1. Turbo-groupes	8
4.1.2. Conduites forcées	9
4.1.3. Prise d'eau.....	13
4.1.4. Contrôle commande.....	14
5. Données de base.....	15
5.1. Dénivellation	15
5.2. Chute nette et chute brute.....	16
5.3. Pertes de charges dans les conduites.....	17
5.4. Hydrologie	18
5.4.1. Courbe débits classes	19
6. Potentiel du site.....	20
7. Puissance électrique et production annuelle	21
7.1. Puissance	21
7.2. Production	23
7.2.1. Actuelle	23
7.2.2. Futur	24
8. Mesures à prendre	26
8.1. Augmentation de la quantité d'eau turbinée	26
8.2. Remplacement de la prise d'eau	26
8.3. Remplacement des conduites forcées	26
8.4. Remplacement des machines hydrauliques.....	27
8.4.1. Turbine	27
8.4.2. Générateur	27
8.5. Remplacement ou renforcement du raccordement électrique	28
8.5.1. Schéma de raccordement actuel	28
8.5.2. Pertes sur la ligne	29
8.5.3. Transformateur.....	32
8.5.4. Pertes économiques.....	32
9. Nouveaux équipements hydroélectriques et travaux qui y sont liés.....	34

9.1.	Turbine	34
9.2.	Générateur	38
9.3.	Conduites forcées	38
9.4.	Vannes	39
9.5.	Sécurité	39
9.6.	Contrôle commande	39
9.7.	Génie civil	40
	9.7.1. Local de turbinage	40
10.	Calcul économique	41
	10.1. Frais d'exploitation	42
	10.1.1. Entretien et exploitation	42
	10.1.2. Frais de réparations	42
	10.2. Investissement	42
	10.2.1. Variante 1	43
	10.2.2. Variante 2	43
	10.3. Chiffre d'affaire annuel	44
	10.4. Prix de revient	44
	10.5. Années d'amortissement	45
11.	Aspects législatifs	46
	11.1. Rétribution à prix coûtant du courant injecté - RPC	46
	11.2. Renforcement réseau	46
	11.3. Demande de concession	47
12.	Mise en place d'un set de mesures	48
13.	Conclusion	48
14.	Bibliographies	50
	Documents récoltés	50
	Sur les petites centrales hydrauliques	50
	Sur les machines hydrauliques	51
	Sur l'automatisation	52
	Sur les aspects législatifs	52
	Sur l'hydraulique	52
	Sur l'aspect économique	53
	Sur l'hydrologie	53
	Sur les conduites	53
	Sur l'aménagement de Beudon	53
15.	Annexe	54
	Annexe 1 : Profil hydraulique variante 1	54

Annexe 2 : Profil hydraulique variante 2	55
Annexe 3 : Schéma encombrement turbine 1 et 2.....	56
Annexe 4 : Caractéristiques techniques génératrice variante 1.....	58
Annexe 5 : Caractéristiques techniques génératrice variante 2.....	59
Annexe 6 : Offre devis alternateurs	60
Annexe 7 : Offre devis aménagement hydroélectrique Premel SA	63
Annexe 8 : Extrait de plan de la ligne électrique :	78
Annexe 9 : Offres débitmètre	79
Annexe 10 : Devis estimatif CERT.....	84
Annexe 11 : Calcul tarif RPC.....	86
Variante 1	86
Variante 2	87
Annexe 12 : Cahier de charge demande d'autorisation de turbinage.....	88
Annexe 13 : Etapes pour bénéficier de la RPC	93
Annexe 14 : Renforcement réseau	95

2. Introduction

L'usine hydroélectrique du Domaine de Beudon pourrait bénéficier d'une importante amélioration de sa capacité de production annuelle en conséquence d'une rénovation complète de ses installations. Le projet propose de réaliser une étude de faisabilité tenant compte des aspects techniques (ingénierie civile, hydraulique, mécanique et électrique) et financiers d'une telle possibilité.

2.1. *Cahier des charges*

Le cahier des charges comprend le dimensionnement des infrastructures d'ingénierie civile, des turbines hydrauliques et de leurs génératrices ainsi qu'une analyse financière.

2.2. *Objectifs*

- Analyse exhaustive des conditions financières de reprise d'énergie dont bénéficie actuellement le Domaine de Beudon ainsi que d'éventuelles mesures d'encouragement existantes pour une rénovation.
- Mise en place d'un set de mesures permanent.
- Spécification des paramètres nécessaires au dimensionnement des turbines hydrauliques (dimensionnement préliminaire confié à Mhylab) des génératrices ainsi que de l'ingénierie civile.
- Etablissement d'une projection des coûts totaux d'une remise à niveau de l'usine (partie civile, hydro, mécanique et électrique) avec l'appui de professionnels des branches respectives.

2.3. *Différentes variantes à évaluer*

Le site de Beudon possède un potentiel d'amélioration important. Pour faire une évaluation de ce potentiel, plusieurs variantes d'amélioration seront prises en compte lors de ce projet. Le projet prévoit l'étude des variantes suivantes :

- Variante 1 : Rénovation partielle de l'aménagement
Cette variante prévoit le changement des machines hydrauliques (turbine, génératrice) du local de turbinage 1+2 (voir schéma hydrologique), avec une seule grande turbine Pelton. Par ailleurs, elle prévoit aussi une modification de la capacité de la prise d'eau actuelle et différentes substitutions des conduites forcées entre la prise d'eau et la bifurcation (voir schéma hydrologique).
La variante 1 prévoit le changement total des turbo-groupes 1 et 2 du premier palier, en remplaçant avec un turbo-groupe de puissance supérieure, en gardant les deux turbo-groupes 3 et 4. Ainsi, le site pourrait exploiter au maximum la puissance hydraulique qu'il bénéficie, ce qui n'est pas le cas en ce moment.

- Variante 2 : Rénovation complète de l'aménagement.
 Cette variante implique le changement complet de tous les composants de l'aménagement hydroélectrique (prise d'eau, conduite forcée, turbine, alternateur, vanne, by-pass, sécurité, contrôle commande) en exploitant le potentiel présent dans la limite de la propriété de Madame Granges.
 La variante 2 prévoit le remplacement total des conduites forcées entre la prise d'eau et le local de turbinage 1+2 avec une conduite forcée de diamètre supérieur. Elle prévoit aussi le changement des turbo-groupes 1 et 2 par un seul turbo-groupe plus puissant.
- Variante 3 : Rénovation complète de l'aménagement avec une extension jusqu'au cours d'eau de Fully.
 Cette variante bénéficie d'une chute plus importante pour une augmentation de la puissance hydraulique exploitable. Le point négatif de cette variante est qu'elle implique des démarches administratives importantes car cette solution sort du Domaine de Beudon.

Dans ce projet je me suis focalisé et concentré sur le développement des variantes numéro 1 et 2. Pour pouvoir développer la troisième variante plus de temps et plus de ressources sont absolument nécessaires.

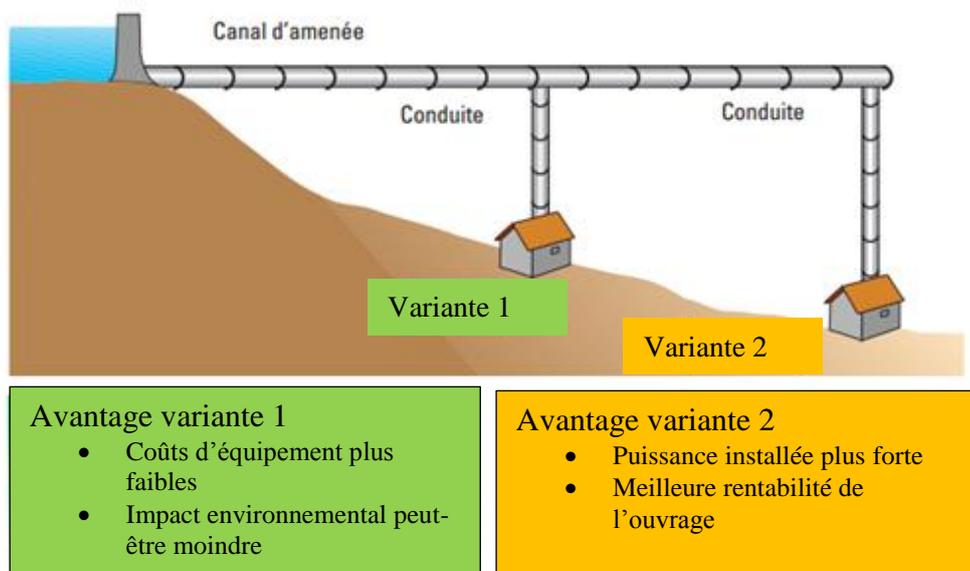


Figure 1: Différentes variantes. Source [1.3] : (Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité, Mars 2003)

3. Déroulement du projet

Le projet a été subdivisé en plusieurs étapes :

a) Rassemblement des données :

Avec les documents à disposition, j'ai récolté et enfin déterminé les données essentielles pour effectuer une étude de ce type :

- Dénivellation
- Débit à disposition
 - Courbe débit classe
 - Débit résiduel, selon les lois
 - Débit d'équipement
- Pertes de charge
- Puissance hydraulique brute du site
- Type de turbine
- Raccordement électrique

b) Dimensionnement préliminaire de la turbine hydraulique confié au bureau d'ingénieur Mhylab :

À l'aide des calculs effectués dans la partie a) Mme Aline Choulot du laboratoire Mhylab a pu faire un dimensionnement propre à mon installation.

c) Dimensionnement de la génératrice ainsi que de l'ingénierie civile (conduites forcées et éventuellement d'une nouvelle prise d'eau).

d) Prise de contact avec les producteurs et des spécialistes du domaine :

- i) Turbine : **Jacquier Luisier SA – atelier mécanique à Evionnaz, Häny SA**
- ii) Alternateur : **Valeletric SA, Premel SA**
- iii) Contrôle commande : **Telsa SA – automation, Premel SA**
- iv) Génie civile : **CERT ingénierie SA, Premel SA**

Une bonne partie des contacts m'ont été fournis par madame Aline Choulot.

e) Calculs économiques :

- i) Investissement
- ii) Frais d'exploitation
- iii) Chiffre d'affaire annuel
- iv) Prix de revient

4. Situation actuelle

Le domaine de Beudon se situe sur la rive droite du Rhône, entre Saxon et Fully et appartient à la commune de Fully. Ce domaine a comme propriétaire Madame Marion Granges. Le domaine possède une petite centrale hydraulique qui produit en moyenne 150 MWh/an. Les Granges ont remis en état l'ancienne petite centrale hydraulique du domaine en 1980. Dans les années 90 et avec l'aide de Mr. Schwarz, ingénieur (âgé maintenant de plus de 80 ans) ont agrandi le site pour augmenter la production.

Le site hydraulique de Beudon turbine l'eau qui provient du torrent de Randonne. L'utilisation de cette eau doit permettre d'alimenter les besoins d'irrigation et en eau potable pour les ménages. Le site hydraulique de Beudon n'utilise qu'une petite partie de ce torrent pour produire sa propre électricité. En 1996, Mr. Jacques Granges obtient du Canton du Valais l'autorisation officielle d'utiliser les eaux de ce torrent pour produire de l'électricité à l'aide des turbines. Le site hydraulique est composé d'une source de prise d'eau qui se trouve à 975 m et de quatre turbo-groupes. Les deux premiers turbo groupes se trouvent à une hauteur de 780 m tandis que le troisième et le quatrième turbo-groupes se trouvent à 726 m. Un système de conduite forcée se trouve entre la prise d'eau et le local, permettant de transporter l'eau pour être turbinée. Les turbo-groupes 1, 3 et 4 ont été installés en 1996 et le dernier (turbo-groupe 2) a été ajouté en 2009 pour maximiser la production et bénéficier de la RPC (Rétribution à prix coutant du courant). L'état du site et des machines hydrauliques est un peu critique, que ce soit au niveau des conduites, des machines hydrauliques, de l'automatisation ou du raccordement électrique.

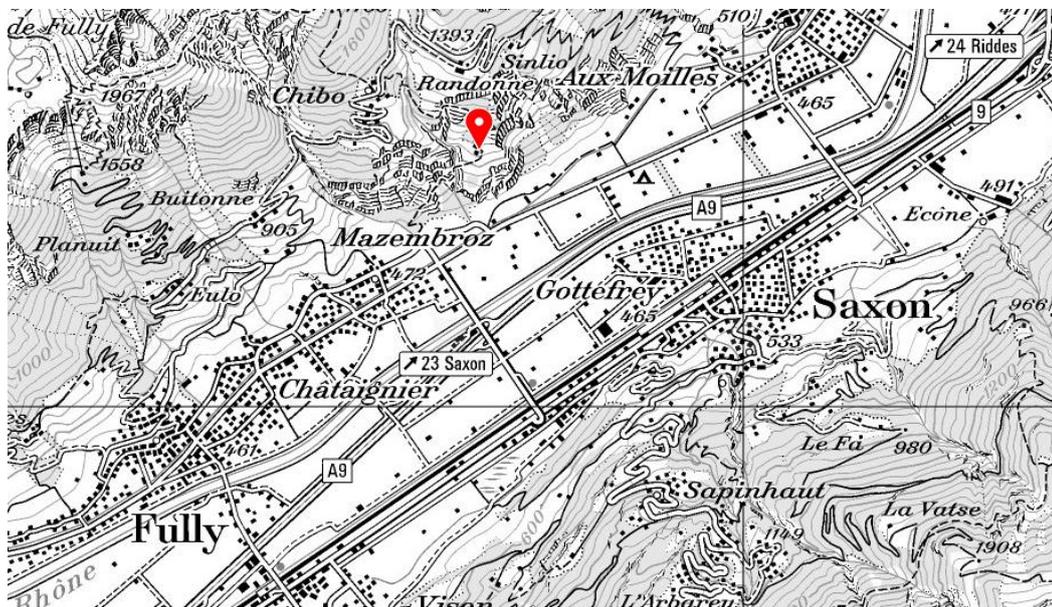


Figure 2: Situation géographique

4.1. Equipements actuels

Comme mentionné précédemment, toute l'installation est ancienne et usée, que ce soit au niveau des conduites, des machines hydrauliques, de l'automatisation et du raccordement électrique.

4.1.1. Turbo-groupes

Le site est composé de 4 turbo-groupes de différentes puissances.



Figure 3: Turbo-groupe 1 :
Source [9.1]: (Rapport de visite des aménagements liés au turbinage du Torrent de Beudon, Juin 2016)



Figure 4: Turbo-groupe 2



Figure 5: Turbo-groupe 3
Source [9.2] : (Evaluation de performance de la microcentrale hydroélectrique du domaine de Beudon., janvier 2017)



Figure 6: Turbo-groupe 4

Dans l'été actuel, les seuls turbo-groupes qui sont en fonction sont le 1, le 2 et le 4, tandis que le turbo-groupe numéro 3 est hors service. Voici les puissances installées des différents turbo-groupes.

- Turbo-groupe 1 : Puissance électrique 30 kW
- Turbo-groupe 2 : Puissance électrique 11 kW
- Turbo-groupe 3 : Puissance électrique 7.5 kW
- Turbo-groupe 4 : Puissance électrique 4 kW

4.1.2. Conduites forcées

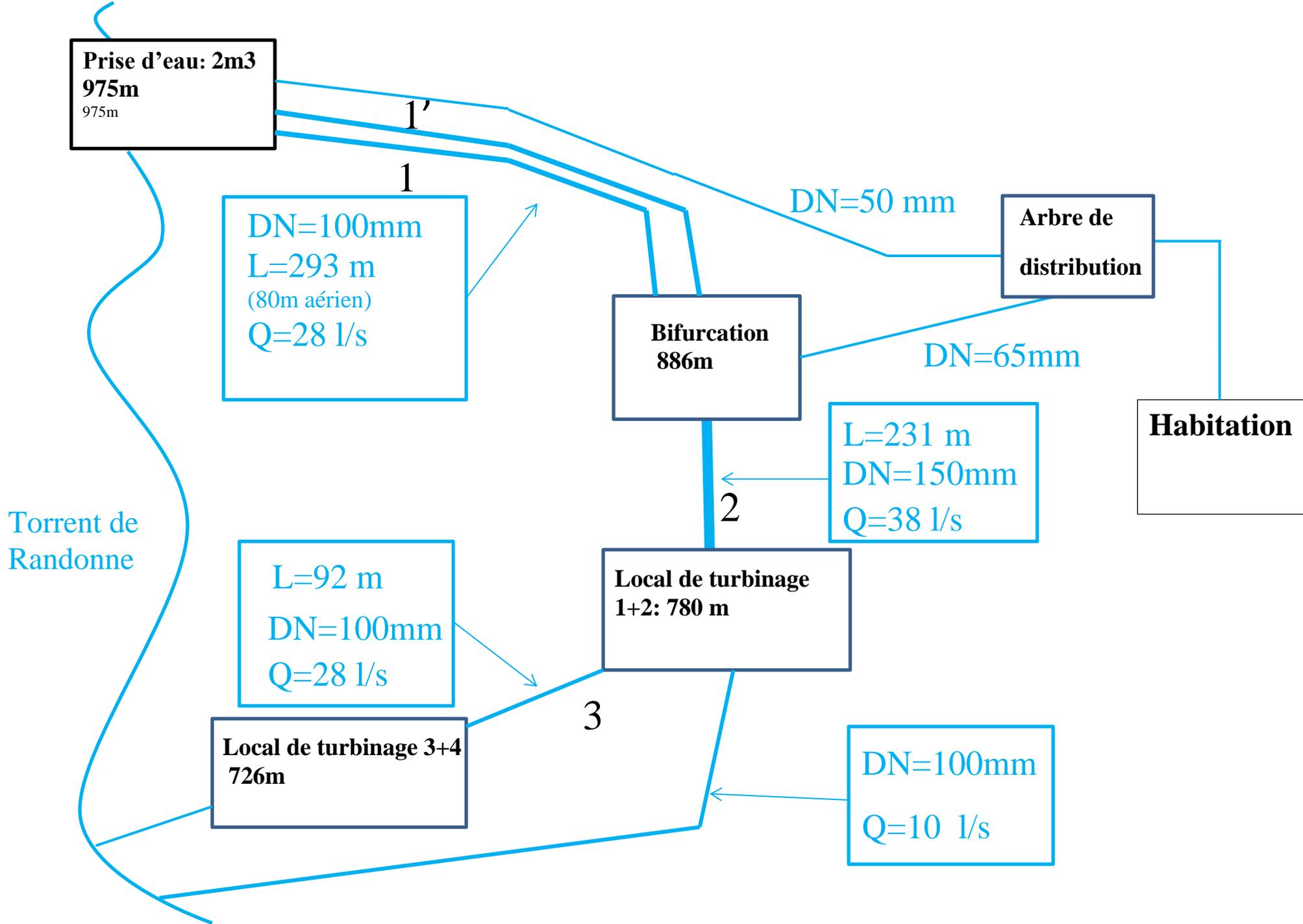
Le système des conduites forcées est assez compliqué, car au fil des années il a subi plusieurs modifications. Les conduites utilisées ont différents diamètres et différentes longueurs. L'eau du torrent de Randonne est utilisée pour les besoins en irrigation, en eau potable, pour alimenter la réserve-incendie du domaine de Beudon et une partie pour la production d'électricité grâce aux installations hydroélectriques. Un système de bifurcation comprenant divers by-pass a été installé pour assurer tous les besoins de l'habitation et du domaine agricole. Après une prise en contact avec les ouvriers et Madame Granges, la consultation de plusieurs documents rédigés par Martin Schwarz et Jaques Granges (documents sources : [0.1], [0.2], [0.3], [0.4], [0.5], [0.7], [0.9] et [0.11]) et des visites sur place, j'ai pu réaliser un premier schéma de l'aménagement de turbinage de Beudon. Sur la base des documents consultés, les schémas hydrologiques ne correspondent pas les uns avec les autres. Pour effectuer le schéma de l'aménagement de turbinage de Beudon, j'ai pris comme référence le schéma le plus récent, qui date de 2008 (document source : [0.11]). À l'aide de ce document, j'ai eu la possibilité de dessiner le schéma suivant, qui illustre les différents diamètres des conduites, les longueurs et les débits d'équipements respectifs. Les conduites forcées sont en grande partie enterrées mais il y a aussi une bonne partie qui sont aériennes. Comme on peut bien voir sur la photo ci-dessous un tronçon de 80 m passe à travers la vallée.



Figure 7: Conduites forcées



Figure 8: Système de bifurcation



4.1.3. Prise d'eau

La prise d'eau a pour objectif d'accueillir suffisamment d'eau pour alimenter la turbine qui se trouve en aval. La capacité de la prise d'eau actuelle est largement inférieure aux besoins du site, effectivement la capacité est de 2 m³. La prise d'eau actuelle est équipée d'un premier bassin avec un petit système de dégrillage, pour enlever les particules qui pourraient endommager la turbine en aval (feuilles, morceaux de bois etc.) La prise d'eau est aussi munie d'un tube de vidage (tube orange) qui a l'utilité de vider la prise d'eau lors d'un travail d'entretien ou d'un nettoyage. Un système de trois conduites forcées part de la prise d'eau, deux seront utilisées pour alimenter la turbine en aval et une pour les besoins en eau potable et irrigation du site.



Figure 10: Prise d'eau vide



Figure 9: Système de dégrillage



Figure 11: Prise d'eau pleine

4.1.4. Contrôle commande

Le système de contrôle commande est obsolète, il date de la mise en service de la centrale. Pendant des années, il a subi plusieurs modifications et modernisations. Le remplacement serait tout à fait indispensable pour une bonne réussite du projet si on considère l'âge et l'état du système. Voici quelques photos qui montrent l'état actuel du système de contrôle commande.



Figure 12: Tableau de commande turbo-groupe 4

Figure 13: Tableau électrique principal



Figure 14: Tableau de commande turbo-groupe 1

5. Données de base

5.1. Dénivellation

La dénivellation (appelée aussi chute brute) est définie comme la différence d'altitude entre le plan d'eau amont à la chambre de collecte de mise en charge et l'axe de l'injecteur de la turbine.

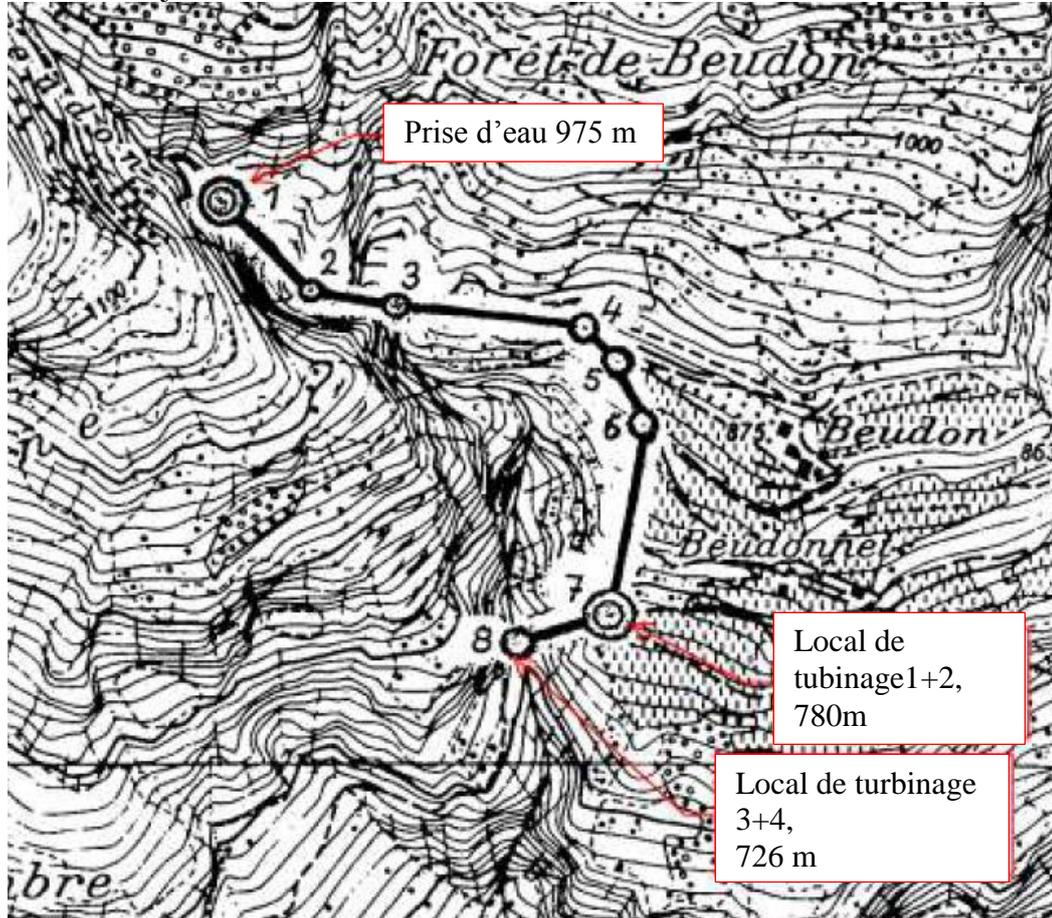


Figure 15: Dénivellation Domaine de Beudon : Source document [0.1]

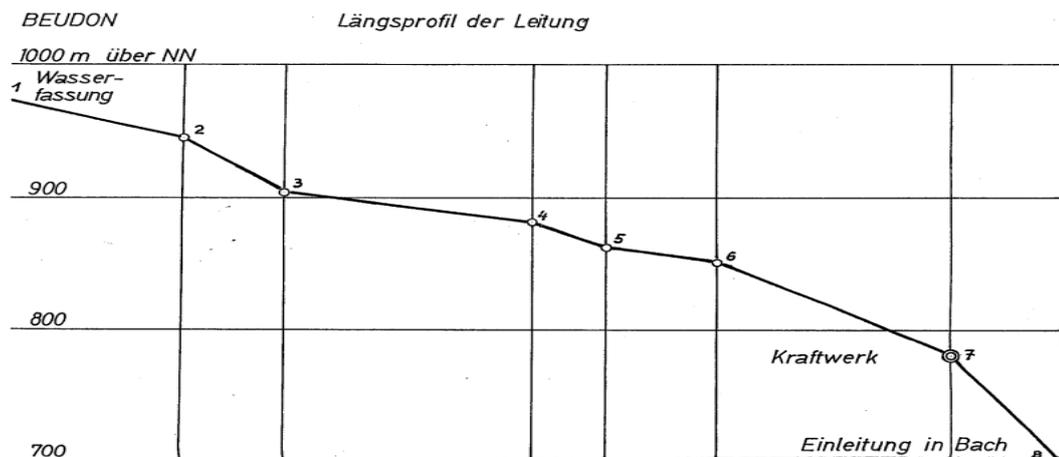


Figure 16: Profil en long du site de turbinage : Source document [0.1]

Le site de Beudon possède une dénivellation maximale de 249 m définie par :

- Une prise d'eau à 975 m.
- Une restitution à 726 m.

Les locaux de turbinage 1 et 2 possèdent une dénivellation de 195 m, définie par :

- Une prise d'eau à 975 m.
- Le local de turbinage 1 et 2 à 780 m.

La dénivellation des locaux de turbinage 3 et 4 est de 54 m, définie par :

- Le local de turbinage 1 et 2 à 780 m.
- Le local de turbinage 3 à 726 m.

5.2. Chute nette et chute brute

La chute nette doit être distinguée de la chute brute, c'est-à-dire de la différence d'énergie entre le point haut et le point bas de l'aménagement; en effet, l'énergie perdue dans les conduites qui précèdent ou suivent la turbine n'est plus à disposition pour être transformée en énergie mécanique. La chute brute H_b est alors simplement donnée par la différence d'altitude des surfaces libres de l'eau dans ces bassins. Lorsqu'elle parcourt la conduite, l'eau perd au total l'énergie que j'ai appelée ΔH_r (pertes de charges), si bien qu'il reste à la turbine la chute nette. Comme je vais en parler dans les paragraphes qui suivent, les pertes de charge vont influencer fortement la production d'électricité de la centrale hydroélectrique.

$$H_n = H_b - \Delta H_r$$

où	H _b : Chute brute	[m]
	H _n : Chute nette	[m]
	ΔH_r : Pertes de charges	[m]

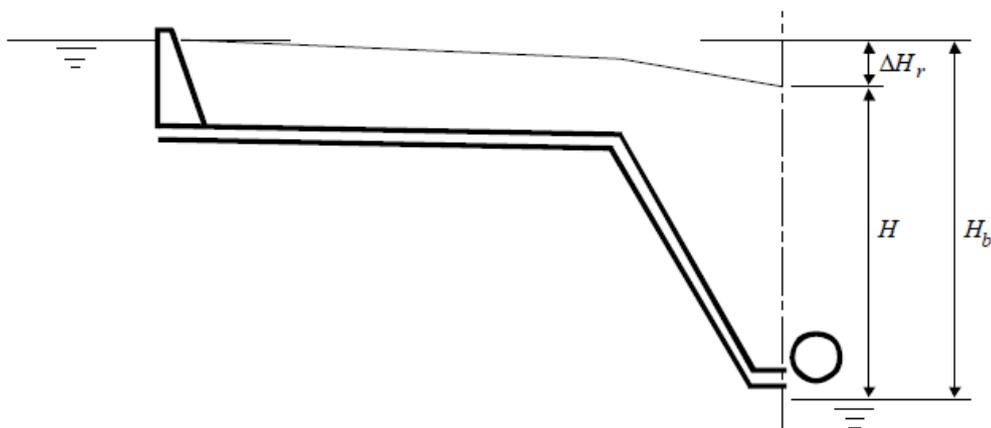


Figure 17: Différence entre chute nette et brute : Source [1.1] (Guide pour l'étude sommaire de petites centrales hydrauliques, 2009)

5.3. Pertes de charges dans les conduites

Afin de déterminer les possibilités d'augmentation de production de la centrale hydroélectrique, une détermination des caractéristiques des conduites existantes est importante.

Pertes de charge actuelles

Tronçons		1	2	3
Débit d'équipement	l/s	28	38	28
Dénivellation	m	89	106	54
Longueur de la conduite	m	293	231	92
Diamètre de la conduite	mm	100	150	100
C_conduite	m/s	3.56	2.15	3.56
Re	-	3.57E+05	3.23E+05	3.57E+05
K	mm	0.10	0.10	0.10
D/K	-	1.00E+03	1.50E+03	1.00E+03
λ0		0.02	0.02	0.02
λ1		0.023	0.023	0.023
Perte	m	45.02	8.60	14.13
Chute nette	m	43.98	97.39	39.86
Rendement conduite	%	49.42	91.88	73.82
Total	m	67.76		

Tableau 1: Pertes de charges actuelles (les nombres des tronçons se réfèrent au schéma à page 11)

Selon le schéma hydrologique réalisé précédemment (page 11), j'ai eu la possibilité de calculer toutes les pertes de charge dans les conduites forcées.

Les pertes de charge ont été calculées à l'aide du nombre de Reynold et la formule de Colebrook.

Le nombre de Reynolds permet de définir si l'écoulement dans la conduite est laminaire ou bien turbulent. Si le nombre de Reynolds est supérieur à 2300 l'écoulement est turbulent.

$$Re = \frac{C * D}{\nu}$$

où

C : vitesse de l'écoulement	[m/s]
D : diamètre intérieure de la conduite	[m]
ν : viscosité	[m ² /s]
Re : nombre de Reynolds	[-]

Selon la formule qui suit j'ai calculé les pertes de charge dans les conduites :

$$Hr = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{C^2}{2 * g}$$

où

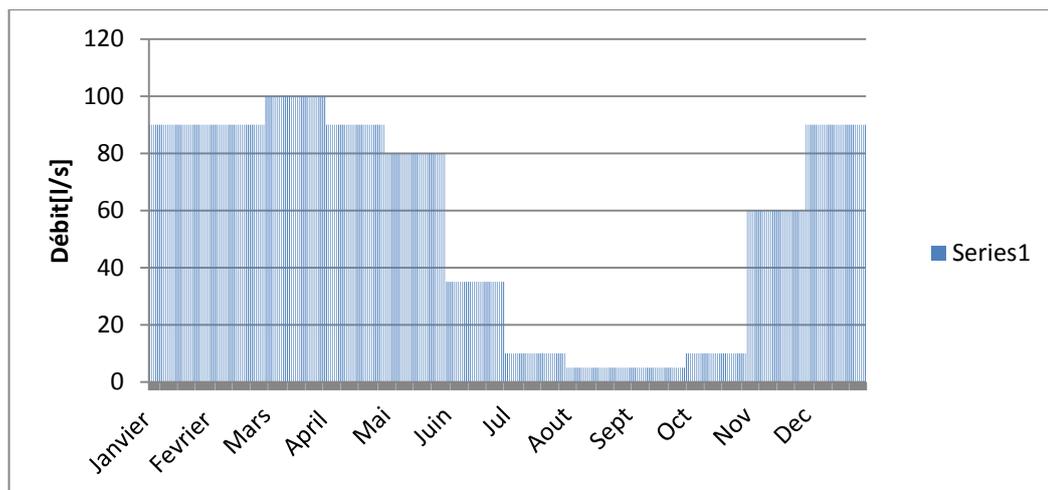
C : vitesse de l'écoulement	[m/s]
L : longueur conduite	[m]
g : accélération de la pesanteur	[m/s ²]
λ : coefficient de pertes de charge	[-]
Hr : pertes de charges	[m]

Le tableau 1 met en évidence que le rendement de la conduite numéro 1 est largement inférieur pour un bon fonctionnement hydrodynamique de l'installation. Pour cette raison, un remplacement de cette conduite sera une voie essentielle à suivre pour la réussite du projet.

5.4. Hydrologie

La quantité d'eau disponible pour le turbinage a une influence directe sur la quantité d'énergie que peut produire un aménagement et il est par conséquent très important de la déterminer le plus précisément possible. Cette quantité d'eau varie bien-sûr d'une heure à l'autre, d'un jour à l'autre, d'un mois à l'autre et aussi d'une année à l'autre, cela en fonction des précipitations qui alimentent les sources ou cours d'eau, en fonction de la température qui favorise la fonte de la neige, ou en fonction des besoins des utilisateurs en eau. Il n'est donc pas possible de prédire de façon exacte les débits turbinables à un instant donné. Il n'est pas nécessaire non plus de connaître l'évolution heure par heure, mais, en général, des moyennes mensuelles sont suffisantes pour calculer de façon fiable l'énergie qui pourra être produite en une année.

Les seules mesures de débit propres au torrent utilisées par l'aménagement de Beudon (Torrent de Randonne) sont les mesures de débit réalisées en 1993 dans le cadre du « *Dossier de demande de concession* » établi par Mr. Jacques Grange en 1993.



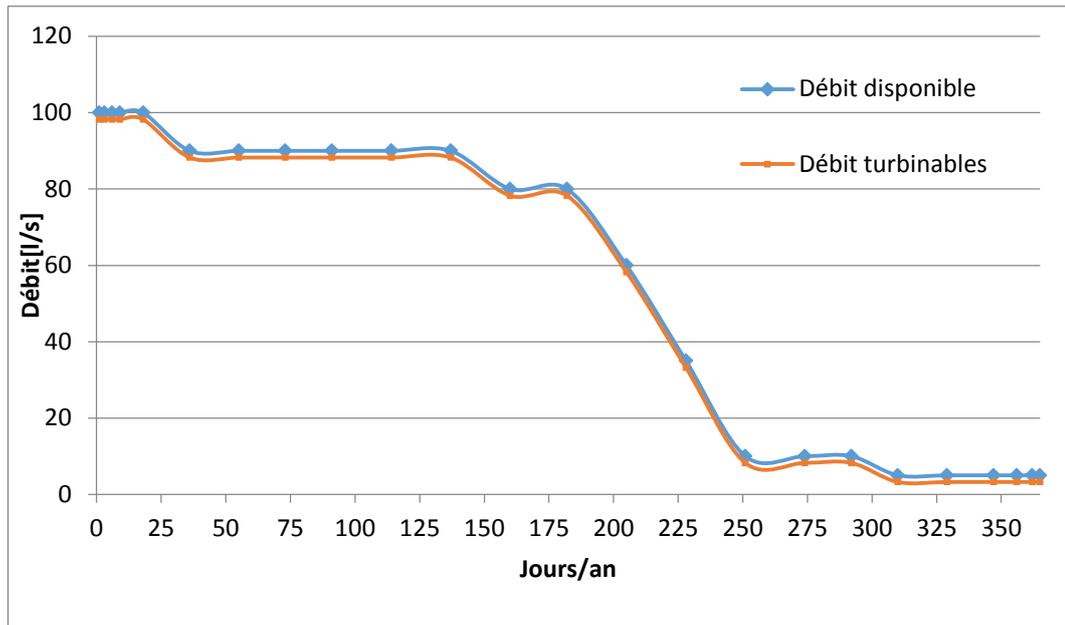
Graphique 1: Débits mensuels du torrent de Beudon année 1993 : Source document [0.1]

Le graphique a été extrapolé du graphe qu'on trouve dans le document [0.1] « *Dossier de demande concession* ») établi par Mr. Granges. Le graphique que je trouve dans le document [0.1] a été constitué à partir de mesure prises en 1993 et des estimations basées sur l'observation du torrent depuis plusieurs années. Les mesures du débit selon Mr. Granges ont été étudiées avec précision. Ces données me permettent de réaliser la courbe des débits classes. Cette courbe est indispensable pour la suite de mon projet afin de déterminer des facteurs essentiels pour le dimensionnement des installations hydroélectriques, pour les calculs de production d'énergie et ensuite pour ceux de rentabilité économique de l'aménagement.

Les caractéristiques des volumes d'eau sont les suivantes :

- Débit mensuel moyen minimal : 5 l/s (en septembre et octobre).
- Débit mensuel moyen maximal : 100 l/s (en mars).
- Débit moyen : 55 l/s.

5.4.1. Courbe débits classes



Graphique 2: Courbe débits classe

La courbe des débits classes me permet de définir les paramètres suivants :

- Le Q347, débit atteint ou dépassé, 347 jours, par an.
 - Q347 : 5 l/s

Le débit Q347 sert à déterminer le débit résiduel minimal selon l'article 31 et 32 de LEaux (Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux [4.5]). Il faut remarquer que la détermination de Q347 n'est qu'un premier pas en vue de la fixation de débits résiduels convenables, qui doivent remplir en plus les exigences de l'article 31, alinéa 2 ou de l'article 32 alinéa a et b, LEaux[4.5].

- Le débit turbinable, qui correspond au débit disponible moins le débit résiduel.

$$Q_{tur} = Q_{dis} - Q_{res}$$

- Le débit d'équipement Qn (ou débit nominal), qui représente le débit dépassé entre le 60ème et 100ème jour de l'année.
 - Qn = 90 l/s
- Le débit résiduel, qui selon l'alinéa b de l'article 32 sur la protection des eaux [4.5], correspond au moins au 35 % du débit Q347, lorsque les prélèvements sont opérés dans des eaux non piscicoles, ce qui est le cas du Torrent de Beudon.
 - Qres= 1.75 l/s

Mr. Roduit (contacté le 14.07.2017), travaillant au Canton du Valais, département des finances et de l'énergie, service de l'énergie et des forces hydrauliques, m'a confirmé que le torrent en question n'est pas piscicole.

Le débit résiduel est le débit d'eau qui reste dans le lit du cours d'eau après le prélèvement pour la turbine et avant le retour de l'eau turbinée.

Le débit résiduel a pour but :

- d'assurer la survie des poissons
- d'alimenter les eaux souterraines
- de favoriser la diversité des espèces
- de valoriser le paysage
- de créer des espaces d'alluvions
- d'assurer la propreté des cours d'eau

La quantité exacte du débit résiduel devra être confirmée et approuvée par l'instance officielle cantonale.

6. Potentiel du site

Le site de Beudon possède un très grand potentiel. Pour effectuer le calcul de la puissance électrique théorique au débit nominal, j'ai utilisé un rendement de la turbine de 90 % et de 95 % pour l'alternateur.

Selon les différentes variantes, la puissance hydraulique brute modifie :

- Variante 1 :
 - Premier palier
 - Chute brute : 195 [m]
 - Débit d'équipement : 38 [l/s]
 - Puissance hydraulique brute : 72 [kW]
 - Puissance élec installée : 30+11= 41 [kW]
 - Puissance élec théorique au débit nominal : 62 [kW]
 - $Gain\ possible = 1 - \frac{P_{elec\ installée}}{P_{elec\ théorique}} = 34$ [%]

Pour la variante correspondante, j'arrive à déterminer que le site pourra bénéficier d'une augmentation de la puissance électrique au débit nominal d'environ 34 [%] par rapport au présent.

- Variante 2 :
 - Premier palier
 - Chute brute : 195 [m]
 - Débit d'équipement : 90 [l/s]
 - Puissance hydraulique brute : 172 [kW]
 - Puissance élec installée : 30+11= 41 [kW]
 - Puissance élec théorique au débit nominal : 147 [kW]
 - $Gain\ possible = 1 - \frac{P_{elec\ installée}}{P_{elec\ théorique}} = 72$ [%]

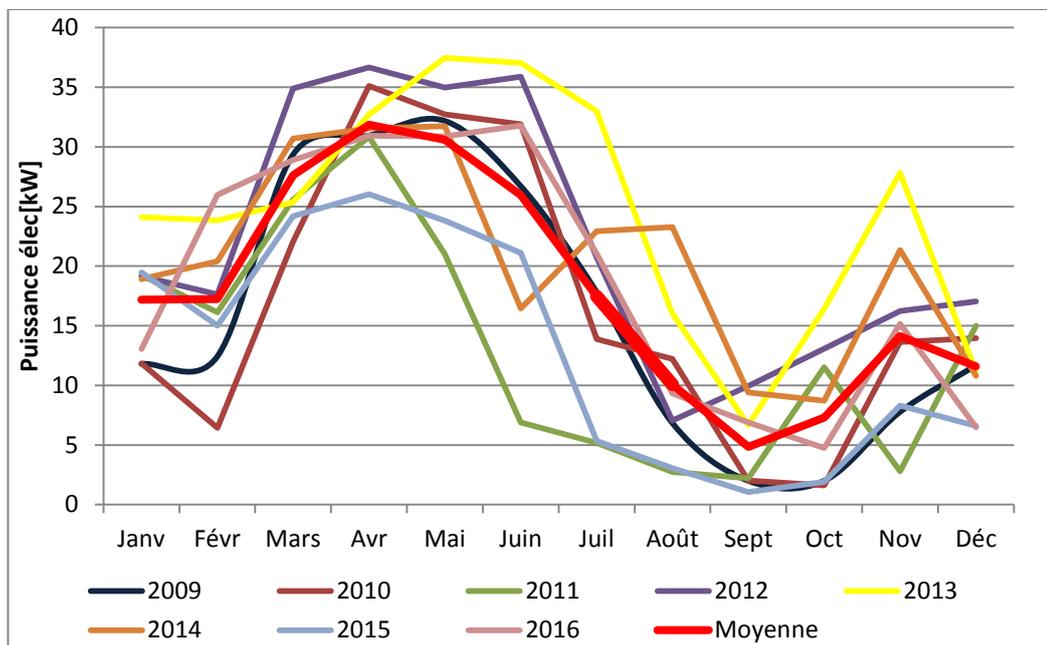
Par ailleurs, la variante 2 donnera la possibilité d'augmenter la puissance électrique au débit nominal de 72 [%] par rapport à l'état actuel.

7. Puissance électrique et production annuelle

7.1. Puissance

D'après les données qui m'ont été transmises par le Système Industriel de Fully, j'ai pu réaliser le graphique suivant. Les paramètres fournis indiquent la production du site pour plusieurs années au quart d'heure. Les données ont été reprises du compteur dédié uniquement à l'électricité injectée dans le réseau pour tout l'aménagement hydroélectrique de Beudon.

Le graphique ci-dessous relève la puissance moyenne mensuelle électrique de tout l'aménagement hydroélectrique (turbo-groupe 1, 2,3 et 4) depuis 2009 jusqu'à 2016.

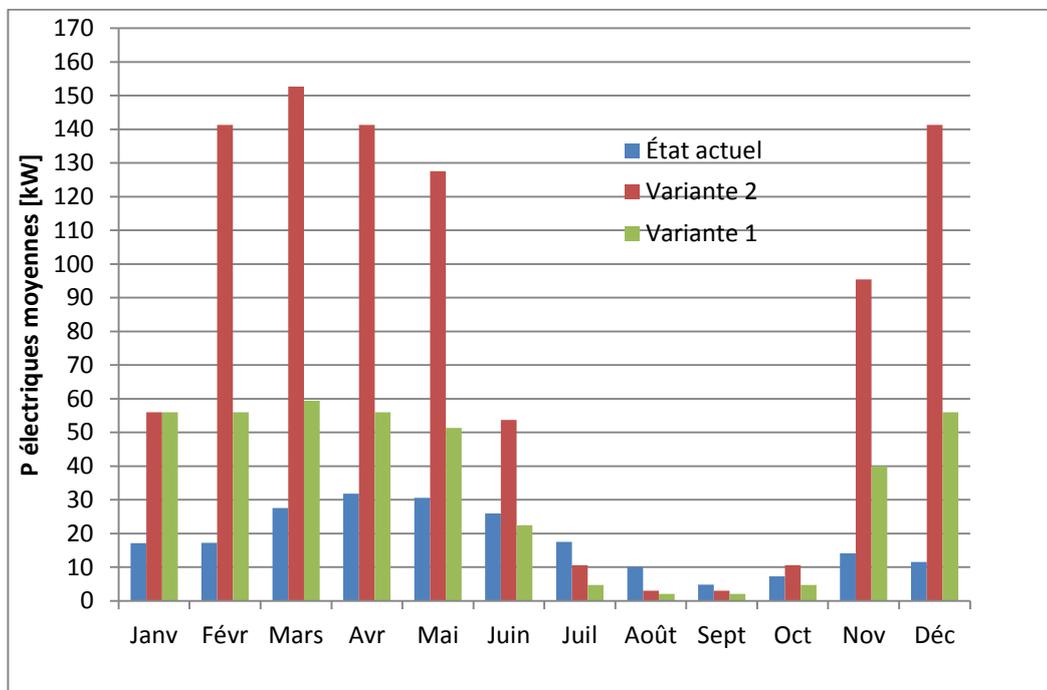


Graphique 3: Puissance moyenne mensuelle, annuelle

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Janv	12	12	19	19	24	19	19	13
Févr	12	6	16	18	24	20	15	26
Mars	29	22	26	35	25	31	24	29
Avr	31	35	31	37	33	32	26	31
Mai	32	33	21	35	37	32	24	31
Juin	27	32	7	36	37	16	21	32
Juil	18	14	5	21	33	23	5	21
Août	7	12	3	7	16	23	3	9
Sept	2	2	2	10	7	9	1	7
Oct	2	2	12	13	16	9	2	5
Nov	8	14	3	16	28	21	8	15
Déc	12	14	15	17	11	11	7	6

Tableau 2: Puissances électriques moyennes en kW, mensuelles

Selon les plaques présentes sur les machines installées sur le site, la puissance électrique maximale installée de l'aménagement entier est de 52.5 [kW] (30+11+4+7.5). Je peux constater grâce au graphique 3 que cette puissance n'est jamais exploitée au maximum. La puissance maximale exploitée est de 37 [kW], pendant les mois de mai et juin en 2013. Ce phénomène peut être dû aux mauvaises régulations des machines hydrauliques mais aussi aux non mises en service des certains turbo-groupes pendant l'année. Malheureusement, je ne connais pas la date précise de la mise hors service du turbo-groupe 3 ainsi que la période de fonctionnement du turbo-groupe 2, car normalement il est mis en fonction manuellement seulement pendant les périodes creuses. On peut constater que le site parvient à sa puissance maximale environ 4 mois par an (mars, avril, mai et juin.). Le graphique suivant démontre comme avec une rénovation des conduites et des machines hydrauliques l'aménagement pourrait augmenter sa puissance électrique.



Graphique 4: Puissances électriques, moyennes mensuelles

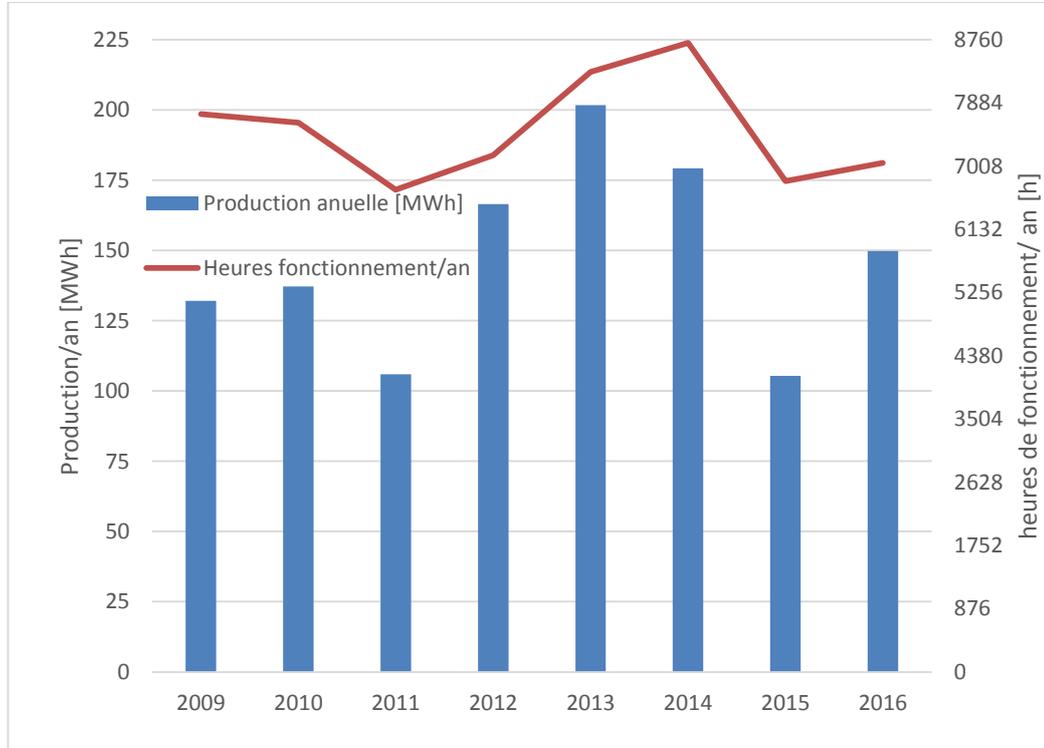
Voici la puissance électrique maximale moyenne actuelle et celle des différentes variantes :

- Puissance électrique maximale :
 - État actuel : 31 [kW]
 - Variante 1 : 60 [kW]
 - Variante 2 : 152 [kW]

7.2. Production

7.2.1. Actuelle

Les données fournies par le Service Industriel de Fully me permettent de plus de déterminer la production du site depuis l'année 2009, année où le turbo-groupe n° 2 a été mis en service, jusqu'en 2016.



Graphique 5 : Production et heures de fonctionnement moyennes annuelles

La production annuelle moyenne sur la période 2009-2016 peut être facilement déterminée. Elle est de 147'198 [kWh].

Sont à considérer pour le premier palier une dénivellation de 195 m, un débit nominal de 38 l/s et une perte de charge au débit nominal correspondante de 13.78 m, avec le changement partiel de conduites forcées (voir chapitre 8.3). Idem pour le deuxième palier je considère : une dénivellation de 54 m, un débit nominal de 28 l/s et une perte de charge correspondante de 14.4 m (voir chapitre 5.3). Si j'applique un rendement maximum de turbine de 90% et un rendement maximum de l'alternateur de 95%, la puissance maximum possible pour le site au débit nominal, en modifiant une partie de conduites forcées (voir variante 1), est donné par :

$$Pel = \eta_C * \eta_T * \eta_G * \rho * Q_n * g * H_b$$

où	η_C : rendement conduite	[%]
	η_T : rendement turbine	[%]
	η_G : rendement génératrice	[%]
	ρ : masse volumique de l'eau=1000	[kg/m ³]
	g : constante de gravité = 9.81	[m/s ²]
	H_b : chute brute	[m]
	Q_n : débit nominal	[m ³ /s]

Ainsi, la puissance électrique maximale au débit d'équipement des installations devrait être de :

- Premier palier : 58 kW
- Deuxième palier : 9.3 kW

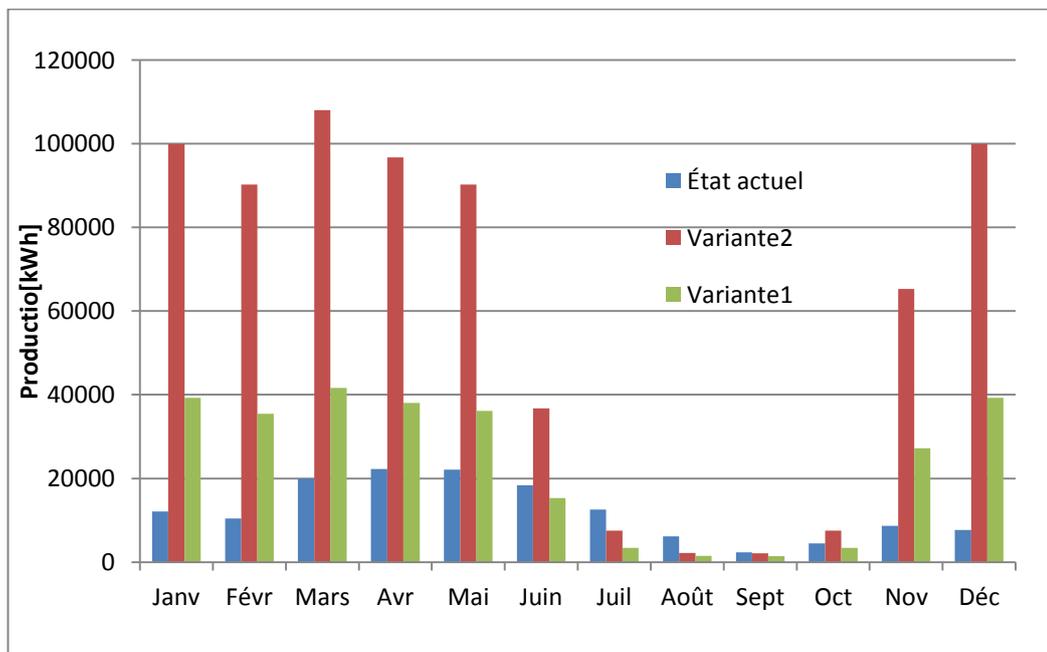
Comme mentionné dans le chapitre 6, je peux constater que les turbo-groupes installés sur le site ne sont pas optimaux, puisqu'ils fournissent au mieux une puissance de 37 kW (selon les données du SI de Fully), sur la période de hautes eaux (4 mois, 120 jours). Le site possède un potentiel de 58 kW (premier palier) et 9.3 kW (deuxième palier), pour un total de 67.3 kW. Donc, le site à l'état actuel exploite uniquement la moitié de son potentiel actuel pendant la période creuse. Ce défaut de puissance représente une perte d'énergie produite d'environ :

$$Energie\ perdue = (67.3 - 37) * (120 * 24) = 87'264 [kWh]$$

Ce qui représente environ le 60 % de la production annuelle actuelle moyenne du site, soit la consommation annuelle moyenne d'environ 17 ménages en Suisse (si on considère qu'un ménage de 5 personnes en Suisse consomme environ 5'000 kWh/an).

7.2.2. Futur

Les modifications que j'ai élaborées au cours de ce projet pour les deux variantes, permettront d'augmenter considérablement la production d'énergie sur place. La courbe des débits mensuels du torrent de Beudon, rédigée en 1993, me permet de déterminer les débits moyens pour chaque mois de l'année. Ces valeurs peuvent ensuite être utilisées pour calculer la production moyenne qu'il serait possible d'obtenir avec une rénovation complète de l'aménagement.



Graphique 6: Production du site moyenne mensuelle

La production électrique annuelle est déterminée à l'aide de la courbe des débits classes, avec laquelle j'arrive à déterminer la puissance électrique en fonction du débit turbiné, grâce à l'expression suivante :

$$Pel(Q_t) = 10^{-3} * \rho * g * \eta_T(Q_t) * \eta_G(Q_t) * H_n(Q_t)$$

où	Pel : puissance électrique	[kW]
	Qt : débit turbiné	[m ³ /s]
	$\eta_T(Q_t)$: rendement turbine en fonction du débit	[%]
	$\eta_G(Q_t)$: rendement gén. en fonction du débit	[%]
	Hn(Qt) : chute nette en fonction du débit	[m]
	ρ : masse volumique de l'eau=1000	[kg/m ³]
	g : constante de gravité = 9.81	[m/s ²]

La puissance électrique trouvée sera multipliée par les heures de fonctionnement journalières du turbo-groupe.

$$E_{tot} = 10^{-3} * \sum Pel(Q_t) * h * Taux$$

où	Etot : production électrique totale annuelle	[MWh/an]
	Pel(Qt) : puissance élec. en fonction du débit	[kW]
	Taux : taux de fonctionnement turbo-groupe= 95	[%]
	h: heures pendant une journée=24	[heures]

Le site aura une production plus au moins constante pendant 6 mois de l'année (décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

Le graphe de production, illustre très bien le potentiel d'amélioration sur ce lieu. Comme déjà mentionné la production actuelle moyenne est de 147'198 [kWh]. Avec une rénovation, le site pourrait amener sa propre production d'énergie électrique à :

- 282'000 kWh pour la variante 1, ce qui correspond approximativement au double de la production actuelle et qui représente la consommation annuelle moyenne d'environ 61 ménages en Suisse.
- 707'000 kWh pour la variante 2, ce qui correspond à 4.8 fois en plus de ce que le site produit actuellement et qui représente la consommation annuelle moyenne d'environ 141 ménages en Suisse.

Ces résultats sont toutefois à considérer comme un ordre de grandeur qualitatif, car les mesures de débit sur le torrent ont été réalisées seulement sur une période d'une année. Pour pouvoir avoir des résultats plus clairs et détaillés, il faudrait effectuer ces mesures sur une période d'au moins 3, idéalement 10 ans. Les mesures exécutées sur une plus longue période me permettront de comparer les différentes années et me donneront une précision sur ces résultats beaucoup plus élevée.

8. Mesures à prendre

8.1. Augmentation de la quantité d'eau turbinée

L'augmentation de la quantité d'eau turbinée est un des points essentiels de ce projet. Selon les données hydrauliques, j'ai pu déterminer le débit d'équipement turbiné avec une modification des conduites forcées et de la prise d'eau (voir variante 1 et 2). Le changement total des conduites forcées et une modification de la prise d'eau ferait bénéficier le site d'une augmentation du débit d'équipement de 38 l/s à 90 l/s (variante 2) ce qui correspond à plus du double du débit actuel. L'augmentation du débit permettrait un accroissement de la puissance hydraulique et par conséquent de la production d'énergie électrique.

8.2. Remplacement de la prise d'eau

Comme déjà mentionné dans le chapitre 4.1.3 la capacité de la prise d'eau actuelle est largement inférieure pour pouvoir alimenter les besoins en eau des nouvelles installations hydroélectriques. L'augmentation de la capacité ou la modification de la prise d'eau doit être effectuée.

8.3. Remplacement des conduites forcées

Comme déjà indiqué, les pertes de charge dans les conduites actuelles sont très importantes. Il n'est dès lors pas possible d'envisager une augmentation de débit deux fois plus élevé sans intervenir sur les conduites forcées. Pour les deux variantes, des modifications sur le réseau hydraulique sont inévitables :

- Variante 1 : Remplacement de deux petites conduites forcées entre la prise d'eau et la bifurcation (voir schéma hydrologique page 11), de diamètre intérieur de 100 mm avec une grande conduite de diamètre intérieur de 163.6 mm (PN 16, diamètre extérieur 180 mm, selon la norme des abaques des dimensionnement fournies par Stalder extrusion et Hakagerodur (Sources : [8.1], [8.2])). En considérant une rugosité de 0.1 mm, la perte de charge à 38 l/s (débit nominal) serait ainsi limitée à 7.15 m, soit 8.03 % de la dénivellation, ce qui implique un rendement de conduite similaire à ce que l'on peut attendre.

Tronçons		1	2	3
Débit d'équipement	l/s	38	38	28
Dénivellation	m	89	106	54
Longueur de la conduite	m	293	231	92
Diamètre de la conduite	mm	164	150	100
Cconduite	m/s	1.81	2.15	3.57
Re	-	2.96E+05	3.23E+05	3.57E+05
K	mm	0.10	0.10	0.10
D/K	-	1.64E+03	1.50E+03	1.00E+03
λ_0		0.02	0.02	0.02
λ_1		0.024	0.024	0.024
Perte	m	7.15	8.70	14.28
Chute nette	m	81.85	97.30	39.72
Rendement conduite	%	91.97	91.79	73.55
Total	m		30.13	

Tableau 3: Pertes de charges avec modification partielles conduites

- Variante 2 : Substitution entière des conduites forcées entre la prise d'eau et le local de turbinage 1+2 (voir schéma hydrologique, page 11). Concrètement, il conviendrait de la remplacer sur toute sa longueur pour installer une conduite de diamètre intérieur de 220 mm au minimum ou 300 idéalement. Si je considère une rugosité de 0.1 mm, la perte de charge à 90 l/s serait limitée à 16 m, ce qui correspond à 8.18 % de la dénivellation totale est à un rendement de la conduite de 91,82 %, ce qui correspond à un rendement acceptable.

Choix diamètre conduite						
Débit d'équipement	l/s	90	90	90	90	90
Dénivellation	m	195	195	195	195	195
Longueur de la conduite	m	524	524	524	524	524
Diamètre interne de la conduite	mm	220	240	260	280	300
Cconduite	m/s	2.36	1.98	1.69	1.46	1.27
Re	-	5.21E+05	4.77E+05	4.41E+05	4.09E+05	3.82E+05
K	mm	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
D/K	-	2.20E+03	2.40E+03	2.60E+03	2.80E+03	3.00E+03
λ_0		0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
λ_1		2.57E-02	2.57E-02	2.57E-02	2.57E-02	2.57E-02
Perte		15.95	10.32	6.92	4.77	3.38
Chute nette	m	179.04	184.67	188.08	190.22	191.62
Rendement conduite	%	91.82	94.70	96.45	97.55	98.26

Tableau 4: Pertes de charges avec modification totales conduites

8.4. Remplacement des machines hydrauliques

8.4.1. Turbine

La turbine est le cœur d'une centrale hydraulique. Les faibles rendements des turbines, leurs durées d'exploitation actuelles (20 ans) et l'augmentation du débit disponible rendent inévitable et souhaitable leur remplacement.

8.4.2. Générateur

Le choix du générateur et du système de régulation dépend en premier lieu du mode de fonctionnement de la microcentrale : en parallèle avec le réseau de distribution électrique ou en régime isolé. L'installation de Beudon fonctionne en régime parallèle, l'installation injecte du courant électrique dans le réseau de distribution local. Les microcentrales de puissance inférieure à 300 kW sont essentiellement équipées des **générateurs asynchrones**. La tension et la fréquence sont dictées par le réseau de distribution et sont constantes. La machine asynchrone est simple, de construction robuste et d'un prix de revient relativement modique.

8.5. Remplacement ou renforcement du raccordement électrique

La puissance de l'installation étant sensiblement augmentée, de ce fait une rénovation du raccordement électrique actuel doit être entreprise. Le raccordement électrique actuel a été dimensionné pour une puissance beaucoup plus faible par rapport à la puissance qui serait injectée sur le réseau avec la rénovation de la centrale, soit pour la variante numéro 1 de même que pour la variante numéro 2.

8.5.1. Schéma de raccordement actuel

À l'aide du document [0.1], j'ai pu réaliser le schéma du raccordement électrique actuel du domaine de Beudon. Le schéma date de 1993, des modifications ont été réalisées sur le site. La consultation d'un extrait du plan de la ligne électrique souterraine et aérienne « Station transformatrice Grand Blettay/gare de départ de l'ancien téléphérique de Beudon » (Annexe 8) fourni par le SI de Fully et des visites sur site m'ont permis de réaliser le schéma actuel de la ligne électrique de la microcentrale hydroélectrique de Beudon.

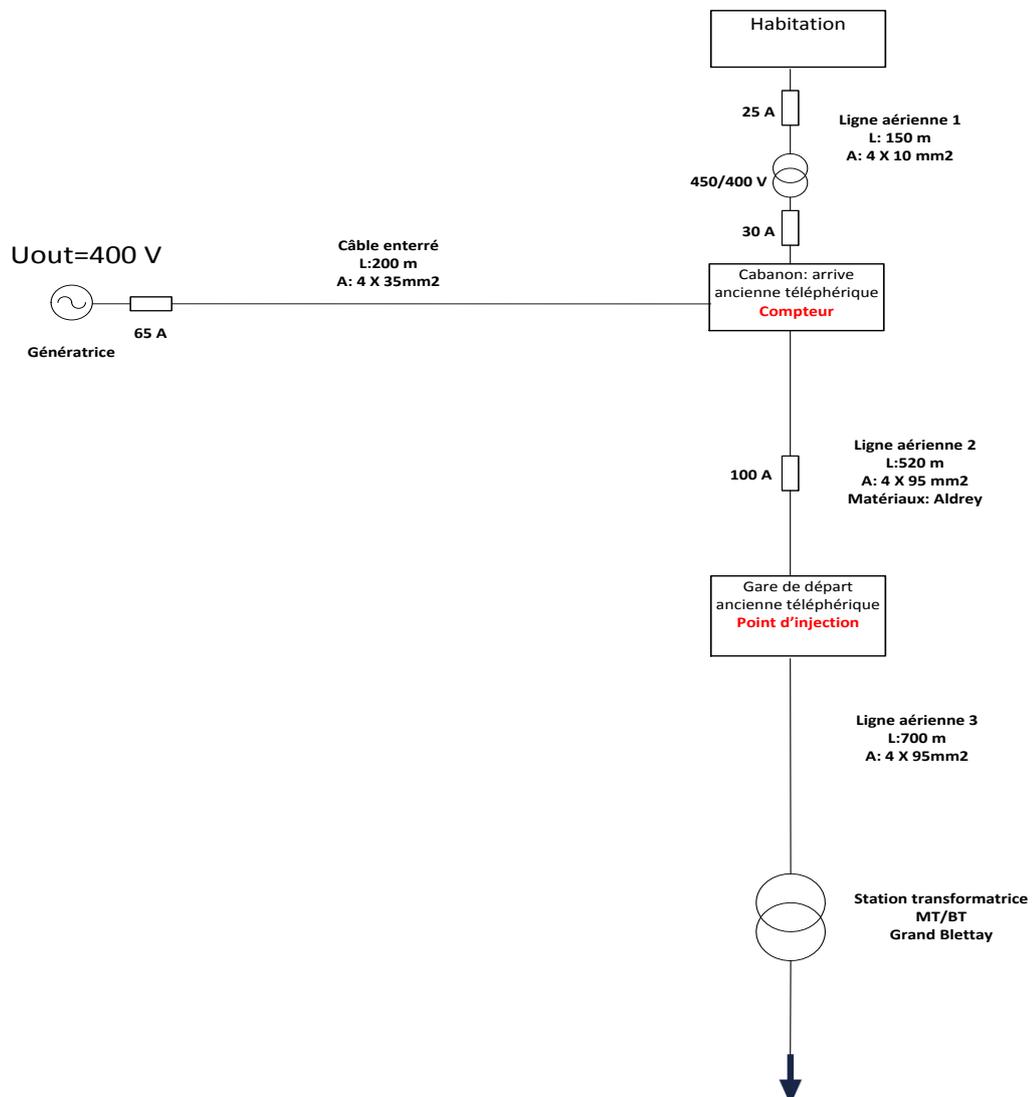


Figure 18: Schéma électrique microcentrale hydroélectrique de Beudon

La ligne aérienne passe par les pylônes de l'ancien téléphérique Grü-Bedon, mis hors service en 1978 suite à un grave accident survenu en juillet 1978 après 31 ans d'existence. Les pylônes de cet ancien téléphérique continuent à soutenir la ligne aérienne qui conduisent l'électricité au domaine de Beudon, mais aussi qui amènent l'électricité produite par les installations hydroélectriques au réseau électrique de la commune.

Voici les caractéristiques du raccordement électrique actuel :

- Longueur ligne
 - Aérienne en basse tension : $150+520+700=1370$ [m]
 - Enterrée en basse tension : 200 [m]
- Matériaux câbles : Aldrey
- Résistivité Aldrey : 0.037 $[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}]$
- Section du câble :
 - Aérien 1 : 10 [mm²]
 - Aérien 2,3: 95 [mm²]
 - Enterré : 35 [mm²]

Selon les caractéristiques mentionnées, je constate qu'avec une augmentation de la puissance produite par le site il y aurait de gros problèmes de pertes de puissance sur la ligne, dues à la longueur considérable des câbles et du niveau de tension de transport de l'électricité effectif (400 V).

8.5.2. Pertes sur la ligne

Selon les données extrapolées du schéma, j'ai pu calculer les pertes sur la ligne sans modification (tension de ligne 400 V) pour la variante 1 et 2. Comme je vais expliquer dans le chapitre 11 « *Aspect législatif* », le privé doit prendre en charge le renforcement de la ligne jusqu'au point d'injection. C'est pour cette raison que j'ai calculé les pertes sur la ligne seulement jusqu'au point d'injection. Voici les résultats obtenus :

Pertes sur la ligne		Variante 1		Variante 2	
		Aérienne	Enterré	Aérienne	Enterré
S	[mm ²]	95	35	95	35
Longueur		520	200	520	520
Résistance câble	[ohm]	0.202	0.211	0.202	0.211
R tot	[ohm]	0.607	0.634	0.607	0.634
Puissance apparente S	[VA]	66'026		169'702	
Puissance active P	[W]	59'423		152'732	
Puissance phase	[W]	19'808		50'911	
Courant de ligne	[A]	95		244	
Pertes de phase	[W]	1'839	1'920	12'151	12'685
Pertes totales	[W]	5'518	5'760	36'453	38'055
Puissance nette	[W]	48'144		78'223	
Rendement à puissance nominale	[%]	81%		51%	
Pertes à puissance nominale	[%]	19%		49%	

Tableau 5: Pertes sur la ligne

Grâce au calcul réalisé, je peux effectivement constater qu'une transformation de la tension doit absolument être effectuée pour diminuer les pertes sur la ligne, qui normalement doivent être de l'ordre de 5 % de la puissance totale injectée sur le réseau.

Pour avoir la possibilité de diminuer ces pertes j'ai choisi de suivre deux stratégies différentes :

1. Installer un transformateur BT/MT.
2. Installer un alternateur qui fournit une tension de sortie de 690 V (connexion en étoile).

L'installation d'un transformateur de BT/MT aurait pour conséquence d'augmenter la tension sur la ligne de 400 V à 16 kV alors qu'un alternateur ferait augmenter la tension jusqu'à 690 V. Cette augmentation permettrait une diminution massive du courant qui va circuler dans la ligne.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U_{\text{ligne}} * \cos\phi}$$

où	I : courant de ligne	[A]
	U lignes : BT 400/690	[V]
	MT 16	[kV]
	cosσ : facteur de puissance	[-]
	P : puissance active injectée	[W]

Cette diminution de courant va influencer de manière exponentielle les pertes cuivre sur la ligne :

$$Pertes = R * I^2$$

où	Pertes : pertes cuivre sur la ligne	[W]
	R : résistance de la ligne	[Ω]
	I : courant de phase	[A]

Pour des raisons financières j'ai choisi de suivre la stratégie numéro 2, c'est-à-dire celle d'installer un alternateur de 690 V. Ceci me permet :

- D'utiliser des composants BT standards.
- D'utiliser les câbles déjà présents sur le site pour le transport de l'électricité.
- D'économiser sur le prix.

Pour pouvoir installer ce type d'alternateur un transformateur de 690 /400 V doit être installé avant l'arrivée de la maison et un autre avant la station transformatrice BT/MT de Grand Blettay, comme illustré sur le schéma suivant.

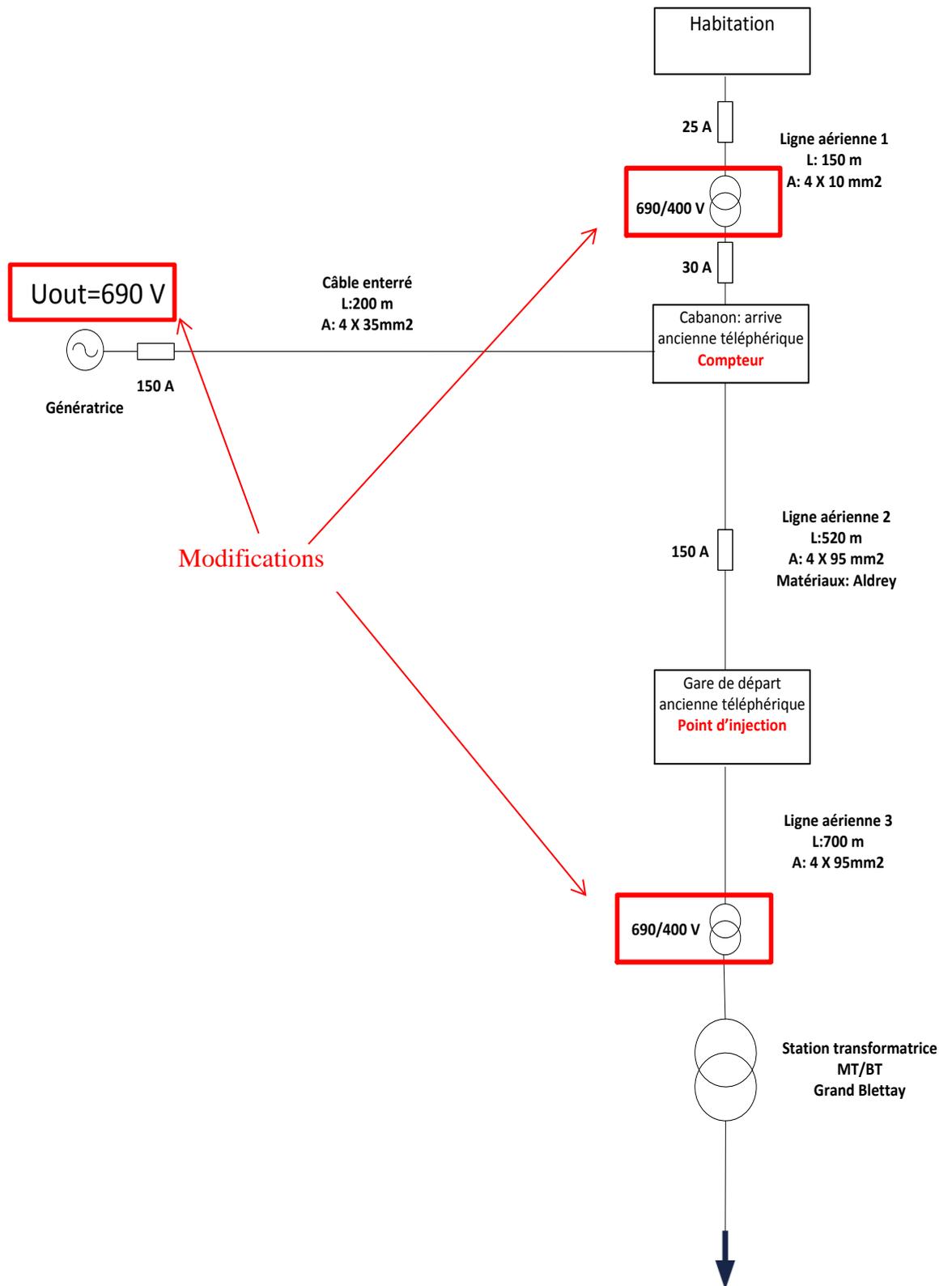


Figure 19: Schéma électrique avec modifications réseau.

8.5.3. Transformateur

Les transformateurs sélectionnés sont des transformateurs offerts par l'entreprise Trasfor SA (contactée le 20.07.2017).

Voici les caractéristiques techniques avec les prix correspondants :

Transformateur 690/400V								Prix
	Ucc	P0 (W)	Pcc (W)	L (mm)	B (mm)	H (mm)	Kg	CHF
Variante1 : 80 kVA	4%	520	1750	580	450	480	260	3'240
Variante2 : 180 kVA	4%	1050	3500	740	510	680	550	5'000

Tableau 6: Caractéristiques transformateurs

- Matériel d'enroulement : Aluminium
- Refroidissement : AN (Air Natural)
- Installation : jusqu'à 1000 mètres maximum.
- Température ambiante : Max. 40 ° C
- Boîtier optionnel : degré de protection IP21, peinture RAL 7035
- Fréquence : 50 Hz
- Tension primaire : 3 x 690V Y+N
- Tension secondaire : 3 x 400V Y+N

8.5.4. Pertes économiques

Les pertes de puissance sur la ligne peuvent devenir un gros problème économique pour le privé, sur une période de x ans.

Vu la rémunération RPC dont le site bénéficie encore pour 17 ans, Mme. Granges pourrait avoir des pertes économiques importantes. Pour mieux me rendre compte de ces pertes, j'ai rédigé un tableau qui compare les pertes possibles avec une tension de transport de 400 et de 690 V.

		Production			Pertes économique	
Tension de transport		Sans pertes [MWh/an]	Avec pertes [MWh/an]	Pertes de production [MWh/an]	Annuelle [CHF/an]	Sur 17 ans [CHF]
400V	Variante 1	282	248	34	9'796	166'533
	Variante 2	707	448	259	74'975	1'274'583
690V	Variante 1	282	271	11	3'292	55'966
	Variante 2	707	620	87	25'197	428'341

Tableau 7: Comparaison pertes économiques

Gains économiques		
	Annuelle [CHF/an]	Sur 17 ans [CHF]
Variante 1	6'504	110'567
Variante 2	49'779	846'242

Tableau 8: Gains économiques avec renforcement réseau

Les tables 7 et 8 mettent bien en évidence le fait que la non-exécution d'un renforcement du réseau électrique aurait comme conséquence une très grande perte d'argent pour les deux variantes. La variante numéro 2, sur une période de 17 ans (période de la RPC) avec un taux moyen de 29 cts/kWh, donnerait des pertes monstrueuses de l'ordre d'environ 1.3 millions de CHF, tandis que pour la variante numéro 1 « seulement » environ 166'000 CHF. Avec une augmentation de la tension de transport, Mme. Granges aurait la possibilité de gagner de l'argent en diminuant massivement ces pertes :

- d'approximativement 110'000 CHF pour la variante 1.
- d'approximativement 846'000 CHF pour la variante numéro 2.

De là je peux dire avec certitude que des travaux de renforcement/modifications du réseau sont indispensables pour la réalisation de ce projet.

9. Nouveaux équipements hydroélectriques et travaux qui y sont liés

Comme indiqué au chapitre 2.3, deux possibilités sont envisagées. Les paragraphes suivants donnent par conséquent les caractéristiques pour les deux variantes. La **variante 1** correspond à un remplacement partiel des conduites, la **variante 2** à son remplacement total.

9.1. Turbine

La dénivellation et le débit d'équipement imposent l'installation d'une turbine Pelton pour les deux variantes. Celle-ci sera à axe vertical.

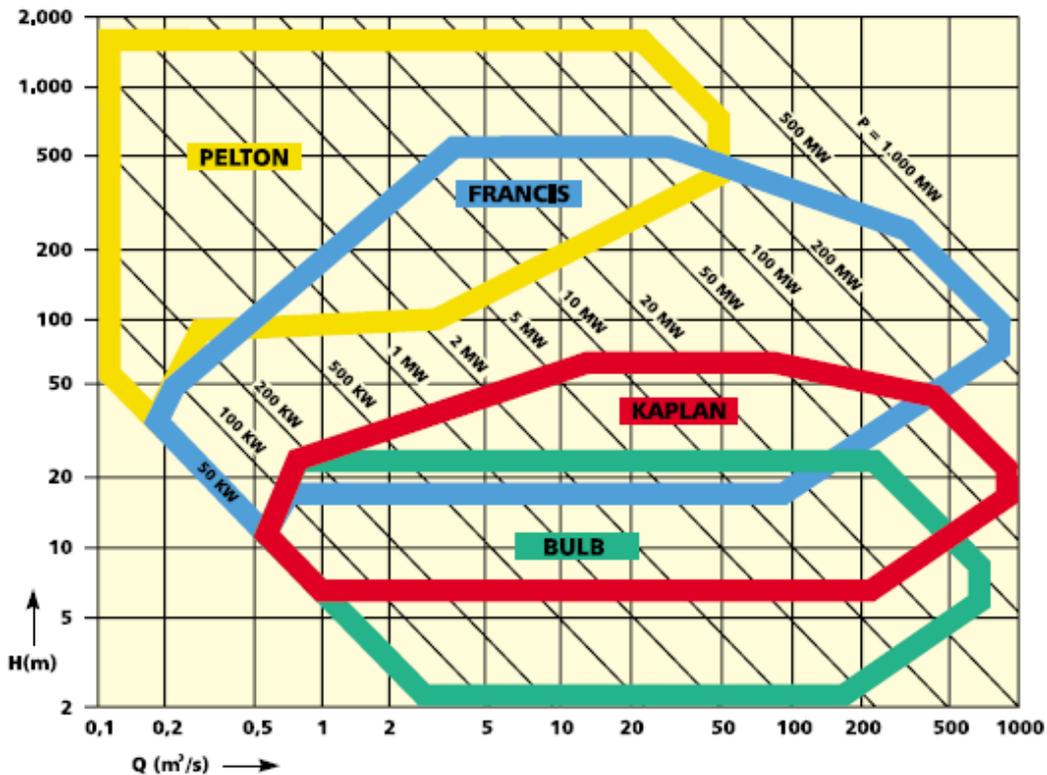


Figure 20: Domaines d'utilisation des turbines (d'après VA TECH Hydro, cf. www.andritz.com, large hydro)

Il est à noter que les turbines sont dimensionnées pour un débit d'équipement de 38 l/s et de 90 l/s, c'est-à-dire pour une chute nette spécifique à ce débit. En effet, les performances de la turbine (garanties de rendement, fiabilité, etc.) sont garanties pour autant que la turbine soit construite conformément à un profil hydraulique issu et développé au laboratoire professionnel de Mhylab (annexe 1 et 2). Le tableau 9 donne les principales caractéristiques des turbines pour les deux variantes, pour complément d'information consulter les annexes 1 et 2 « Tableaux des profils hydrauliques ».

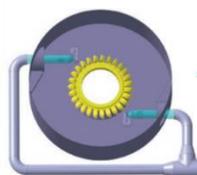


Figure 21: Turbine à deux injecteurs : Source (Mhylab)

			Variante 1	Variante 2
Débit nominal de la turbine	Qn	m ³ /s	0.038	0.09
Dénivellation	ΔZ	m	195	
Chute nette à Qn	Hn	m	181	179
Energie massique à Qn	gH	J/kg	1775.6	1755.99
Type de turbine	Turbine Pelton			
Orientation de l'axe	Vertical			
Nombres d'injecteurs	zi	-	1	2
Vitesse de rotation	n	t/min	1500	1000
Vitesse d'emballement	ne	t/min	2850	1900
Diamètre d'injection	D1	mm	362	546
Largeur d'auget	B2	mm	94	101
Vitesse spécifique	D1/B2	-	3.85	5.41
Nombre d'auget	za	-	21	23
Diamètre interne du bâti	Dc	mm	1020	1310
Puissance hydraulique brute	Phb	kW	73	172
Puissance hydraulique nette	Phn	kW	67	158
Puissance mécanique	Pm	kW	60	142

Tableau 9: Caractéristiques turbines

9.1.1. Turbine variante 1

Pour la variante 1 une turbine avec un seul injecteur a été dimensionnée. Le graphique 7 illustre la courbe de rendement qu'il est possible d'obtenir en fonction du débit, en acquérant une petite turbine dont les caractéristiques sont garanties par des essais en laboratoire. Le rendement augmente en fonction du débit : j'ai constaté un rendement maximal d'environ 89 %. Par ailleurs, le graphique 8 décrit la variation de puissance de la turbine en fonction de son débit. Pour la turbine dimensionnée en laboratoire, j'ai constaté une puissance maximale de 60 kW à un débit de 38 l/. Avec la courbe représentée sur le graphique 7, j'ai la possibilité d'extrapoler la formule du rendement de la turbine en fonction du débit turbiné, utilisé précédemment pour les calculs de puissance et de production.

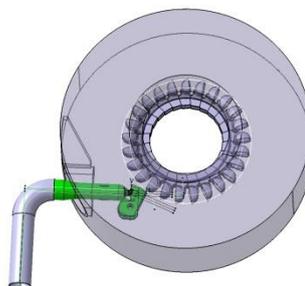
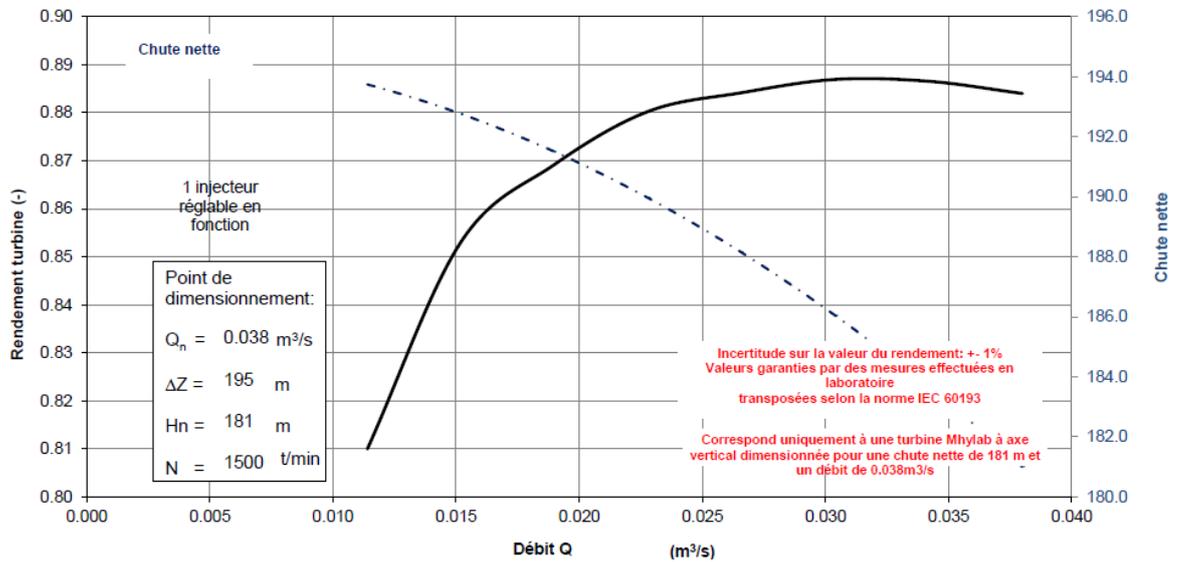


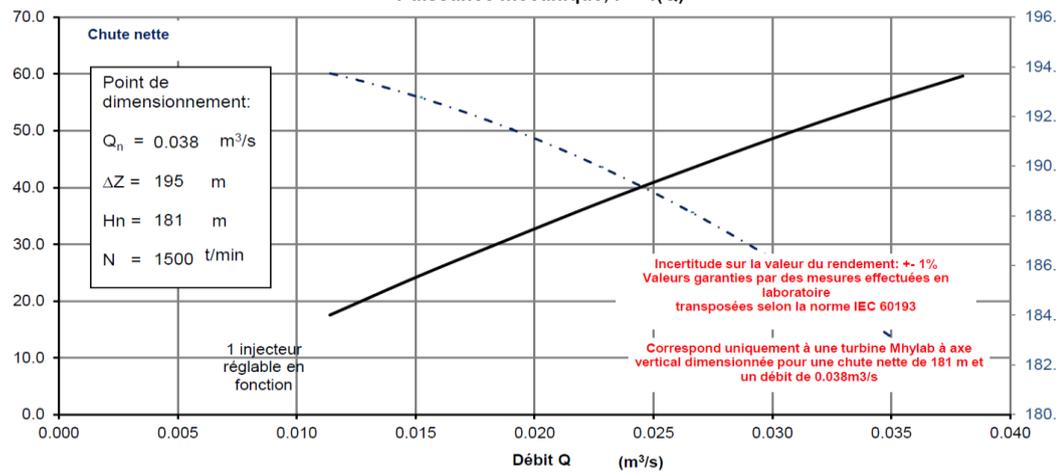
Figure 22: Turbine à 1 injecteur: Source Mhylab

MaICIE1601 Beudon Variante 1 Palier 1
 Turbine Pelton à 1 injecteur
 Rendement turbine, $\eta = f(Q)$



Graphique 7: Rendement turbine en fonction du débit, variante 1

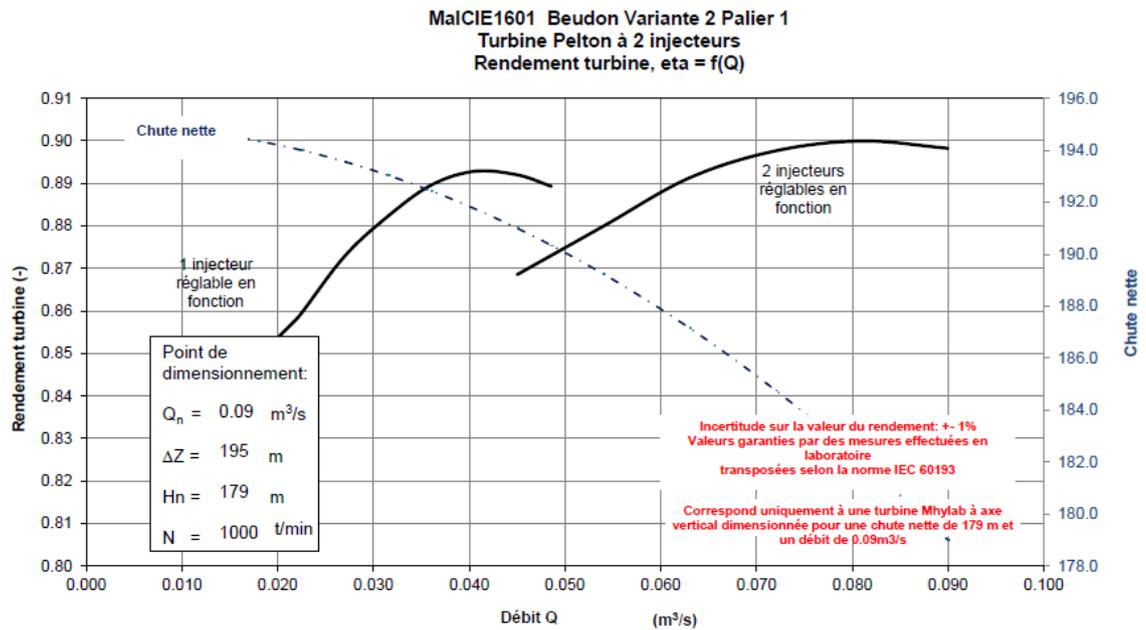
MaICIE1601 Beudon Variante 1 Palier 1
 Turbine Pelton à 1 injecteur
 Puissance mécanique, $P = f(Q)$



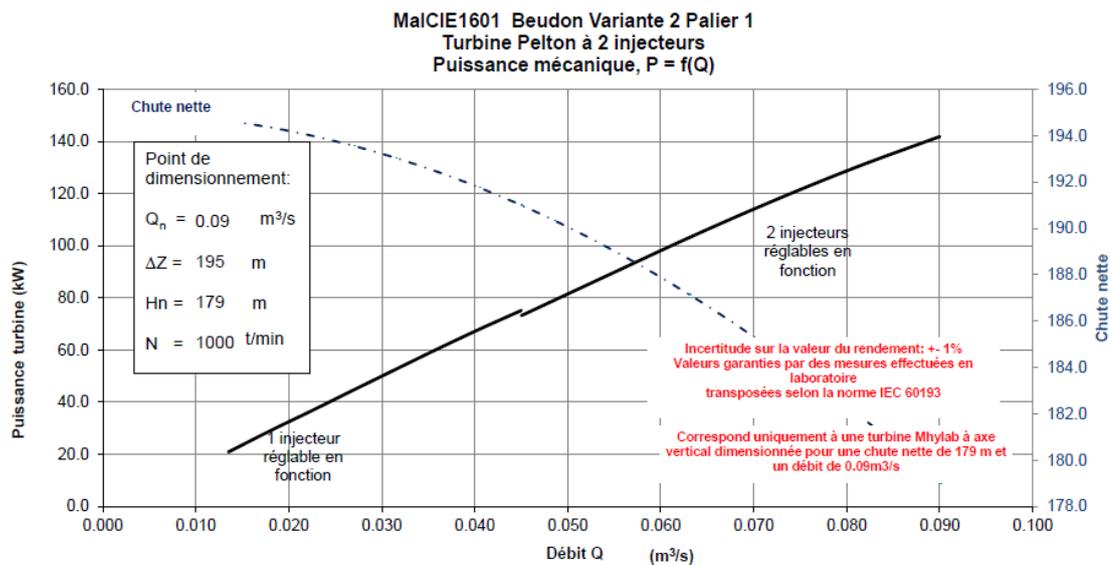
Graphique 8: Puissance turbine en fonction du débit, variante 1

9.1.2. Turbine variante 2

Il s'avère qu'en comparaison avec la variante 1, la variante 2 correspond à une différence entre les nombres d'injecteurs. Ainsi, la différence de coûts entre ces deux machines correspondra essentiellement au coût de l'injecteur supplémentaire. Comme pour la variante 1 deux graphiques sont illustrés. Le premier qui décrit l'allure du rendement en fonction du débit et le deuxième la puissance en fonction du débit. La seule différence est que sur les deux graphiques une comparaison entre la variante avec un injecteur et deux injecteurs est prise en compte. Le rendement maximal atteint avec deux injecteurs 90 % avec une puissance maximale de 142 kW.



Graphique 9: Rendement Turbine en fonction du débit, variante 2



Graphique 10: Puissance Turbine en fonction du débit, variante 2

9.2. Générateur

Les principales caractéristiques des générateurs sont données ci-dessous, pour complément d'information consulter les annexes 5 et 6:

		Variante 1		Variante 2	
Type	-			Asynchrone	
Classe de rendement	-	IE3	IE3	IE3	IE4
Fréquence	Hz			50	
Tension triphasée aux bornes	V			400/690	
Vitesse nominale	t/min	1500		1000	
Courant nominale	A	100	282	278	
Rendement maximale	%	94.55	95.75	96.7	
Puissance active	kW	60		160	
Cos phi	-	0.84	0.85	0.87	
Puissance apparente	kVA	71	188	184	
Poids	kg	406	1065	1220	

Tableau 10:Caractéristiques générateurs

9.3. Conduites forcées

Pour les deux variantes des conduites avec différents diamètres du même type sont sélectionnés. Un élément très important dont il faut tenir compte est le passage des conduites à travers la vallée. Effectivement pour une longueur de 80 m, entre la prise d'eau et la bifurcation, les conduites forcées doivent traverser une vallée. Pour cette partie il faut prendre en compte l'implémentation des cordes de suspension du tuyau et un type de tuyau spécial isolé, pour éviter le gel en hiver. Ci-dessous les caractéristiques principales des conduites forcées qu'il faudrait implémenter dans le réseau d'eau :

- Variante 1 :
 - Conduite forcée entre la prise d'eau, jusqu'à la bifurcation :
Tuyau DN180 PN16, type Gerofit, longueur 213 m.
 - Conduite forcée passage vallée :
Tuyau spécial isolé DN 180 PN16, type Brugg, longueur 80 m
- Variante 2 :
 - Conduite forcée entre la prise d'eau, jusqu'à la bifurcation :
Tuyau DN220 PN16, type Gerofit, longueur 213 m
 - Conduite forcée passage vallée :
Tuyau spécial isolé DN 220 PN16, type Brugg, longueur 80 m
 - Conduite forcée entre bifurcation jusqu'au locale de turbinage 1+2 :
Tuyau DN220 K7, Type VonRoll Hydro Ducpur, longueur 231 m

9.4. Vannes

Les seules vannes prévues sont les suivantes :

- Vanne de révision en amont du groupe, dans le local de turbinage après la bride de la conduite forcée. Elle sera de type sphérique DN 100/PN 25. Sa manœuvre sera manuelle.
- Vanne de tête en amont de la conduite forcée. Elle sera de type DN100/PN25. Sa manœuvre sera manuelle.

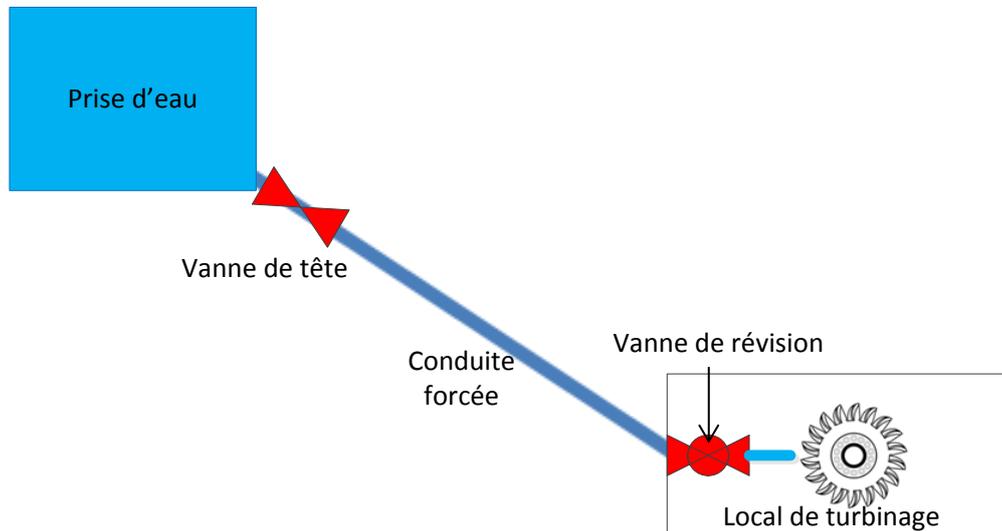


Figure 23: Aménagement de Beudon

9.5. Sécurité

La sécurité est assurée par les déflecteurs de la turbine. En cas de déclenchement, ceux-ci s'abaissent, évitant ainsi l'emballement et les pointeaux se fermeront lentement afin de ne pas provoquer de surpression dans la conduite.

9.6. Contrôle commande

La centrale étant prévue pour fonctionner de manière entièrement automatique, sa régulation et son exploitation devront être des plus simples, réduisant au minimum les interventions. La régulation sera faite au niveau d'eau amont de la chambre de mise en charge. La mise en route de la turbine et le couplage avec le réseau devra pouvoir fonctionner en mode automatique ou en manuel, ainsi que le réglage d'ouverture des pointeaux.

Le tableau de commande comprendra les éléments suivants :

- Commande de l'injecteur avec affichage de l'ouverture
- Réglage de $\cos \phi$

Les indicateurs suivants seront compris :

- Voltmètres réseau et générateur
- Wattmètre
- Fréquencemètre
- Mesure du $\cos \phi$
- Compteur de tour
- Synchroscope

- Indicateur niveau eau prise d'eau
- Compteur d'heures de fonctionnement
- Températures des roulements et du bobinage du générateur
- Arrêt d'urgence
- Indicateur de charges des batteries de secours

Les alarmes suivantes sont à tenir en compte :

- Niveau amont insuffisant
- Surcharge génératrice
- Survitesse génératrice
- Arrêt d'urgence
- Défaut de mise en marche
- Roulement générateur
- Retour de courant
- Défaut batterie

Le contrôle commande sera alimenté en 24 ou 48 V CC et secouru par des batteries. Pour avoir plus d'information consulter l'appel d'offre de Premel SA sur le contrôle commande en annexe 7.

9.7. Génie civil

Les deux variantes de ce projet visent à intervenir le moins possible sur les infrastructures déjà existantes. De ce fait, j'ai choisi d'implanter les nouvelles machines hydrauliques à la même place que les turbo-groupes actuels.

9.7.1. Local de turbinage

Le local de turbinage 3+4 ne sera pas modifié tandis que le local de turbinage 1+2 subira des changements. Le local sera élargi pour pouvoir inclure les nouvelles machines hydroélectriques, plus puissantes. Une éventuelle modification de l'implantation pourrait être envisagée du fait du passage à une machine à deux injecteurs et axe vertical impliquant un encombrement en hauteur supérieur à celui de la machine actuelle.



Turbine du Profray à 2 injecteurs, sur les eaux usées brutes
 (Q = 0.100 m³/s, H_n = 430 m, Dext = 648 mm, 1500 t/min,
 P_m = 380 kW)

Figure 24: Exemple turbine réalisée sur la base d'un profil hydraulique de Mhylab : Source Promo Mhylab

10. Calcul économique

La durée de vie des petites centrales hydrauliques est bien plus élevée que celle d'autres technologies de production d'énergie. Les petites centrales hydrauliques sont conçues pour durer entre 40 et 80 ans. Ceci implique des investissements importants initiaux lors de la planification et de la construction de la centrale. Dans ce chapitre je vais toucher tous les aspects économiques d'un aménagement hydroélectrique tels que :

- Prix des différentes parts de l'aménagement
- Frais de maintenance et d'exploitation
- Rénovation des
 - Conduites forcées
 - Prise d'eau
 - Machine hydraulique
 - Contrôle commande

L'étude économique des deux variantes a pour but d'approcher les coûts de construction et le prix de revient du kWh électrique. L'analyse prend en compte les points suivants :

- L'estimation des coûts, résumés dans les tableaux 11 et 12, a été faite en se basant sur différents appels d'offre, réalisés par les spécialistes du domaine contactés pendant la durée du projet :
 - Partie électromécanique et contrôle commande : Tesla SA, Premel SA
 - Partie Turbine : Häny SA et Jacquier & Luisier SA
 - Partie Alternateur : Valelectric Farner SA, Premel SA, Telsa SA
 - Partie génie civile, remplacement conduite, prise d'eau : CERT ingénierie SA, Premel SA
- Le prix de vente est déterminé sur la base de l'Ordonnance sur l'énergie, OEnE, ou bien appelée RPC (Rétribution à prix coûtant du courant injecté), qui s'applique à toutes les petites centrales hydrauliques dont la puissance est inférieure ou égale à 10 MW.
- L'investissement du génie civil détaillé en annexe 11 prend en compte :
 - Installation du chantier
 - Travaux préparatoires
 - Défrichage
 - Déconstruction
 - Carottages de la prise d'eau
 - Appareillage et équipement hydraulique
- L'investissement dans le local de turbinage a été estimé en considérant que le bâtiment actuel pouvait être réutilisé avec quelques modifications d'adaptations.
- L'étude économique pour le prix du revient du kWh se base sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les durées :
 - Génie civil : 40 ans
 - Contrôle commande : 15 ans
 - Turbine et alternateur : 25 ans
- Les frais d'ingénierie sont estimés à 10% de l'investissement initial.
- Les divers et imprévus sont estimés à 10% de l'investissement initial.
- L'évaluation des investissements et les coûts sont estimés hors taxes.

- Le prix de revient du kWh est déterminé en divisant la somme des frais annuels (entretien et frais d'exploitation, amortissement de l'investissement initial) par la production électrique annuelle.

10.1. Frais d'exploitation

Les frais d'exploitation représentent environ 2 à 4 % du coût global de l'installation. En 2014 un groupe d'étudiants de la haute école de Zürich pour les sciences appliquées (ZHAW) a réalisé une étude sur ce thème. Le projet « *Frais d'entretien et d'exploitation dans la petite hydraulique* » a intégré et évalué des données recueillies auprès de ses membres à l'aide d'un questionnaire écrit et envoyé aux exploitants de petites centrales hydrauliques en Suisse. Pour évaluer les frais d'exploitation de mon aménagement, j'ai utilisé les résultats de cette étude.

10.1.1. Entretien et exploitation

Le tableau ci-dessous résume tous les frais d'entretien de réparation et exploitation d'un aménagement avec une puissance entre 50 et 300 kW et une chute supérieure à 20 m. Les valeurs indiquées sont des valeurs moyennes sur le nombre d'exploitants qui ont répondu au questionnaire.

10.1.2. Frais de réparations

Les frais de réparation sont très variables par rapport aux frais d'entretien. Ils dépendent beaucoup de l'âge de l'installation. Comme pour les frais d'exploitation une moyenne sur plusieurs centrales a été extrapolée.

	CHF
Frais d'entretien	13'095
Frais de réparations	10'900
Total frais d'exploitation	23'995

Tableau 11: Frais d'entretien et d'exploitation. Source [6.2] : (Enquête sur les frais d'entretien et d'exploitation dans la petite hydraulique, 2016)

10.2. Investissement

Pour approcher les prix d'investissement, plusieurs entreprises ont été contactées pendant toute la durée de mon projet. Pour la variante 1 j'ai reçu une offre plus détaillée pour ce qui concerne la partie génie civil par le bureau d'ingénieur de CERT, ce qui n'est pas le cas pour la variante 2. Pour cette raison j'ai pris contact avec l'entreprise PREMEL SA (avec monsieur Tiziano Chrsiten, le directeur du siège en Tessin), qui est active dans plusieurs secteurs, mais aussi dans le secteur des petites centrales hydroélectrique, y compris les conduites forcées, vannes et prises d'eau. Ils m'ont envoyé des offres un peu moins détaillées mais pour les deux variantes, grâce aux calculs et aux éléments fournis par moi-même à leurs spécialistes. Voici les différentes offres pour les deux variantes. Pour rédiger les tableaux qui résument les investissements nécessaires à la rénovation de la centrale, j'ai assemblé toutes les offres reçues des différents spécialistes consultés. Les investissements sont estimés plus ou moins à 25 %.

10.2.1. Variante 1

		Variante 1
CERT		
Génie civil	CHF	31'200
Appareillage et équipement hydraulique	CHF	41'890
Divers imprévu	CHF	14'600
Honoraires d'ingénieurs	CHF	11'000
Total CERT (Arrondi)	CHF	99'000
PREMEL SA		
Contrôle commande	CHF	51'000
Turbine et générateur	CHF	105'000
Transport, montage et mise en service centrale	CHF	47'000
Total PREMEL		203'000
Local de turbinage	CHF	30'000
Renforcement réseau	CHF	3'240
SOU-TOTAL	CHF	335'240
Divers imprévu (10%)	CHF	33'524
Ingénierie (10%)	CHF	33'524
TOTAL	CHF	402'288

Tableau 12: Investissement initial variante 1

10.2.2. Variante 2

		Variante 2
TESLA & LUISIER		
Etudes	CHF	54'900
Mécanique	CHF	183'800
Electrique	CHF	100'959
Transport	CHF	4'500
Total TESLA & LUISIER	CHF	344'159
PREMEL		CHF
Fourniture montage conduite	CHF	282'000
Appareillage et équipement hydraulique	CHF	20'000
Total PREMEL		302'000
Local de turbinage	CHF	30'000
Renforcement réseau	CHF	5'000
SOU-TOTAL	CHF	681'159
Divers imprévu (10%)	CHF	68'116
Ingénierie (10%)	CHF	68'116
TOTAL	CHF	817'391

Tableau 13: Investissement initial variante 2

10.3. Chiffre d'affaire annuel

Le calcul de la rétribution a été effectué sur la base du calculateur en ligne de l'association Swiss Small Hydro (annexe 11), qui me fournit la valeur du tarif de vente du kWh appelé rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC).

Chiffre d'affaire annuelle	CHF	Variante 1	Variante 2
Puissance électrique maximale	kW	59	162
Dénivellation	m	249	249
Production annuelle	MWh	282	707
Prix de vente du kWh selon OEne (RPC)	cts/kWh	25.21	23.08
Revenue annuelle	CHF	71'106	163'088

Tableau 14: Chiffre d'affaire annuelle

Les prix de vente devront être confirmés par Swissgrid à la fin du projet, quand le projet même sera communiqué aux autorités.

10.4. Prix de revient

Pour évaluer le prix de revient les coefficients d'annuité pondérés mentionnés précédemment ont été utilisés.

CALCUL DU PRIX DE REVIENT		Variante 1	Variante 2
Revenu annuel selon OEne en	CHF/an	71'106	163'088
Production annuelle	MWh/an	282	707
Frais d'exploitation	CHF/an	23'995	23'995
Amortissements			
Génie civil	CHF/an	3'225	8'300
Contrôle commande	CHF/an	3'400	6'731
Turbine et alternateur	CHF/an	6'080	9'728
Total des frais annuels	CHF/an	36'700	48'754
Prix de revient du kWh	CHF/kWh	0.13	0.07

Tableau 15: Prix de revient du kWh

10.5. Années d'amortissement

Le dernier tableau résume tous les aspects de l'étude économique réalisée et illustre en combien d'année ce projet serait amorti et rentable. Je peux constater que pour les deux variantes l'investissement initial sera amorti avant la fin du contrat RPC, donc avant que l'électricité produite soit revendue sur le marché au prix actuel de vente, qui est d'environ 10 ct/kWh en ce moment comme indiqué sur la carte de la figure 25.

		Variante 1	Variante 2
Investissement initial	CHF	402'288	817'391
Total frais annuels	CHF/an	36'700	48'754
Chiffre d'affaire annuel	CHF/an	71'106	163'088
Chiffre d'affaire net	CHF/an	34'406	114'335
Durée RPC	ans	17	
Années d'amortissement	ans	12	7

Tableau 16: Années d'amortissement

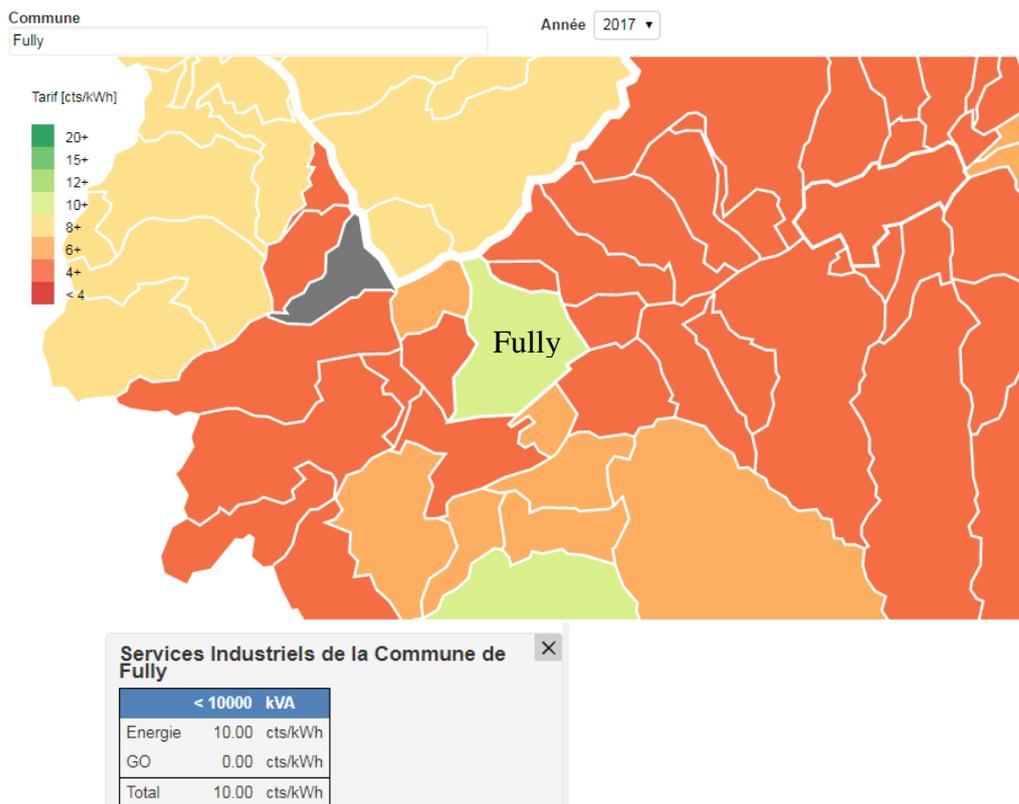


Figure 25: Carte tarif de rachat énergie: Source: vese (association des producteurs d'énergie indépendants) <http://www.vese.ch/fr/pytarif/>

11. Aspects législatifs

Pour réaliser un projet de ce type, connaître les aspects législatifs est très important. Dans le cadre de cette étude de faisabilité je me suis concentré sur les aspects suivants :

- Rétribution prix coutant : RPC
- Renforcement réseau
- Demande de concession/autorisation

Le manque de temps ne m'a pas permis d'examiner d'autres aspects importants pour la réalisation d'un projet de rénovation.

11.1. Rétribution à prix coûtant du courant injecté - RPC

Le site de Beudon bénéficie depuis le mois de mars 2009 de la RPC (Rétribution à prix coûtant du courant injecté). Le document source [0.11] expose le contrat rédigé et signé en 2009 avec Pol Energie. Pool Energie SA a été chargé par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) de gérer les flux d'énergie et les flux financiers en rapport avec la rétribution de l'injection à prix coûtant (RPC).

Selon le contrat stipulé par Pool Energie SA (*Source [0.11]*), le site de Beudon bénéficiera de la RPC pour une durée d'amortissement de 25 ans. Après prise de contact avec les spécialistes de SwissGrid (Mme. Perrine Schlaifer spécialiste SwissGrid pour les Energies Renouvelables) m'a confirmé que :

« Une installation qui a reçu une décision positive pour la RPC et touche la rétribution peut être agrandie sans limitation sur la puissance d'agrandissement, dès lors que la puissance mécanique brute de l'installation hydraulique reste plus faible que 10 MW. Lorsqu'une installation est agrandie, la durée de rétribution n'est pas allongée par rapport au contrat initial. La durée de rétribution reste donc la même que dans la décision RPC en date du 16.04.2009. Par contre lorsqu'une installation est agrandie, il est nécessaire de faire parvenir une certification des données de l'installation complète agrandie, réalisée par un auditeur certifié. Cette certification doit être envoyée au plus tard un mois après la mise en service de l'agrandissement » (email reçu en date du 17.07.2017).

Au vu des mots de Mme Schlaifer le site de Beudon sera avantagé jusqu'à l'année 2034 de la rétribution à prix coutant du courant injecté.

11.2. Renforcement réseau

Comme cité dans les chapitres 8.5, pour la réalisation du projet un renforcement du réseau électrique est indispensable.

Pour pouvoir effectuer une demande de renforcement du réseau, elle doit être soumise à l'ElCom (Commission Fédérale de l'Electricité) qui étudie la demande et délivre une décision quant au financement de ce renforcement. Ce financement est pris en charge par Swissgrid, qui indemnise les gestionnaires de réseau concernés après décision de l'ElCom en ce sens. En règle générale, l'ElCom examine les requêtes de renforcements de réseau en fonction de trois critères :

1. Le gestionnaire de réseau doit démontrer la nécessité du renforcement en se fondant sur la puissance installée de l'installation et sur la base de normes et des documents techniques reconnus (par exemple DACHCZ – Règles techniques pour l'évaluation des perturbations de réseau ou EN 50160).

2. Les gestionnaires de réseau sont tenus de relier l'installation de production d'énergie avec le point d'injection le plus avantageux techniquement et économiquement. À cet effet, plusieurs variantes doivent être élaborées. Est considérée comme la variante la plus avantageuse économiquement celle qui présente les coûts totaux (coûts de raccordement à la charge des producteurs et coûts de renforcement de réseau) les plus bas tout en satisfaisant aux dispositions légales et aux prescriptions techniques.
3. Le point d'injection se situe en général au dernier point à partir duquel d'autres personnes sont encore raccordées au réseau. C'est le point d'injection qui est choisi en fonction de la variante la plus avantageuse économiquement, et non l'inverse.

En date du 10 juillet 2017, un courriel de demande de renforcement du réseau a été envoyé à l'ElCom.

Selon l'article 2, alinéa 5 de l'*OENE (Ordonnance sur l'énergie)* [4.7], les coûts de mise en place des lignes de dessert jusqu'au point d'injection et les éventuels coûts de transformation requis sont à la charge du producteur (Mme. Granges). Les coûts de renforcement du réseau après le point d'injection sont eux supportés par l'exploitant du réseau. Pour mieux comprendre la différence entre la ligne de desserte et le point d'injection, faire référence à l'annexe 14.

11.3. Demande de concession

Le 13 novembre 1993, M. Granges (comme indiqué dans le document source [0.8]) reçoit l'approbation et l'autorisation communale d'utiliser des forces hydrauliques en vertu du droit privé au sens de l'article 6 chiffre 2 de la loi cantonale du 28 mars 1990 sur l'utilisation des forces hydrauliques (LFH-VS).

« La décision du Conseil communal de Fully du 5 mars 1996, autorisant Monsieur Jacques Granges, de Marcelin, propriétaire du domaine de Beudon, à turbiner les eaux qu'il capte, comme ses prédécesseurs avant lui, dans le domaine de Beudon. ».

Sur ce point, il faut faire une grande distinction entre une autorisation d'utilisation (ce que Mr. Granges a obtenu en 1996) et une concession.

Une autorisation d'utilisation implique que les communes peuvent autoriser un tiers à exploiter les forces hydrauliques des eaux potables, des eaux d'irrigation ou des eaux usées. La commune concernée délivre alors une autorisation qui doit être approuvée par le Conseil d'État. Donc, l'autorisation permet l'utilisation que d'une partie bien définie de cette eau, comme bien mentionné dans le document source [0.10] « *Autorisation communale* ».

« L'approbation est soumise aux charges et conditions suivantes ; la hauteur de chute théorique est fixée à 275 mètres et le débit moyen annuel utilisable à 0.021 m³/s. La puissance brute est ainsi de 57 kW »

Une concession donne le droit de turbine entièrement (selon la Loi Fédérale sur la protection de l'eau art 31,32 et 33) l'eau qui provient du torrent. Pour pouvoir bénéficier de ce droit, une demande de concession doit être effectuée à la commune. Pour effectuer la demande, un cahier de charge a été rédigé par l'Etat du Valais. Pour tout complément d'informations sur comment rédiger le cahier de charge, voir l'annexe 12.

12. Mise en place d'un set de mesures

Pour le futur de ce site une mise en place d'un set de mesures de débit serait assez important, car comme déjà mentionné plusieurs fois les seules mesures de débit disponibles sur ce site ont été effectuées dans les années nonante. Dans le cadre de ce projet j'ai tenté de contacter quelques entreprises pour me faire parvenir un appel d'offre pur un set de mesure permanent à installer sur site. Les entreprises dont j'ai reçu une offre sont les suivantes :

- Nivus AG
- Rittmeyer AG
- Ultraflux



Malheureusement les offres reçues par les entreprises mentionnées sont trop élevées pour le budget à disposition pour la réalisation de mon étude. Comme on peut le voir en annexe 9, toutes les offres reçues dépassent le seuil des 10'000 CHF, ce qui est largement trop pour les moyens financiers à ma disposition.

13. Conclusion

L'étude a pour but de présenter tous les éléments nécessaires et indispensables (techniques, économiques et législatifs) pour effectuer une rénovation d'un aménagement hydroélectrique, et aide la propriétaire à prendre les décisions justes et adéquates. L'étude met en évidence le fait que le turbinage de l'eau provenant du torrent de Randonne est rentable, pour les deux variantes développées pendant la durée du projet.

La centrale de Beudon possède actuellement des équipements anciens et usés, qu'ils présentent des défauts de fonctionnement et de conception, rendant l'installation peu performante au niveau de production d'énergie. Le renouvellement des éléments de la centrale, permettrait d'augmenter la production du site et également de continuer à bénéficier de la rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC). Il est indispensable de lever l'incertitude des mesures de débit sur le torrent de Randonne, en installons un système de mesure permanent.

La réalisation de ce projet m'a donné l'occasion de traiter divers éléments appris au cours de ma formation d'ingénieur en énergie et technique environnementales. Au cours de mon étude de faisabilité j'ai essayé de traiter tous les éléments concernant le renouvellement d'une microcentrale hydroélectrique. Un grand nombre de ces éléments n'étaient pas de ma compétence et en fait j'ai dû avoir le soutien et l'aide de quelques spécialistes dans les domaines concernés. Grâce à ça j'ai eu la possibilité de connaître énormément de personnes du métier, avec lesquelles j'ai eu la possibilité de discuter de mes problèmes, de mes doutes et avec lesquelles j'ai eu l'honneur d'apprendre beaucoup d'éléments importants pour la réalisation d'une étude de ce type. De plus j'ai eu la possibilité de visiter une centrale en maintenance, avec l'entreprise Häny SA (en date 25.07.2017), et avoir une idée de comment est faite une turbine Pelton qui ressemble fortement à la turbine développée pour mon projet (puissance installée de la centrale visitée : 150 kW). Pour effectuer une étude de ce type une énorme expérience dans le

domaine de l'hydraulique est nécessaire, malgré mon manque d'expérience je me suis vraiment appliqué pour compenser mon manque d'expérience en collaborant avec des professionnels du domaine, qui sont été tous très gentils et collaboratifs. Je voudrais remercier tous les spécialistes qui m'ont aidés et reçu lors de la durée de mon travail de diplôme :

- Mme. Choulut de MhyLab, dimensionnement des turbines hydrauliques. 
- M.Caloz et M.Luisier de Telsa et Jacquier & Luisier SA, pour la partie mécanique et électrique.  
- M. Farner de Valelectric , partie alternateurs. 
- M. Cirino de Transfo SA, parties transformateurs. 
- M. Studer et M. Michellond du Système industrielle de Fully, partie réseau électrique et donnes de production du site. 
- M. Christen de Premel SA, pour toutes les parties de l'aménagement hydroélectrique développé et étudié. 
- M. Carron de CERT ingénierie SA, partie génie civil. 
- M. Dessimoz de Häny SA, turbine hydraulique. 
- Mme. Schlaifer de Swissgrid. 
- M. Mahler de L'ElCOM, Commission fédérale de l'électricité.
- M. Roduit du Canton du Valais, département des finances et de l'énergie, service de l'énergie et des forces hydrauliques.
- M.Davide Pavanello, qui m'a suivi et m'a soutenu pendant la durée de mon projet et qui a donné un coup de main pour la partie réseau électrique.

Avec ce travail de diplôme, j'ai eu l'occasion et l'opportunité de comprendre ce que signifie la gestion d'un projet à petite échelle. Même si le monde de la mini hydraulique n'est pas trop compliqué, j'ai eu quand même des problèmes de gestion des tous les éléments à prendre en compte pour une bonne réussite finale du projet. Finalement, je suis très heureux et fier d'avoir entrepris et choisi ce travail de diplôme. Cela m'a rendu plus compétent dans le domaine de la mini hydro-électricité, mais surtout plus prêt à entrer dans le monde du travail, qui devient toujours plus proche et avec la réalisation de ce projet je me sens beaucoup plus prêt à y faire face.

14. Bibliographies

Documents récoltés

Les documents que j'ai récoltés et utilisés pour rédiger le rapport final de mon travail de diplôme sont les suivants :

- [0.1] (Dossier de demande concession , 1993)
- [0.2] (Kraftwerksleitung Beudon , 1997)
- [0.3] (M.Schwarz, Eine neues Kleinkraftwerk im Wallis)
- [0.4] (M.Schwarz, Beudon, Leitungsplan Ausschnitt: Neuer Graben oberhalb des Sammelschachtes, 1997)
- [0.5] (M.Schwarz, Beudon, Sammlerstützen mit Schiebern und R 3/4 " Stützen , 1997)
- [0.6] (M.Schwarz, Projektbeschreibung MICROCENTRALE BEUDON, 2008)
- [0.7] (Erweiterung des Kraftwerksparkes Beudon, 2010)
- [0.8] (Autorisation communale , 1996)]
- [0.9] (Contrat reprise d'énergie et rétribution correspondante,, 2009)

Sur les petites centrales hydrauliques

[1.1] Michel Dubas, Yves Pigueron : « Guide pour l'étude sommaire de petites centrales hydrauliques », 1^{ère} édition, Valais octobre 2009

<https://www.vs.ch/documents/87616/232874/Guide+pour+l'%C3%A9tude+sommaire+de+petites+centrales+hydrauliques/78f696c6-7c30-48c2-a636-a35c2626e4ff>

[1.2] M. Heynen / J-P Sigrist : « Guide pour l'implantation des petites centrales hydrauliques dans les communes valaisannes » 1^{ère} édition, Valais octobre 2009

<https://www.vs.ch/documents/87616/232874/Guide+pour+l'%E2%80%99implantation+de+petites+centrales+hydrauliques+dans+les+communes+valaisannes/46727200-94de-4ecd-9512-50915eae0e11>

[1.3] Jean-Marc PAGÈS : « *Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité* », mars 2003

http://www.limousin.ademe.fr/sites/default/files/files/DI/Energie%20et%20mat%C3%A8res%20renouvelables/Contexte%20r%C3%A9gional/guide_petite_hydro.pdf

[1.4] Aline Choulot : « *La petite hydroélectricité et ses voies de développement durable* », juin 2006

<http://www.mhylab.com/images/public/Publications/PCHvoiesdevdurableConfregeInfE.pdf>

[1.5] « *Questions souvent posées sur la petite hydroélectricité (PH)* » ESHA, MHyLab, ÖVFK, SERO, EPFL-LCH, août 2005

http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/publications/tnshp/pub_tnshp_faq_fr.pdf

[1.6] « *Petite centrales hydrauliques* » Programme d'action PACER – Energies renouvelables, Office fédéral des questions conjoncturelles, 1992

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_370669933.PDF

[1.7] Chapallaz J.-M., Eichenberger P : « *Petites centrales hydrauliques: guide pratique pour la réalisation* » Berne 1992 / 1993

www.petitehydraulique.ch/web/francais/biblio/publiPacer.html

[1.8] Olivier Blanc «*Manuel petites centrales hydrauliques : Information sur la planification, la construction et l'exploitation* » décembre 2012

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_49409400.pdf

[1.10] Mhylab « *Turbinage de l'eau potable et des eaux usées : Retour d'expérience et recommandation pour les équipements électromécaniques* », (2012)

<http://www.acte-eau.com/wp-content/uploads/Turbinage-eau-potable-Mhylab-FranceHydro-1204.pdf>

[1.11] Vincent Denis « *Turbinage d'eau potable et d'eau usée, une source d'énergie économique et écologique pour les collectivités publiques* » Montcherand, Mhylab

[1.12] Huong Esperet « *Petites centrales hydroélectriques : vers une gestion intégrée des eaux* » (Julliet 2012) Genève

https://arpea.ch/bulletins/ARPEA_253.pdf

Sur les machines hydrauliques

[2.1] Vincent Denis : « *Turbinage des eaux potables : Critères de choix et dimensionnement des équipements* » 14 janvier 2011

https://documents.epfl.ch/groups/1/lc/lch-unit/www/TURBEAU/TURBEAU_presentations/TURBEAU_2_Denis.pdf

[2.2] Heer F., Chapallaz J.-M.: « *Le choix, le dimensionnement et les essais de réception d'une mini-turbine* » Programme d'action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne 1995

<http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/index.html?lang=fr>

[2.3] Chapallaz J.-M.: « *Turbines hydrauliques* » Programme d'action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne 1995

<http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/index.html?lang=fr>

[2.4] J. Dos Ghali, J.-P. Ludwig, J.-M. Chapallaz, Ed. Schopfer : « *Générateurs et installations électriques* » , (Berne août 1995) Programme d'action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles

<http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/index.html?lang=fr>

Sur l'automatisation

[3.1] « *Petites centrales hydrauliques: régulation et sécurité d'exploitation* » (Berne août 1995) Programme d'action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles
<http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/index.html?lang=fr>

Sur les aspects législatifs

[4.1] « *Demande d'aurisation de turbinage* » ,(Sion,Jul 2015)
<https://www.vs.ch/documents/87616/90215/Demande+d%27autorisation+de+turbinage/abf83596-b3dd-4ea9-b1572d442b942f33?t=1502455569759>.

[4.2] « *Loi sur l'utilisation des forces hydrauliques* » (28 mars 1990)
http://www.fmv.ch/fileadmin/user_upload/Loi_sur_1_utilisation_des_forces_hydrauliques.pdf

[4.3] “*Ordinanza sulla promozione della produzione di elettricità generata a partire da energie rinnovabili*” (30 septembre 2016)

[4.4] “*Ordonnance sur l'utilisation des forces hydrauliques*» (2 février 2000)
<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20000115/index.html>

[4.5] « *Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux)* » (du 24 janvier 1991 (Etat le 1er janvier 2014))
<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19910022/index.html>

[4.5] « *Loi fédérale sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement, LPE)* » (du 7 octobre 1983 (Etat le 1er novembre 2013))
<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19830267/index.html>

[4.6] « *Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN)* » (du 1er juillet 1966 (Etat le 1er octobre 2013))
<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19660144/index.html>

[4.7] « *Ordonnance sur l'énergie, (OEne)* » (du 7 décembre 1998 (Etat le 1^{er} janvier 2017))

Sur l'hydraulique

[5.1] Cecile Münch « *Hydraulique* » : cour d'hydraulique, (Automne,2016)

Sur l'aspect économique

[6.1] Raymond CHENAL « *Comment évaluer la faisabilité financière d'une petite centrale hydraulique* » INFO-ÉNERGIE, Mhylab

[6.2] Bölli, Martin). « *Enquête sur les frais d'entretien et d'exploitation dans la petite hydraulique* » (2016). St.Gallen: Interessenverband Schweizer Kleinkraftwerk-Besitzer ISKB, Association Des Usiniers Romands ADUR, .

Sur l'hydrologie

[7.1] R. Estoppey, OFEFP, Dr. B. Kiefer, Kiefer & Partners AG, M. Kummer, OFEFP, S. Lagger, OFEFP, H. Aschwanden, SHGN, « *Débit résiduelle convenables, comment les déterminer ?* » (Berne), Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/uv-umwelt-vollzug/angemessene_restwassermengenwiekoennensiebestimmtwerdenwegleitun.pdf.download.pdf/debits_residuelsconvenables-commentpeuvent-ilsetretermineinst.pdf

Sur les conduites

[8.1] Staderer Extrusion. (consulté le 13.07.2017). Récupéré sur
http://www.stalderextrusion.ch/catalogue.php?P_ArtCID=100

[8.2] HakaGerodur. (consulté le 13.07.2017). Récupéré sur
http://www.hakagerodur.ch/upload/downloads/de/rohrsystem/Preisliste_CHF_2017-18_Das_diffusionsdichte_Druckrohr_mit_Schutzmantel.pdf

Sur l'aménagement de Beudon

[9.1] Choulot, A. « *Rapport de visite des aménagements liés au turbinage du Torrent de Beudon.* » (Juin 2016). Montcherand: Centre InfoEnergie Suisse romande pour la petite hydraulique.

[9.2] Sebastian Zajackowski, Sandro Boret, Sven Ruffiner, Oussama el Arabi « *Evaluation de performance de la microcentrale hydroélectrique du domaine de Beudon* » (janvier 2017), Sion : Hes-SO.

15. Annexe

Annexe 1 : Profil hydraulique variante 1



MalCIE1601 Beudon Variante 1 Palier 1

Nombre de turbines			1
Débit nominal de la turbine	Q_n	m^3/s	0.0380
Chute brute	ΔZ	m	195.0
Accélération de la pesanteur	g	m/s^2	9.803
Masse volumique de l'eau	ρ	kg/m^3	1'000.5
Coefficient de perte de charge	K_{Hr}	s^2/m^4	0'695
Chute nette (à Q_n)	H_n	m	181.0
Rendement de la conduite forcée au débit nominal	η	%	92.8
Type de turbine	-	-	Turbine Pelton
Nombre d'injecteurs	z_i	-	1
Orientation de l'axe	-	-	vertical
Vitesse de rotation	n	t/min	1500.0
Vitesse d'emballement estimée	n_u	t/min	2850
Diamètre d'injection	D_1	mm	362
Largeur intérieure de l'auget	B_2	mm	94
Vitesse spécifique	D_1/B_2	-	3.85
Rayon extérieur de la roue	R_{ex}	mm	229
Nombre d'augets (*)	z_u	-	21
Diamètre interne minimal du bâti	D_c	mm	1020
Diamètre embouchure injecteur	D_e	mm	35
Course maximale du pointeau	C_{pmax}	mm	28
Diamètre interne de l'injecteur	D_i	mm	97
Diamètre de la tige de commande	D_{tgc}	mm	20
Angle du pointeau		°	50
Angle de la tuyère		°	75
Hauteur minimale de dénoyage	H_a	mm	690
Hauteur minimale plafond du canal de fuite - axe de la roue	H_{ab}	mm	290
Hauteur minimale plafond du bâti-axe de la roue	H_b	mm	220
Coude d'injecteur		mm	4"10S 114.30 x 3.05
Poussée hydraulique maximale d'un jet sur la roue (env.)	F_r	N	2'400
Poussée hydraulique maximale sur le pointeau (env.)	F_{pmax}	N	1'300
Débit minimal turbiné (indicatif)	Q_{min}	m^3/s	0.011
Puissance hydraulique brute	P_{tb}	kW	73
Puissance hydraulique nette	P_{tn}	kW	67
Puissance mécanique	P_m	kW	60

Le diamètre d'injection, $D_1 = 362$ mm, est faible et peut compromettre la réalisation de la roue.

(*): Le nombre d'augets est donné à ± 1 près, et sera défini lors du mandat.

La poussée maximale sur le pointeau, F_p max, prend en compte une tige de commande de 20 mm de diamètre. S'il s'avérait nécessaire de changer le diamètre de la tige du pointeau, la poussée F_p devrait être à nouveau calculée.

Annexe 2 : Profil hydraulique variante 2



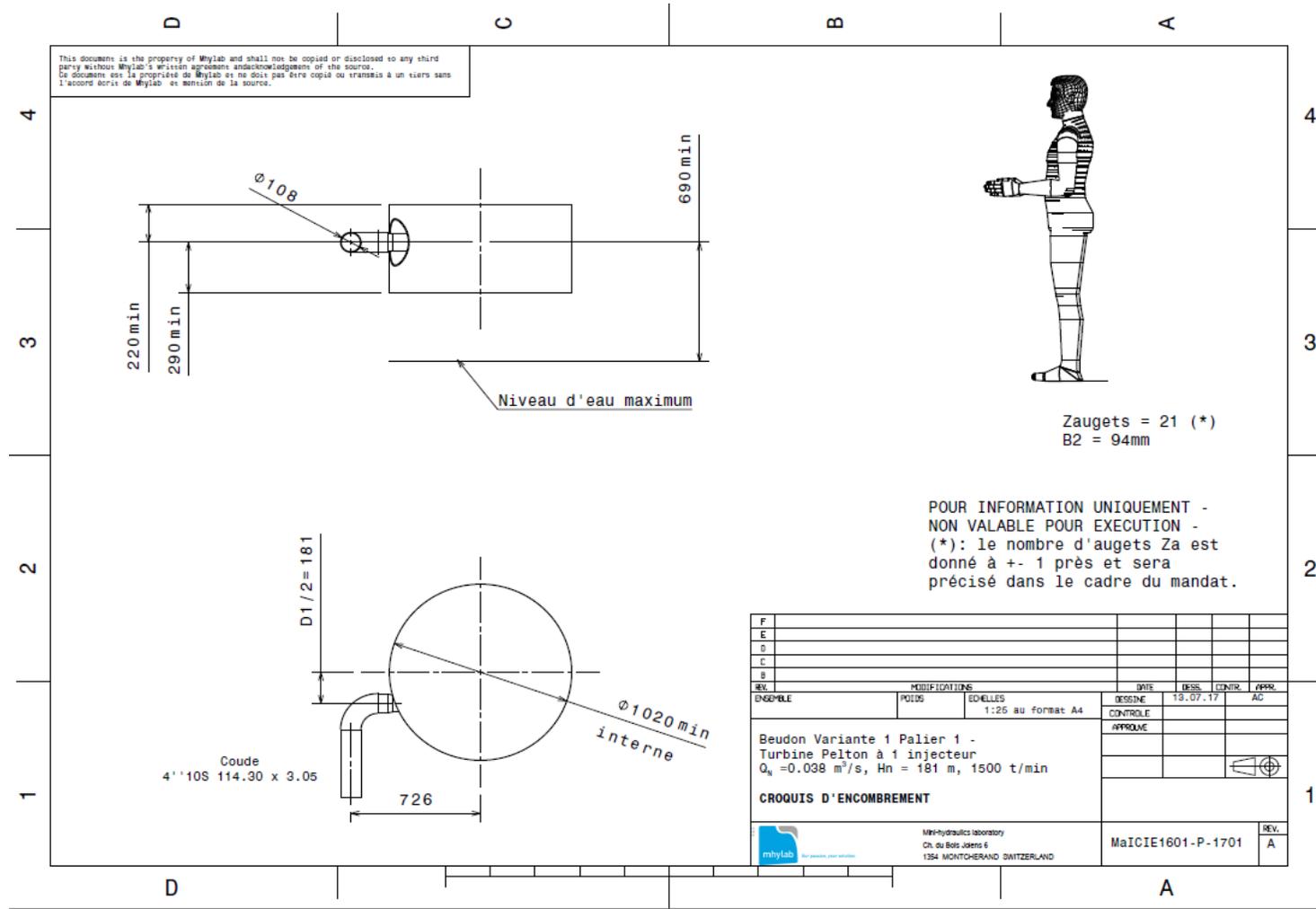
MaICIE1601 Beudon Variante 2 Paller 1

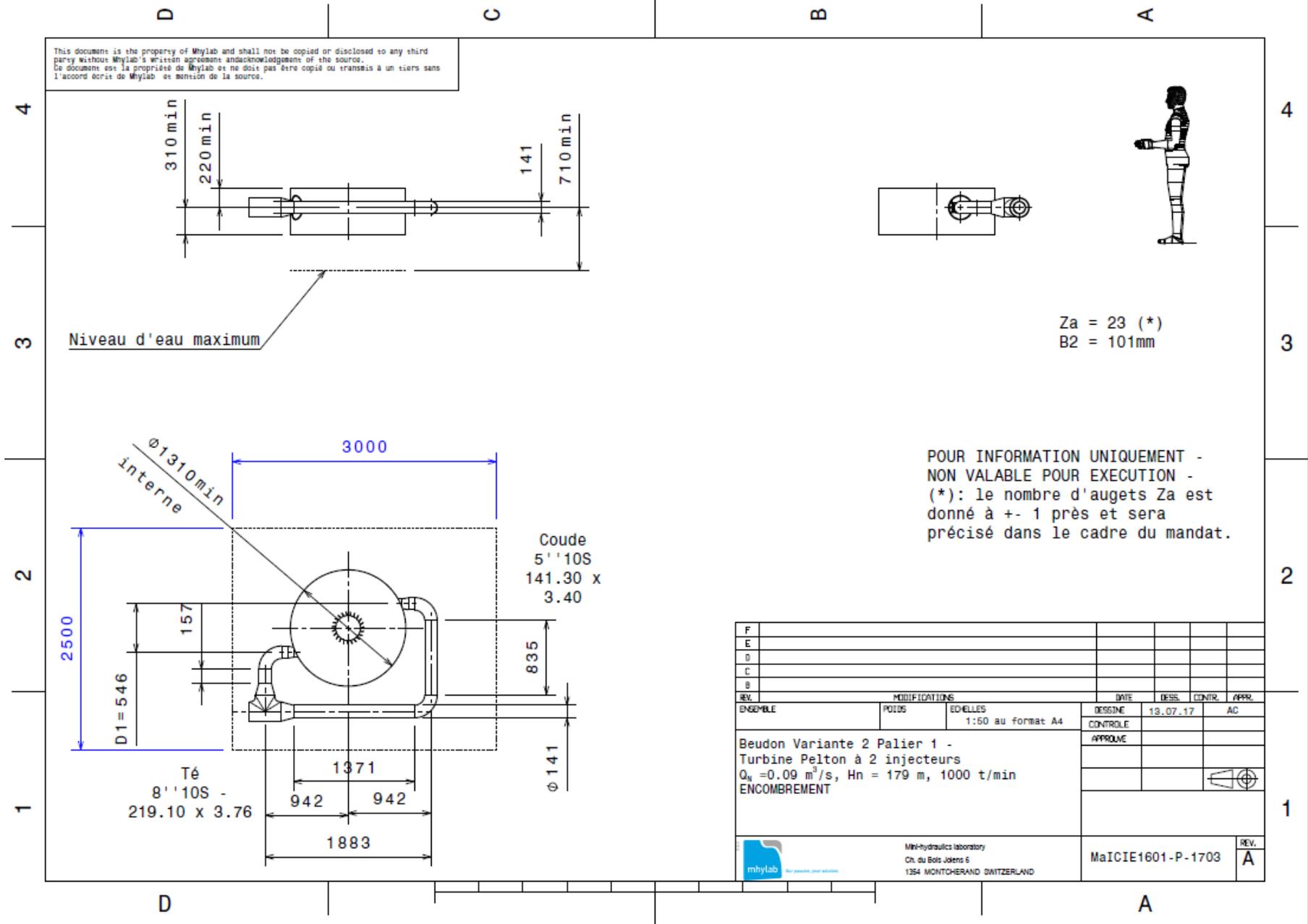
Nombre de turbines			1
Débit nominal de la turbine	Q_n	m^3/s	0.0900
Chute brute	ΔZ	m	195.0
Accélération de la pesanteur	g	m/s^2	9.803
Masse volumique de l'eau	ρ	kg/m^3	1'000.5
Coefficient de perte de charge	K _{Hr}	s^2/m^5	1'975
Chute nette (à Q _n)	H _e	m	179.0
Rendement de la conduite forcée au débit nominal	η	%	91.8
Type de turbine		-	Turbine Pelton
Nombre d'injecteurs	z _i	-	2
Orientation de l'axe	-		vertical
Vitesse de rotation	n	t/min	1000.0
Vitesse d'emballement estimée	n _e	t/min	1900
Diamètre d'injection	D ₁	mm	546
Largeur intérieure de l'auget	B ₂	mm	101
Vitesse spécifique	D ₁ /B ₂	-	5.41
Rayon extérieur de la roue	R _{ext}	mm	330
Nombre d'augets (*)	z _a	-	23
Diamètre interne minimal du bâti	D _c	mm	1310
Diamètre embouchure injecteur	D _e	mm	38
Course maximale du pointeau	C _{pmax}	mm	30
Diamètre interne de l'injecteur	D _i	mm	108
Diamètre de la tige de commande	D _{lge}	mm	25
Angle du pointeau		°	50
Angle de la tuyère		°	75
Hauteur minimale de dénoyage	H _a	mm	710
Hauteur minimale plafond du canal de fuite - axe de la roue	H _{ab}	mm	310
Hauteur minimale plafond du bâti-axe de la roue	H _b	mm	220
Coude d'injecteur		mm	5"10S 141.30 x 3.40
T égal, 1ère bifurcation		mm	8"10S - 219.10 x 3.76
Poussée hydraulique maximale d'un jet sur la roue (env.)	F _r	N	3'000
Poussée hydraulique maximale sur le pointeau (env.)	F _{pmax}	N	1'300
Débit minimal turbiné (Indicatif)	Q _{min}	m^3/s	0.014
Puissance hydraulique brute	P _{hb}	KW	172
Puissance hydraulique nette	P _{hn}	KW	158
Puissance mécanique	P _m	KW	142

(*): Le nombre d'augets est donné à ± 1 près, et sera défini lors du mandat.

La poussée maximale sur le pointeau, F_{p max}, prend en compte une tige de commande de 25 mm de diamètre. S'il s'avérait nécessaire de changer le diamètre de la tige du pointeau, la poussée F_p devrait être à nouveau calculée.

Annexe 3 : Schéma encombrement turbine 1 et 2





F						
E						
D						
C						
B						
REV.	MODIFICATIONS		DATE	DESS.	CONTR.	APPR.
ENSEMBLE	POIDS	ÉCHELLES	DESIGNÉ	19.07.17		AC
		1:50 au format A4	CONTRÔLE			
Beudon Variante 2 Palier 1 - Turbine Pelton à 2 injecteurs			APPROUVE			
Q _N = 0.09 m ³ /s, H _n = 179 m, 1000 t/min						
ENCOMBREMENT						
 MhyHydraulics laboratory CH, du Bois Jolens 6 1354 MONTCHERAND SWITZERLAND						
				MaICIE1601-P-1703		REV. A

Annexe 4 : Caractéristiques techniques génératrice variante 1

ABB Motors and Generators

EU - MEPS

Motor data sheet M3BP 250SMA 4

Definition	Data	Unit	Remarks
Product code	3GBP252210-**L		
Voltage code	D		
Type/Frame	M3BP 250SMA 4		
Design	CENELEC		
Efficiency class	IE3		
Rated output P _N	60	kW	
Rated voltage U _N	400	V D	± 5 % (IEC 60034-1)
Rated frequency f _N	50	Hz	± 2 % (IEC 60034-1)
Rated speed n _N	1482	r/min	
Rated current I _N	100	A	
Starting current I _S /I _N	7.1		
Nominal torque T _N	354.2	Nm	
Locked rotor torque T _l /T _N	2.9		
Maximum torque T _b /T _N	3.4		
Efficiency - full load 100%	94.55	%	Acc. to IEC 60034-2-1
Efficiency - 75%	94.66	%	
Efficiency - 50%	94.04	%	
Power factor - full load 100%	0.84		
Bearing DE/NDE	6315/C3 6213/C3		
Sound pressure level L _{PA} dB	68	dB(A)	+3dB(A)
Moment of inertia J = ¼ GD ² kgm ²	0.69	kg-m ²	
Weight	406	kg	

All data subject to tolerances in accordance with IEC. Data subject to changes.

Power and productivity
for a better world™ **ABB**

Annexe 5 : Caractéristiques techniques génératrice variante 2

ABB Motors and Generators

EU - MEPS

Motor data sheet

M3BP 315SMD 4

Definition	Data	Unit	Remarks
Product code	3GBP312240-**L		
Voltage code	D		
Type/Frame	M3BP 315SMD 4		
Design	CENELEC		
Efficiency class	IE3		
Rated output P _N	160	kW	
Rated voltage U _N	400	V D	± 5 % (IEC 60034-1)
Rated frequency f _N	50	Hz	± 2 % (IEC 60034-1)
Rated speed n _N	1488	r/min	
Rated current I _N	282	A	
Starting current I _S /I _N	6.9		
Nominal torque T _N	1026	Nm	
Locked rotor torque T _l /T _N	2.2		
Maximum torque T _b /T _N	3		
Efficiency - full load 100%	95.75	%	Acc. to IEC 60034-2-1
Efficiency - 75%	95.96	%	
Efficiency - 50%	95.75	%	
Power factor - full load 100%	0.85		
Bearing DE/NDE	6319/C3 6316/C3		
Sound pressure level L _{PA} dB	71	dB(A)	+3dB(A)
Moment of inertia J = ¼ GD ² kgm ²	3.2	kg-m ²	
Weight	1065	kg	

All data subject to tolerances in accordance with IEC. Data subject to changes.

Annexe 6 : Offre devis alternateurs



Route de Merdesson 1
CH - 1955 ST-PIERRE-DE-CLAGES

Tél. +41 27 305 3000
Fax +41 27 305 3010

contact@valelectric.ch
www.valelectric.ch

HES-SO Valais
Design & Matériels
Route du Rawyl 47
Case postale 2134
CH - 1950 Sion

Offre, Devis N° 11710438

St-Pierre-de-Clages, le 24 juillet 2017

N / Réf. - Ordre : Offre bugétaire

V / Référence : Moteurs 60kW et 160kW

	Quantité	Prix	Montant
Moteur 60kW IE3			
- Art. 3GBP252210-BDL	1	10'769.00	20.0%
Moteur triphasé ABB gamme Process Performance Type M3BP 250SMA 4 Rendement IE3 55kW 400VD 1500tr/min Forme à flasque B5 Caractéristiques détaillées selon fichier joint			
Options :			
+ 058 Roulement à billes à contact oblique CC, charge sur l'arbre à l'opposé du palier; blocage rotor pour le transport inclus.			
+ 128 Double PT100, 2 fils dans les paliers.			
+ 446 Sondes Pt100 2 fils (2/phase) dans bobinage stator + 418 Boite à bornes séparée pour auxiliaires, matière standard.			
+ 070 Bout d'arbre spécial, coté commande, matière standard.			
110 400 Std			
+ 066 Modification de la position de montage si position différente de IMB3(1001), IMB5 (3001), IMB14 (3601), IMB35 (2001).			
+ 005 Capot anti pluie pour marche verticale, arbre vers le bas.			
+ 305 Anneaux de levage supplémentaires.			
+ 002 Regravage de puissance, tension et fréquence, service continu. + 424 Equilibrage clavette entière.			
- Boute d'arbre spécial sur mesure	1 env.	1'800.00	8'615.20
Le prix est estimé et devra être affiné selon votre dessin			
Sous-total			10'415.20



Route de Merdesson 1
CH - 1955 ST-PIERRE-DE-CLAGES

Tél. +41 27 305 3000 contact@valelectric.ch
Fax +41 27 305 3010 www.valelectric.ch

HES-SO Valais
Design & Matériels
Route du Rawyl 47
Case postale 2134
CH - 1950 Sion

Offre, Devis N° 11710438

St-Pierre-de-Clages, le 24 juillet 2017

N / Réf. - Ordre : Offre budgétaire

V / Référence : Moteurs 60kW et 160kW

	Quantité	Prix		Montant
Moteur 160kW IE3				
- Art. 3GBP312240-BDL	1	22'806.00	20.0%	18'244.80
Moteur triphasé ABB gamme Process Performance Type M3BP 315SMD 4 Rendement IE3 160kW 400VD 1500tr/min Forme à flasque B5 Caractéristiques détaillées selon fichier joint				
Options :				
+ 058 Roulement à billes à contact oblique CC, charge sur l'arbre à l'opposé du palier; blocage rotor pour le transport inclus.				
+ 128 Double PT100, 2 fils dans les paliers.				
+ 446 Sondes Pt100 2 fils (2/phase) dans bobinage stator + 418 Boite à bornes séparée pour auxiliaires, matière standard.				
+ 070 Bout d'arbre spécial, coté commande, matière standard.				
110 400 Std				
+ 066 Modification de la position de montage si position différente de IMB3(1001), IMB5 (3001), IMB14 (3601), IMB35 (2001).				
+ 005 Capot anti pluie pour marche verticale, arbre vers le bas.				
+ 305 Anneaux de levage supplémentaires.				
+ 002 Regravage de puissance, tension et fréquence, service continu. + 424				
Equilibrage clavette entière.				
- Boute d'arbre spécial sur mesure	1 env.	2'000.00		2'000.00
Le prix est estimé et devra être affiné selon votre dessin				
Sous-total				20'244.80



Route de Merdesson 1
 CH - 1955 ST-PIERRE-DE-CLAGES

Tél. +41 27 305 3000 contact@valelectric.ch
 Fax +41 27 305 3010 www.valelectric.ch

HES-SO Valais
 Design & Matériels
 Route du Rawyl 47
 Case postale 2134
 CH - 1950 Sion

Offre, Devis N° 11710438

N / Réf. - Ordre : Offre budgétaire

V / Référence : Moteurs 55kW et 160kW

Report de la page 2 30'660.00

Quantité Prix Montant

Moteur 160kW IE4

- Art. 3GBP312420-BDM
 Moteur triphasé ABB gamme Process Performance
 Type M3BP 315MLB 4 Rendement IE3
 160kW 400VD 1500tr/min Forme à flasque B5

Caractéristiques détaillées selon fichier joint Options :

- + 058 Roulement à billes à contact oblique CC, charge sur l'arbre à l'opposé du palier; blocage rotor pour le transport inclus.
- + 128 Double PT100, 2 fils dans les paliers.
- + 446 Sondes Pt100 2 fils (2/phase) dans bobinage stator + 418 Boite à bornes séparée pour auxiliaires, matière standard.
- + 070 Bout d'arbre spécial, coté commande, matière standard. 110 400 Std
- + 066 Modification de la position de montage si position différente de IMB3(1001), IMB5 (3001), IMB14 (3601), IMB35 (2001).
- + 005 Capot anti pluie pour marche verticale, arbre vers le bas.
- + 305 Anneaux de levage supplémentaires.
- + 002 Regravage de puissance, tension et fréquence, service continu. + 424 Equilibrage clavette entière.

1 25'970.00 20.0% 20'776.00

- Boute d'arbre spécial sur mesure
 Le prix est estimé et devra être affiné selon votre dessin
 Sous-total

1 env. 2'000.00 2'000.00

22'776.00

TVA exclue* 8.00% / CHF 53'436.00: CHF 4'274.90

Paiement à 30 jours net

TVA n° : CHE-101.882.450 TVA
 Validité de l'offre: 23.08.2017 Avec

Total net 53'436.00
TVA 4'274.90
TOTAL **57'710.90**

nos remerciements et nos cordiales salutations.

Page 3



Offre Centrale de eaudon Variante 1

Haute Ecole Valaisanne
At. Mr Sebastian Zajaczkowski
Boite Postale
CH-1950 Sion

I/Référence	I/Nachricht	U/Référence	Bellinzona
Sebastin Zajaczkowski		Tiziano Christen	28 Juillet 2017

Offre Nr. 7020/1 Centrale Hydroélectrique Beudon, Variante 1 67KW

Cher Mr Zajaczkowski

Nous vous remercions beaucoup pour votre demande d'offre budgétaire pour la restructuration de cette petite centrale hydroélectrique de Beudon.

Ci-joint vous trouvez notre offre por la Variante 1.

L'offre contient les éléments suivants :

- 1.1 la turbine avec le générateur et les vannes
- 1.2 le système de contrôle commande,
- 3 Montage des groupes Centrale et Commande
- 4 la conduite d'eau de la partie supérieure et de la Bifurcation au local de turbinage avec une conduite PE de 150mm.

Comme base de notre offre on a utilisé votre Rapport d'analyse et les données de la maison Mhylab.

Anstelldatum: 14.08.2017
Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante 1.docx
Seite: 1 von 11



Premel SA
Via Riale Righeiti 24
6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
Ringstrasse 12
8600 Dübendorf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
ti@premel.ch
zh@premel.ch



Offre Centrale de eaudon Variante 1

Pos. 1.1 Groupe Turbine-Générateur

Turbine Pelton vertical

Type: PTV 38-362-1

Fabriquant: Häny AG
 Montage: Axe vertical
 Nombre de buse(s): 1
 Vitesse de rotation nominal: 1500 min⁻¹

Données techniques:

Fluide: Eau potable

Q: 38.0 l/s
 Q: 29.0 l/s
 Q: 17.0 l/s

H Brut: 195 mWs

H net 38.0 l/s: 181.0 m
 H net 29.0 l/s: 186.7 m
 H net 17.0 l/s: 192.0 m

P hydraulique 90.0 l/s: 67.4 kW
 P hydraulique 60.0 l/s: 53.1 kW
 P hydraulique 30.0 l/s: 32.0 kW

ETAT 90.0 l/s : 88.5 %
 ETAT 29.0 l/s : 88.7 %
 ETAT 17.0 l/s : 86.6 %

P mécanique 38.0 l/s: 59.7 kW
 P mécanique 29.0 l/s: 47.1 kW
 P mécanique 17.0 l/s: 27.7 kW

Nombre de buses: 1Stk
 Largeur de l'auget: 94 mm
 Diamètre d'injection: 362 mm
 Diamètre du jet: 35 mm

Ausstelldatum: 14.08.2017
 Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante 1.docx
 Seite: 2 von 11



Premel SA
 Via Riale Righetti 24
 6503 Bellinzona
 Tel.: +41 (0)91 873 48 00
 Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
 Ringstrasse 12
 8600 Dübendorf
 Tel.: +41 (0)44 822 28 00
 Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
 it@premel.ch
 zlc@premel.ch



Offre Centrale de eaudon Variante 1

Matière de la turbine:
 Matériau de bâti: 1.4307 ravivé et passivé
 Roue: 1.4313
 Buse: 1.4021

Données générales:

Durée de fonctionnement: 40 années

Cas particulier:

La turbine défini dans notre devis n'est pas standard. Afin d'atteindre le niveau d'efficience, nous développerons et produisons une roue selon les données hydrauliques.

Données électriques Générateur:

Type de générateur: Asynchrone générateur premium
 efficacité, IE4 55 kW / 66 kVA
 Fabricant: WEG
 Compteur de tour: IFM

Contrôle de la température: 1 x PT100 / Roulement (2)
 1 x PT100 / Phase (3)

P nominal de générateur: 60 kW
 P nominal: 1500 min-1
 Vitesse d'emballement: 2800 min-1
 Tension U: 400/690 V
 Fréquence F: 50 Hz
 Protection: IP55
 Construction: V1
 Classe d'isolation: F
 Poids: 531 kg
 Couleur: Rouge
 Type de palier: Paliers
 Durée de vie des paliers: 60'000-100'000 h.

ETA Générateur: 95.7 % à 100% puissance /
 Cos Phi 0.83

ETA Générateur: 95.4 % à 75% puissance /
 Cos Phi 0.78

ETA Générateur: 94.9 % à 50% puissance /
 Cos Phi 0.67

P électrique 90.0 l/s: 57.1 kW
 P électrique 60.0 l/s: 45.1 kW
 P électrique 30.0 l/s: 26.5 kW

Ausstellungsdatum: 14.08.2017
 Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante 1.docx
 Seite 3 von 11



Premel SA
 Via Riale Righetti 24
 6503 Bellinzona

Tel: +41 (0)91 873 48 00
 Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
 Ringstrasse 12
 8600 Dübendorf

Tel: +41 (0)44 822 28 00
 Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
ti@premel.ch
zh@premel.ch



Offre Centrale de eaudon Variante 1

Matériau:

Nous pouvons délivrer, sur demande, un certificat de conformité du matériau 3.1 ou 3.2. Si vous souhaitez un certificat, il faudra le spécifier à la commande. Par la suite, aucun certificat ne pourra être fourni. La certification ne fait pas partie de l'offre. La remise des certificats sera facturée en sus. Nos composants sont produits par nos fournisseurs, qui peuvent justifier une certification de soudage SN-EN-287-1.

Coûts d'entretien et de maintenance:

La turbine et contre turbine Pelton ne nécessitent pas de maintenance importante. La lubrification des générateurs est définie sur le marquage de ceux-ci. Lors de la première mise en œuvre, les paliers devront être remplacés après 60'000 à 100'000 heures.

Conduite (hors limite fourniture):

L'absorption des forces de poussée des conduites sont hors limite de fournitures. Ce qui implique que les conduites soient reliées à la turbine sans contrainte. Les échanges de chaleur, les forces hydrauliques des conduites ainsi que le poids propre du fluide ne doivent pas butés sur les flasques de la turbine. Les travaux de soudage des conduites ne doivent pas butés sur les flasques de la turbine. Les travaux de soudage des conduites ne doivent pas être réalisés lorsque ceux-ci sont vissés à la turbine. Pour les corps de turbine qui intègrent un disque d'éclatement, celui-ci doit être installé sans obstruction.

Prix Groupe Turbine-générateur (excl. VAT). CHF 105'000.00

Pos. 1.1.2 Exécution de la chaudronnerie et des conduites de ralliement à la turbine dans les locaux:

Fourniture des éléments de chaudronnerie et des conduites de ralliement fabriqués selon les plans avec les flasques et les manchons nécessaires à l'installation des appareils de mesures (capteurs de pression, manomètres).

Tous ces éléments sont réalisés en acier inoxydable AISI 304, découpés puis passivés pour une esthétique et une protection contre la corrosion idéale.

La fourniture comprend également les supports pour le levage et l'assemblage, ainsi que les composants nécessaires à l'isolation des composants tels que les vannes lors du montage. Non compris dans cette position le montage sur site.

Prix (excl. VAT). CHF 20'000.00

Ausstellungsdatum: 14.08.2017
Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante 1.docx
Seite: 5 von 11



Premel SA
Via Riale Righeisi 24
6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
Ringstrasse 12
8600 Dübendorf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
u@premel.ch
zh@premel.ch



Offre Centrale de eaudon Variante 1

Pos. 1.1.3 Vannes Turbine Variante 1

Vanne entrée DN 100 / PN 25
Ringkolbenventil DN100 / PN25
Vanne contre pression DN150 / PN10
Vanne sphérique entrée turbine DN100 / PN 25
1 x Vanne manuelle DN100 / PN25
2 x Vanne manuelle DN100 / PN 10

Toutes les éléments fermeture sont avec capteurs de limites. Alle Handarmat.

Prix (excl. VAT). CHF 41'000.00



Pos. 1.2 Contrôle-Commande:

Solution proposée:

Le concept de la partie contrôle/commande de la turbine et de la centrale se base sur un système modulaire avec un PLC du type (Schneider M340). Le contrôle est faite à partir de boutons poussoir qui sont placés sur la partie antérieure de l'armoire de commande où à partir du display à 4 lignes avec touches. Au moment actuel on a prévu 2 armoires, qui seront placés dans la centrale.

Tableaux contrôle - commande

Matériel: Acier Laqué
Largeur: 1625mm (2x800mm + 1x25mm)
Hauteur: 1900mm (Socket bauseits)
Profondeur: 500mm
Degré de protection: IP40
Couleur: RAL 5010 Bleu
Serrure 4kt 6mm
Entrée câbles: du bas
À gauche et droite des parois
Paroi de séparation entre les deux armoires

Armoire 1 Mesure

Eventuellement ce tableau peut être réduit en dimensions si le système de commande à distance n'est pas prévue.

Les mesures à effectuer seront objet d'une vérification définitive avec le gesteur du réseau électrique.

Place prévue dans l'armoire :

- 4 places compteurs
- Fusibles protection du compteur
- Bornier pour brancher le compteur
- Transformateur mesure courant
- Protection pour les surtensions

Fourniture du compteur par le client.

Fusible protection à prévoir 150A.

Armoire 2 Puissance

Montés dans l'armoire :

- Interrupteur de puissance
- Protection générateur
- Protection moteur pour le générateur
- Compensation 1 niveau >0.9 cos phi
Comprenant
 - Protections ligne
 - Contacteur
 - Inductances
 - Condensateurs
- Différente fusibles pour circuits auxiliaires

Ausstelldatum: 14.08.2017
Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante 1.docx
Seite: 7 von 11



Premel SA
Via Risale Righetti 24
6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
Ringstrasse 12
8600 Dübendorf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
h@premel.ch
zh@premel.ch

7020/1 Offre Centrale de Beadon Variante 1

- PLC comprenant:
 - CPU
 - 8 entrées analogiques PT 100
 - 8 entrées analogiques 4-20mA/ 0-20mA
 - 36 Entrées digitales
 - 24 Sorties digitales
 - 12 Sorties analogiques 4-20mA
- Distribution DC avec Batteries 24V de sécurité pour alimentation commande/Contrôle
- Relais protection générateur (Fréquence, Tension, Puissance de retour)
- Commande de la valve Bypass
- Commande valve de tête
- Commande valve de décharge ligne
- Relais auxiliaires
- Relais de sécurité

Montés sur la porte:

- Bouton arrêt-urgence
- Display 4 Lignes
- 2 Interrupteurs de commande
- 3 Lampes de signalisation
- 4 touche sur le display
- Instrument multifonctions (Type Janitza ou similaire)

Les information suivantes sur contact libre de potentiel, disponibles sur bornier :

- Commande locale
- Commande distance
- Interrupteur générateur déclanché
- Interrupteur générateur enclenché
- Alarme générale urgent
- Alarme générale non urgent
- Valve ouverte
- Valve fermée

Engineering:

- Exécution complète du projet
- Schémas électriques
- Programmes du PLC
- Programme des imagesinterface HMI
 - 2 x Images centrale complète
 - 1 x Mesures
 - 3 x Commande des éléments
 - 1 x Image d'alarme
- Documentation complète du système fourni
- Documentation et protocole des tests et client
- Participation à max. 2 Séances à 4 heures

Prix contrôle commande (excl. VAT).

CHF 51'000.00

Ausstelldatum: 14.08.2017
Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante 1.docx
Seite: 8 von 11



Premel SA
Via Riale Righeiti 24
6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
Ringstrasse 12
8600 Dübendorf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
it@premel.ch
zh@premel.ch



7020/1 Offre Centrale de Beadon Variante 1

Pos. 2 Mesure niveau

Des sondes mesure de niveau du bassin del la prise d'eau seront fournies par le client avec un signal 4- 20mA Signal.

Pos. 3 Montage et mise en service éléments centrale

Dans le prix les service suivants sont inclus :

- Séances de coordination pour la mise en service
- Travaux de préparation dans notre usine
- Voyage aller-retour et dépenses sur le site
- Transprot des matériaux depuis les fournisseurs au site
- Montage Turbine et Générateur
- Montage Armoires contrôle/commande
- Cablage armoires et machine
- Test des I/O
- Vérification et mise en service de l'installation fournie
- Test complet du fonctionnement
- Instruxction du personnel du cliente pendant la mise en service
- Protocole de test avec le client.

Prix (excl VAT)

CHF 47'000.00

Pos. 4 Fourniture et montage conduite DN176 x 293m

- Tuyau DN176 PN16 Type Gerofit de la Prise eau jusqu'à la Bifurcation. Connexion PE soudée Frialen (213m)
- Traverse vallé (env. 80m) inclus corde de suspension du tuyau, réalisé avec tuyau Spécial Isolé Type Brugg DN176 PN16. Connexions Brugg spécial (80m). Inclus soutiens acier à fixer sur les socle de beton et fil acier de support.
- Montage tuyaux
- Exclus travaux de jénie civil comme excavation, démontage et élimination vieux conduites
- Exclus socle de soutien de la conduite en haut sur la vallée

Prix (excl VAT)

CHF 127'000.00

7020/1 Offre Centrale de Beadon Variante 1



Resumé des Prix :

1.1	Turbine et Générateur	CHF	105'000.00
1.1.2	Chaudronnerie	CHF	20'000.00
1.1.3	Vannes Turbine	CHF	41'000.00
1.2	Contrôle commande	CHF	51'000.00
3	Transport, Montage et mise en service centrale	CHF	47'000.00
4	Fourniture/montage conduite PE DN176 partie sup	CHF	127'000.00
Total excl. VAT		CHF	391'000.00

Pas inclus dans notre offre:

- Démontage, transport et élimination de parties de l'installation existante.
- Approbation et documentation pour l'entreprise d'électricité/ESTI.
- Echafaudage de montage
- Travaux de génie civil
- Joints d'étanchéité.
- Fourniture de sondes pression
- Montage sonde niveau sur la prise d'eau
- Des couts causé par des temps d'attente, pas causées par nous
- Plaques compteur
- Compteur
- TA pour le compteur
- Bornier de mesure
- Fusible protection compteur



Offre Centrale de eaudon Variante 2

Haute Ecole Valaisanne
At. Mr Sebastian Zajaczkowski
Boite Postale
CH-1950 Sion

<u>I/Référence</u>	<u>I/Nachricht</u>	<u>U/Référence</u>	<u>Bellinzona</u>
Sebastin Zajaczkowski		Tiziano Christen	28 Juillet 2017

Offre Nr. 7020/2 Centrale Hydroélectrique Beudon, Variante 2 158KW

Cher Mr Zajaczkowski

Nous vous remercions beaucoup pour votre demande d'offre budgétaire pour la restructuration de cette petite centrale hydroélectrique de Beudon.

Ci-joint vous trouvez notre offre por la Variante 2.

L'offre contient les éléments suivants :

- 1.1 la turbine avec le générateur et les vannes
- 1.2 le système de contrôle commande,
- 3 Montage des groupes Centrale et Commande
- 4 la conduite d'eau de la partie supérieure et de la Bifurcation au local de turbinage avec une conduite PE de 220mm.
- 5 La conduite d'eau depuis la bifurcation à la centrale 1+2 en fonte
- 6 Le transformateur élévation tension ligne (en option)

Comme base de notre offre on a utilisé votre Rapport d'analyse et les données de la maison Mhylab.

Ausstellungsdatum: 14.08.2017
Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante2.docx
Seite: 1 von 13



Premel SA
Via Riale Righetti 24
6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
Ringstrasse 12
8600 Dübendorf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
ti@premel.ch
sh@premel.ch



Offre Centrale de eaudon Variante 2

Centrale Hydroélectrique Variante 2 158KW

Pos. 1.1 Groupe Turbine-Générateur

Turbine Pelton vertical

Type: PTV 38-546-2
 Fabricant: Häny AG
 Montage: Axe vertical
 Nombre de buse(s): 1
 Vitesse de rotation nominal: 1000 min⁻¹

Données techniques:

Fluide: Eau potable

Q: 90.0 l/s
 Q: 60.0 l/s
 Q: 30.0 l/s

H Brut: 195 mWs

H net 90.0 l/s: 179.0 m
 H net 60.0 l/s: 187.6 m
 H net 30.0 l/s: 193.0 m

P hydraulique 90.0 l/s: 158.0 kW
 P hydraulique 60.0 l/s: 110.4 kW
 P hydraulique 30.0 l/s: 56.8 kW

ETAT 90.0 l/s : 88.5 %
 ETAT 29.0 l/s : 88.7 %
 ETAT 17.0 l/s : 86.6 %

P mécanique 90.0 l/s: 141.9 kW
 P mécanique 60.0 l/s: 98.1 kW
 P mécanique 30.0 l/s: 49.9 kW

Nombre de buses: 2Stk
 Largeur de l'auget: 101 mm
 Diamètre d'injection: 546 mm
 Diamètre du jet: 38 mm

Ausgabedatum: 14.08.2017
 Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante2.docx
 Seite: 2 von 11



Premel SA
 Via Riale Righetti 24
 6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
 Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
 Ringstrasse 12
 8600 Dätelforf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
 Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
 ti@premel.ch
 zh@premel.ch



Offre Centrale de eaudon Variante 2

Matière de la turbine:
 Matériau de bâti: 1.4307 ravigé et passivé
 Roue: 1.4313
 Buse: 1.4021

Données générales:

Durée de fonctionnement: 40 années

Cas particulier:

La turbine définit dans notre devis n'est pas standard. Afin d'atteindre le niveau d'efficience, nous développerons et produirons une roue selon les données hydrauliques.

Données électriques Générateur:

Type de générateur: Asynchrone générateur premium
 efficacité, IE4 150 kW / 186 kVA
 Fabricant: WEG
 Compteur de tour: IFM

Contrôle de la température: 1 x PT100 / Roulement (2)
 1 x PT100 / Phase (3)

P nominal de générateur: 150 kW
 P nominal: 1500 min-1
 Vitesse d'emballement: 2800 min-1
 Tension U: 400/690 V
 Fréquence F: 50 Hz
 Protection: IP55
 Construction: V1
 Classe d'isolation: F
 Poids: 1450 kg
 Couleur: Rouge
 Type de palier: Paliers
 Durée de vie des paliers: 60'000-100'000 h.

ETA Générateur: 96.4 % à 100% puissance /
 Cos Phi 0.83

ETA Générateur: 96.3 % à 75% puissance /
 Cos Phi 0.78

ETA Générateur: 95.9 % à 50% puissance /
 Cos Phi 0.67

P électrique 90.0 l/s: 136.8 kW
 P électrique 60.0 l/s: 94.3 kW
 P électrique 30.0 l/s: 47.1 kW

Ausstellungsdatum: 14.08.2017
 Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante2.docx
 Seite: 3 von 11



Premel SA
 Via Riale Righetti 24
 6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
 Fax: +41 (0)91 873 48 01

Premel AG
 Ringstrasse 12
 8600 Dübendorf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
 Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
 ti@premel.ch
 zh@premel.ch



Offre Centrale de eaudon Variante 2

Turbine pelton classique avec 2 injecteur construction verticale. La construction est très compacte, ce qui permet une installation dans un environnement donné. L'alimentation s'effectue avec un générateur asynchrone en parallèle. Une installation avec un générateur synchrone permet une alimentation isolée unique.

Construction d'une turbine Pelton vertical

Description de la construction:

Le corps est en 1.4307 et 1.4301 ravivé et passivé. Le corps possède une flasque d'admission qui alimente les buses. L'expulsion s'effectue sur toute la section du corps de la turbine au-dessus du réservoir.

Connection conduite de pression: Flasque DN 200, PN 25

Description:

Buse:

L'ajustement du pointeau s'effectue par un servomoteur électrique monté à l'extérieur. Les pièces hydrauliques, fortement sollicitées, sont fabriquées avec matériau résistant à l'usure. Tous les composants en contact avec l'eau sont compatibles avec les normes alimentaires.

Défecteur:

Un défecteur n'est pas nécessaire dans un générateur asynchrone.

Protection contre la corrosion:

Toutes les pièces en contact avec l'eau sont en AISI 304 ou AISI 316L, une protection supplémentaire contre la corrosion n'est pas nécessaire.

Etanchéité:

L'étanchéité des pièces en rotation est garanties pas des joints cylindriques ou par des joints d'arbre.

Certification eau potable:

Sur demande nous livrons avec notre turbine Pelton un certificat de conformité eau potable.

Concept qualité et construction:

La société Häny AG est certifié ISO 9001 en tant que fabricant de turbine. Un système de gestion de la qualité est disponible et peut être consulté sur demande. Un certificat de conformité CE selon (EG-Maschinen Richtlinie 2006/42/EG) est délivré avec la turbine.



Offre Centrale de eaudon Variante 2

Matériau:

Nous pouvons délivrer, sur demande, un certificat de conformité du matériau 3.1 ou 3.2. Si vous souhaitez un certificat, il faudra le spécifier à la commande. Par la suite, aucun certificat ne pourra être fourni. La certification ne fait pas partie de l'offre. La remise des certificats sera facturée en sus. Nos composants sont produits par nos fournisseurs, qui peuvent justifier une certification de soudage SN-EN-287-1.

Coûts d'entretien et de maintenance:

La turbine et contre turbine Pelton ne nécessitent pas de maintenance importante. La lubrification des générateurs est définie sur le marquage de ceux-ci. Lors de la première mise en œuvre, les paliers devront être remplacés après 60'000 à 100'000 heures.

Conduite (hors limite fourniture):

L'absorption des forces de poussée des conduites sont hors limite de fournitures. Ce qui implique que les conduites soient reliées à la turbine sans contrainte. Les échanges de chaleur, les forces hydrauliques des conduites ainsi que le poids propre du fluide ne doivent pas butés sur les flasques de la turbine. Les travaux de soudage des conduites ne doivent pas butés sur les flasques de la turbine. Les travaux de soudage des conduites ne doivent pas être réalisés lorsque ceux-ci sont vissés à la turbine. Pour les corps de turbine qui intègrent un disque d'éclatement, celui-ci doit être installé sans obstruction.

Prix Groupe Turbine-générateur (excl. VAT). CHF 126'000.00

Pos. 1.1.2 Exécution de la chaudronnerie et des conduites de ralliement à la turbine dans les locaux:

Fourniture des éléments de chaudronnerie et des conduites de ralliement fabriqués selon les plans avec les flasques et les manchons nécessaires à l'installation des appareils de mesures (capteurs de pression, manomètres).
Tous ces éléments sont réalisés en acier inoxydable AISI 304, décapés puis passivés pour une esthétique et une protection contre la corrosion idéale.
La fourniture comprend également les supports pour le levage et l'assemblage, ainsi que les composants nécessaires à l'isolation des composants tels que les vannes lors du montage.
Non compris dans cette position le montage sur site.

Prix (excl. VAT). CHF 20'000.00

Ausstellungsdatum: 14.08.2017
Änderungsdatum: 14.08.2017

Variante2.docx
Seite: 5 von 11



premel SA
Via Riale Righeiti 24
6503 Bellinzona

Tel.: +41 (0)91 873 48 00
Fax: +41 (0)91 873 48 01

premel AG
Ringstrasse 12
8600 Dübendorf

Tel.: +41 (0)44 822 28 00
Fax: +41 (0)44 822 28 01

www.premel.ch
is@premel.ch
zh@premel.ch

Offre Centrale de eaudon Variante 2



Pos. 1.1.3 Vannes Turbine Variante 2

Vanne entrée DN 200 / PN 25
Ringkolbenventil DN200 / PN25
Vanne contre pression DN250 / PN10
Vanne sphérique entrée turbine DN200 / PN 25
1 x Vanne manuelle DN200 / PN25
2 x Vanne manuelle DN200 / PN 10

Toutes les éléments fermeture sont avec capteurs de limites. Alle Handarmat.

Prix (excl. VAT). CHF 48'700.00



7020/2 Offre Centrale de Beadon Variante 2

Pos. 2 Mesure niveau

Des sondes mesure de niveau du bassin del la prise d'eau seront fournies par le client avec un signal 4- 20mA Signal.

Pos. 3 Montage et mise en service éléments centrale

Dans le prix les service suivants sont inclus :

- Séances de coordination pour la mise en service
- Travaux de préparation dans notre usine
- Voyage aller-retour et dépenses sur le site
- Transprot des matériaux depuis les fournisseurs au site
- Montage Turbine et Générateur
- Montage Armoires contrôle/commande
- Cablage armoires et machine
- Test des I/O
- Vérification et mise en service de l'installation fournie
- Test complet du fonctionnement
- Instruxction du personnel du cliente pendant la mise en service
- Protocole de test avec le client.

Prix (excl VAT)

CHF 50'000.00

Pos. 4 Fourniture et montage conduite DN220 x 293m

- Tuyau DN220 PN16 Type Gerofit de la Prise eau jusqu'à la Bifurcation. Connexion PE soudée Frialen (213m)
- Traverse vallée (env. 80m) inclus corde de suspension du tuyau, réalisé avec tuyau Spécial Isolé Type Brugg DN220 PN16. Connexions Brugg spécial (80m). Inclus soutiens acier à fixer sur les socle de beton et fil acier de support.
- Montage tuyaux
- Exclus travaux de jénie civil comme excavation, démontage et élimination vieux conduites
- Exclus socle de soutien de la conduite en haut sur la vallée

Prix (excl VAT)

CHF 142'000.00

Pos. 5 Fourniture et montage conduite Fonte avec couverture interne PE

- Tuyau DN220 K7 Type VonRoll Hydro Ducpur, depuis la Bifurcation jusqu'à la centrale 1+2 de la Prise eau jusqu'à la Bifurcation
- Montage tuyaux dans le terrain (déjà excavé)
- Exclus travaux de jénie civil comme excavation, démontage et élimination vieux conduites
- Exclus socle soutien dans les virages

Prix (excl VAT)

CHF 140'000.00

7020/2 Offre Centrale de Beadon Variante 2



Pos. 6 Système élévation tension ligne (option)

- Pour ce système nous n'offrons pas de Transformateur MT à cause des hauts coûts du système
- Nous avons prévu un générateur avec 690V (connexion étoile) qui serait une machine standard. Ceci permet d'utiliser des composants BT standard et d'utiliser les câbles présents.
- Fin de ligne il faudra prévoir un transformateur selon les tensions présentes.
- Indicativement un transformateur de 400/690V 150KVA coûte environ 10'000Fr.

Prix (excl VAT) indicatif Transformateur 690/400V 150KVA CHF 10'000.00

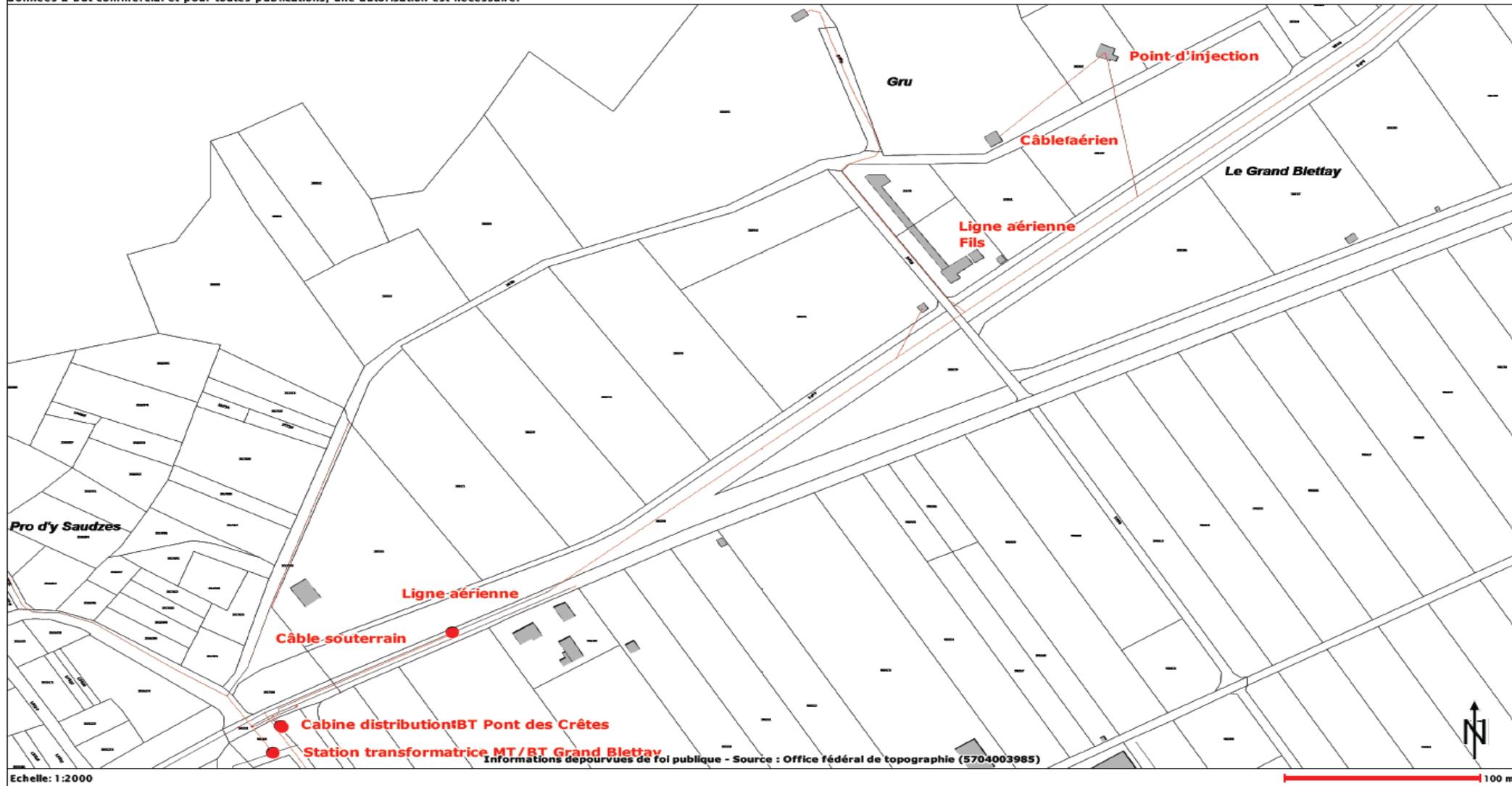
Resumé des Prix :

1.1	Turbine et Générateur	CHF	126'000.00
1.1.2	Chaudronnerie	CHF	20'000.00
1.1.3	Vannes Turbine	CHF	48'700.00
1.2	Contrôle commande	CHF	55'000.00
3	Transport, Montage et mise en service centrale	CHF	50'000.00
4	Fourniture/montage conduite PE DN220 partie sup	CHF	142'000.00
5	Fourniture/montage conduite AC DN250 en bas	CHF	140'000.00
Total excl. VAT		CHF	581'700.00

Pas inclus dans notre offre:

- Démontage, transport et élimination de parties de l'installation existante.
- Approbation et documentation pour l'entreprise d'électricité/ESTI.
- Echafaudage de montage
- Travaux de génie civil
- Joints d'étanchéité.
- Fourniture de sondes pression
- Montage sonde niveau sur la prise d'eau
- Des coûts causés par des temps d'attente, pas causés par nous
- Plaques compteur
- Compteur
- TA pour le compteur
- Bornier de mesure
- Fusible protection compteur

Les données présentées ont seulement un caractère informatif. Les données et leur représentation ne peuvent pas donner droit à des revendications. Pour tous renseignements officiels, merci de contacter les autorités compétentes. Pour l'usage de données à but commercial et pour toutes publications, une autorisation est nécessaire.



Annexe 8 : Extrait de plan de la ligne électrique :



NIVUS AG
 Burgstrasse 28
 CH-8750 Glarus
 Telefon: 055 645 20 66
 Telefax: 055 645 20 14
 E-mail: swiss@nivus.com
 Internet: www.nivus.de
 Bankverbindung:
 Züricher Kantonalbank
 8010 Zürich
 CH28 0070 0113 3000 2527 3
 MwSt-Nummer:
 CHE-108.684.170

NIVUS AG * Burgstrasse 28 * CH-8750 Glarus

Hochschule für Ingenieurwissenschaften
 Herr Sebastian Zajaczkowski
 Route du Rawil 47
 1950 Sion

ANGEBOT

Datum	04.07.2017 Seite 1/2
Beleg/Kd-Nr.	21700089 / 1055
Ihr Zeichen	Herr S. Zajaczkowski
Ihre Anfrage	Email 29.08.2017
Unser Zeichen	Herr Bernd Dittrich / MK
Auslieferung	nach Vereinbarung
Versandart	P O S T

**Durchflussmessungen / Diplomarbeit
 Richtpreis Angebot**

Sehr geehrter Herr Zajaczkowski

Wir danken für Ihre Anfrage und übersenden Ihnen hiermit gerne unser Angebot.
 Wir können Ihnen Preisstabilität für dieses Angebot über die nächsten 2 Monate ab Angebotsdatum garantieren.
 Sollte der Wunsch nach weitergehender technischer Information oder Dokumentation bestehen, stehen wir Ihnen natürlich jederzeit gerne zur Verfügung.
 Bitte beachten Sie, dass in unseren Preisen keine Montage- oder Inbetriebnahmearbeiten enthalten sind, sofern diese nicht gesondert aufgeführt werden.

Pos	Menge	Bezeichnung	Einzelp.	Betrag
		NF6-0T2E0D001		
(1)	2Stk	Durchflussmessumformer Typ NivuFlow für permanent vollgefüllte Rohrleitungen Ausführung: bis zu 2 akustische Pfade, 1 x Luftultraschall OCL, 2 x DE, 2 x DA, 2 x AE, 2 x AA, Aufbau: Hutschiene/Schalttschrankeinbau Spannungsversorgung: 0-36 V DC, stabilisiert Anzahl der Messstellen: 1 Messstelle	5.015,00	10.030,00 CHF
		NIC0K1L010K		
(2)	2Paar	Clamp-on Ultraschallsensoren zum Anschluß an Auswertegeräte der NivuFlow-Serie Typ: K1L, Messbereich: -20m/s bis 20m/s, Kabellänge 10m, Temperaturbereich: -30°C bis 80°C, !! Pro Messung werden 2 Sensoren benötigt !!	2.550,00	5.100,00 CHF
		ZUB0SPSYS08		
(3)	2Stk	Spannsystem 8 mm für 2 Clamp-On Sensoren Länge 10 m, mit 2 Schlössern zur Sensoraufnahme	85,00	170,00 CHF
Übertrag				15.300,00 CHF





ANGEBOT

Datum	04.07.2017 Seite 2/2
Beleg/Kd-Nr.	21700089 / 1055

Pos	Meng	Bezeichnung	Einzelpr.	Betrag
			Übertrag von Seite1	15.300,00 CHF
		inklusive Koppelpaste		
		Montage und Inbetriebnahme		
(4)	1 Psch	Montage und Inbetriebnahme, inkl. Anfahrt	1.400,00	1.400,00 CHF
Summe				16.700,00 CHF
Versandkosten				10,00 CHF
Verp.-Nutzung				80,00 CHF
Zwischen-Sum.				16.790,00 CHF
+ 8,0 % MwSt.				1.343,20 CHF
Gesamtsumme				18.133,20 CHF

Preisstellung EXW ab Werk, unverpackt
 Zahlungsbedingung innerhalb 30 Tagen nach Rechnungsdatum rein netto

Wir möchten Sie freundlichst darauf hinweisen, dass diesem Angebot nur und ausschließlich unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen zugrunde liegen und verbleiben mit freundlichen Grüßen

Ihr NIVUS Team

Ultraflux

9 Allée Rosa Luxemburg - Bât TEXAS
 CS 40213 ERAGNY SUR OISE
 95614 CERGY PONTOISE CEDEX
 FRANCE

Tél. +33.(0)1.30.27.27.30
 Fax +33.(0)1.30.39.84.34

e-mail ultraflux@ultraflux.fr
 WEB www.ultraflux.net

HAUTE ECOLE D'INGENIERIE (HEI)

ROUTE DU RAWYL 47

Offre N° 20170583 du 27/06/2017

CH-1950 SION 2
 Suisse

Votre référence : Votre demande - du 26/06/2017 (e-mail général UFX)

Affaire suivie par : Sébastien HERMETZ

Page 1

Référence	Désignation	Qté	Prix unitaire (EUR)		Montant (EUR)
CO-UF811L1	<p>Convertisseur "poste fixe" type UF811 Monoconduite Monocorde NOTE : ce modèle est fourni sans modules d'entrées/sorties (option) LIAISON SERIE RS232 OR RS485 DE BASE</p> <p>Application :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Convertisseur monoconduite/monocorde • Fluide liquide/conduite en charge • Débit - vitesse - volume - nombre de Reynolds • Compatible sondes externes SE et intrusives SI <p>Caractéristiques générales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gamme de diamètre : 8 mm à 9900 mm • Tension d'alimentation : 10 à 32 VDC • Ecran graphique : 14 lignes x 20 caractères • Visualisation d'écho • Data-logger : 520 000 données • IP 67 • RS232 ou RS485 au protocole MODBUS/JBUS • Dimensions : H : 231 mm - L : 221 mm - P : 59 mm • Fourni avec logiciel de configuration et notice technique • Paramétrage par port USB ou par clavier • Auto-zéro • Autres informations disponibles sur la notice commerciale 	2,00	4 215,00	15,0%	7 165,50
MODULE 1	<p>Sortie courant 4-20mA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 sortie analogique active paramétrable 4-20 mA ou 0-5 V • Impédance maximum : 1 kohms • Résolution : 16 bits • Encombrement : 1 emplacement 	2,00	266,00	15,0%	452,20
MODULE 2	<p>2 Sorties relais / Sortie fréquence</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 sorties par module isolées galvaniquement • Pouvoir de coupure 100V - 10 mA en AC ou DC • Sortie contact sec normalement ouvert • Sortie impulsion - largeur programmable de 1 ms à 1 sec. • Sortie fréquence comprise entre 1 Hz et 1 KHz • Encombrement : 1 emplacement 	2,00	153,00	15,0%	260,10
	Sous-total				7 877,80

Ultraflux

9 Allée Rosa Luxemburg - Bât TEXAS
 CS 40213 EPAGNY SUR OISE
 95614 CERGY PONTOISE CEDEX
 FRANCE

Tél. +33.(0)1.30.27.27.30
 Fax +33.(0)1.30.39.84.34

e-mail ultraflux@ultraflux.fr
 WEB www.ultraflux.net

HAUTE ECOLE D'INGENIERIE (HEI)

ROUTE DU RAWYL 47

Offre N° 20170583 du 27/06/2017

CH-1950 SION 2
 Suisse

Votre référence : Votre demande - du 26/06/2017 (e-mail général UFX)

Affaire suivie par : Sébastien HERMETZ

Page 2

Référence	Désignation	Qté	Prix unitaire (EUR)		Montant (EUR)
SE-1515/HT/10/PE	Sonde externe type SE-1515 pour moyennes conduites Description : <ul style="list-style-type: none"> • Pour toutes applications sur liquides clairs et conduites peu corrodées • Grâce à sa technique de construction à Microstructure qui permet un fort accroissement du signal, • Conduites DN 40 à 1000 mm (plage de diamètres à moduler en fonction de l'état et de la qualité de la conduite et du fluide) • Température maximum : 180°C Minimum : -20°C • Sonde avec presse-étoupe étanche, IP 68 Options : Câble moulé et supports SU-1516 ou SU-1517 ou SU-1520 (selon le diamètre) et/ou sangles	4,00	1 058,00	15,0%	3 597,20
CABLE/TWINAX	Certifiable CE0081 ExII 1G Exia IIB T4, avec barrière Ultrasafe BZ 01 Mètre de câble Twinax, liaison sonde-convertisseur <ul style="list-style-type: none"> • Le prix de cet article est susceptible d'être révisé en fonction des fluctuations du coût de la matière première (Cu). Longueur câble par sonde: 5 mètres - A CONFIRMER AVANT COMMANDE	20,00	6,00	15,0%	102,00
SU-1517	Support inox pour une sonde type SE-1515 <ul style="list-style-type: none"> • Matériau : Acier inox • Pour conduite à partir de DN 100mm (4") • Installation : à souder ou à sangler 	4,00	36,00	15,0%	122,40
KIT-SANGLE/10M	Kit sangle inox de 10 mètres et 8 attaches	1,00	111,00	15,0%	94,35
PA-FR/02	Transport en fonction du poids & de la destination	1,00	65,00		65,00
PA-EMB2	Emballage standard en carton (maxi 30Kg)	1,00	35,00		35,00
CONDITIONS PARTICULIERES DE VENTE : Cette offre est formulée en accord avec les Termes et Conditions Générales de Ventes Nationales (doc réf. CGVN/02) ou Internationales (doc réf. CGVI/A-02) selon le cas, fournies en annexes et plus					

Ultraflux

9 Allée Rosa Luxemburg - Bât TEXAS
 CS 40213 ERAGNY SUR OISE
 95614 CERGY PONTOISE CEDEX
 FRANCE

Tél. +33.(0)1.30.27.27.30
 Fax +33.(0)1.30.39.84.34

e-mail ultraflux@ultraflux.fr
 WEB www.ultraflux.net

HAUTE ECOLE D'INGENIERIE (HEI)

ROUTE DU RAWYL 47

Offre N° 20170583 du 27/06/2017

CH-1950 SION 2
 Suisse

Votre référence : Votre demande - du 26/06/2017 (e-mail général UFX)

Affaire suivie par : Sébastien HERMETZ

Page 3

Référence	Désignation	Qté	Prix unitaire (EUR)	Montant (EUR)
	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Délai de livraison</u>: 6 semaines à partir de notre acceptation de votre ordre. • <u>Validité de l'offre</u>: 3 mois à dater de ce jour • <u>Garantie</u>: 2 ans à dater de la livraison, pièces et main d'œuvre. Elle s'applique à nos matériels retournés en nos ateliers. Pour les pays hors U.E., le retour devra faire l'objet d'une exportation temporaire. Les prestations spécifiques ou les réparations hors garantie feront l'objet d'un devis et engage le client sur un montant minimum. • <u>Documentation</u>: fournie sur CDROM en standard (1 document technique en version papier sur demande). Tout document sera facturé en sus. • <u>Minimum de facturation</u>: 150 € <p>La loi MACRON n° 2015-990 (art. 46 et 205) impose dorénavant des conditions maximum de paiement à 60 jours à compter de la date de facture. La mise en service éventuelle donne lieu à une facturation séparée et ne pourra retarder le paiement de la facture.</p> <p>Dans le cadre du décret n°2005-829 du 20 juillet 2005 relatif aux devoirs de collecte, de traitement et d'élimination des équipements électriques et électroniques en France, la société Ultraflux délègue la responsabilité de reprises financières mais aussi logistiques à l'utilisateur qui gèrera lui-même son déchet.</p>			

Conditions de livraison	Conditions de paiement	Total HT
DAP	Virement à 30 jours nets	*****11893,75 EUR

S.A Capital de 455 172 € Siret 30185496400030 RC Pontaise B301854964 TVA Intra FR64301854964 NAF 2651B

Annexe 10 : Devis estimatif CERT



HES-SO VALAIS-WALLIS

MICROCENTRALE DE BEUDON - FULLY

DEVIS ESTIMATIF - ETP - ETAT AU 11.08.2017

Article	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire Fr.	Somme Fr.
REFECTION CONDUITE ET PRISE D'EAU					
1 Génie civil					
1.1	Installations de chantier	gl	1.00	10'000.00	10'000.00
1.2	Travaux préparatoires				
1.2.1	Barrières de protection et signalisation	m	10.0	15.00	150.00
					150.00
1.3	Défrichage				
1.3.1	Coupe d'arbres (diam. du tronc 0.21 à 0.60 m), mise en dépôt.	p	20.0	200.00	4'000.00
1.3.2	Défrichage d'arbrisseaux, d'arbustes (diam. du tronc < 0.20 m), mise en dépôt.	m ²	300.0	5.00	1'500.00
1.3.3	Remise en état et plantation d'arbres et arbustes	m ²	600.0	15.00	9'000.00
					14'500.00
1.4	Déconstruction				
1.4.1	Démontage de crépines inox DN100 transport et taxes, mise en dépôt	p	2.0	50.00	100.00
1.4.2	Démontage de la pièce en métal de la bifurcation transport et taxes, mise en dépôt	p	1.0	50.00	50.00
1.4.3	Démontage de conduites existantes Øint. 100mm transport et taxes, mise en dépôt	m	300.0	20.00	6'000.00
					6'150.00
1.6	Aménagement de la prise d'eau				
1.6.1	Carottages Ø 250 mm	p	1.0	400.00	400.00
					400.00
	Total génie civil HT				31'200.00
2 Appareillage & équipement hydraulique					
2.1	Fourniture et pose de tuyaux PE100, Ø180 mm, PN 16 lisse, y compris découpe, assemblage, soudure bout à bout et toute manutention	m	330.0	78.00	25'740.00
2.1.1	Plus-value pour pose suspendue	m	90.0	15.00	1'350.00
2.1.2	Plus-value pour transport des tubes par hélicoptère	min	130.0	25.00	3'250.00
2.2	Fourniture et pose de fixations l'ancrage des conduites en acier inox V2A Ø280 mm découpe, assemblage, toute manutention et accessoires	p	30.0	270.00	8'100.00
2.3	Fourniture et pose de garniture d'étanchéité type Curaflex A type Curaflex A, d=250 mm	p	1.0	290.00	290.00
2.4	Fourniture et pose bride pleine en acier inoxydable V2A type vonRoll DN 100 PN 10 pour obturation des conduites existantes	p	2.0	65.00	130.00
2.5	Fourniture et pose de crépine d'aspiration en acier inoxydable V2A à brides type ROMAG droit (type B) DN150, L=230, PN 10	p	1.0	470.00	470.00
2.6	Fourniture et pose de collets à souder en PE100 DN150, Ø ext.=180 mm, PN 16 pour liaisons PE - fonte/acier	p	4.0	78.00	310.00
2.7	Fourniture et pose de brides libres en acier inoxydable V2A DN150, Ø ext.=180 mm, PN16 pour liaisons PE-fonte/acier	p	4.0	120.00	480.00
2.8	Fourniture de garnitures d'assemblage à bride brides en acier inoxydable V2A type vonRoll DN 150, ØD 218 mm, PN 16	p	4.0	65.00	260.00

Article	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire Fr.	Somme Fr.
2.9	Fourniture et pose de manchons PE électrosoudables DN 150, PN 10 pour liaisons PE - appareils sur la prise d'eau	p	3.0	80.00	240.00
2.1	Fourniture et pose de vannes papillon type vonRoll WAFER (fig. 8453), DN 150, PN 16	p	2.0	565.00	1'130.00
2.11	Fourniture et pose collier de prise avec départ fileté extérieur type vonRoll (fig. 5980) DN 150, R 2", PN 16	p	1.0	100.00	100.00
2.12	Fourniture et pose de coude à 45° injecté en PE100, Øext. 75mm, PN 16	p	1.0	35.00	40.00
Total appareillage & équipement hydraulique HT					41'890.00
3 Divers					
3.1	Divers et imprévus	%	20.0		14'600
Article	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire Fr.	Somme Fr.
Récapitulation					
1	Génie civil	gl	1.0		31'200.00
2	Appareillage & équipements (hydrauliques)	gl	1.0		41'890.00
3	Divers et imprévus	%	20.0		14'600.00
Total travaux HT					87'690.00
Honoraires d'ingénieurs					
		gl	1.0	11'000.00	11'000.00*
Total HT avec prestations d'ingénieurs					98'690.00
TVA (8.0 %)					
		%	8.0	8.00	7'900.00
TOTAL TTC					Arrondi 107'000.00
<i>Remarques :</i> * Montant estimé selon coût de l'ouvrage et pouvant être soumis à variations (difficultés particulières du chantier) - Marges sur quantités : génie civil 20%, appareillage 10% - Prix considéré pour la pose de l'appareillage et des équipements : 20% du prix de fourniture - Acheminement au site en utilisant la télécabine existante à l'exception des conduites (transport par hélicoptère, 6 voyages) - Montants hors frais techniques et honoraires de bureaux spécialisés (géotechnicien, bureau environnemental, électricien, etc.) - Estimations en l'état actuel de nos connaissances et à ce stade des études (études préliminaires) - Prix unitaires selon base de données actuelle (variations possibles dans le temps)					

Annexe 11 : Calcul tarif RPC

Variante 1

Berechnungshilfe kostendeckende Einspeisevergütung KEV - Kleinwasserkraft

Aide pour le calcul tarif selon OEn - petites centrales hydrauliques

Tabella di calcolo della Rimunerazione per l'immissione di energia elettrica a copertura dei costi (RIC) - Piccole centrali idroelettriche

(Projektname hier eingeben)

kW Jahresproduktion / production annuelle / Produzione annua	282'000 kWh
Zeitstunden pro Kalenderjahr / heures par ans / Ore annue d'esercizio	8'322 h
Brutto-Fallhöhe / chute brut / Salto lordo	249.00 m
Gesamtinvestition / investition totale / Investimento totale	402'288 CHF
Wasserbaukosten / part de l'aménagement des eaux / Costi opere idrauliche	99'000 CHF
Annahme Marktpreis in 20 Jahren (Standard-Annahme: ca. 8 Rp./kWh inkl. Ökobonus)	8.0 Rp./kWh / cts./kWh
Annahme WACC (gemäss Richtlinie KWKW BFE)	4.75%
Abschreibedauer (gemäss Richtlinie KWKW BFE)	35 Jahre

KEV (bei Inbetriebnahme vor dem 31.12.2013)		
Grundvergütung / rétribution de base / Rimunerazione di base:	23.11 Rp./kWh / cts./kWh	
Druckstufenbonus / Bonus de niveau de pression / Bonus di dislivello	1.33 Rp./kWh / cts./kWh	
TOTAL [Rp./kWh] (während 20 Jahren)	25.21 Rp./kWh / cts./kWh	
Nettoarwert Einspeisevergütung (WACC / 35 Jahre)	999'204 CHF	-2%
Mittlerer Einspeisetarif (diskontiert)	10.12 Rp./kWh / cts./kWh	

Sofem das BFE die Richtlinie Kleinwasserkraft nicht ändert, ist davon auszugehen, dass die berechneten Tarife inkl. MWSt sind.

Erklärungen: / Spiegazioni:

Eingabefelder / Campi dati da registrare

Autom. Berechnungen / Campi valori calcolati automaticamente

Endresultat / Risultato finale



Dieses Tool wurde vom ISKB entwickelt und unentgeltlich zur Verfügung gestellt und dient als Hilfe zur Berechnung des Einspeisetarifs für Kleinwasserkraftwerke (gemäss Energieverordnung vom 01.01.2014). Die Verwendung dieser Berechnungshilfe erfolgt auf Risiko des Benutzers. Bitte melden Sie Fehler / Verbesserungsvorschläge an die Infostelle Kleinwasserkraft (deutsch@smallhydro.ch)
Version vom 10.12.2015 © ISKB

Variante 2

Berechnungshilfe kostendeckende Einspeisevergütung KEV - Kleinwasserkraft

Aide pour le calcul tarif selon OEné - petites centrales hydrauliques

Tabella di calcolo della Rimunerazione per l'immissione di energia elettrica a copertura dei costi (RIC) - Piccole centrali idroelettriche

(Projektname hier eingeben)

Äquivalente Leistung / Puissance equivalent / Potenza equivalente	85.0 kW
Jahresproduktion / production annuelle / Produzione annua	707'000 kWh
Zeitstunden pro Kalenderjahr / heures par ans / Ore annue d'esercizio	8'322 h
Brutto-Fallhöhe / chute brut / Salto lordo	249.00 m
Gesamtinvestition / investition totale / Investimento totale	817'391 CHF
Wasserbaukosten / part de l'aménagement des eaux / Costi opere idrauliche	302'000 CHF
Annahme Marktpreis in 20 Jahren (Standard-Annahme: ca. 8 Rp./kWh inkl. Ökobonus)	8.0 Rp./kWh / cts./kWh
Annahme WACC (gemäss Richtlinie KWKW BFE)	4.75%
Abschreibedauer (gemäss Richtlinie KWKW BFE)	35 Jahre

KEV (bei Inbetriebnahme vor dem 31.12.2013)		
Grundvergütung / rétribution de base / Rimunerazione di base:	19.35 Rp./kWh / cts./kWh	
Druckstufenbonus / Bonus de niveau de pression / Bonus di dislivello	1.33 Rp./kWh / cts./kWh	
Wasserbaubonus / Bonus d'aménagement des eaux / Bonus per le opere idrauliche	2.40 Rp./kWh / cts./kWh	
TOTAL [Rp./kWh] (während 20 Jahren)	23.08 Rp./kWh / cts./kWh	
Nettobarwert Einspeisevergütung (WACC / 35 Jahre)	2'313'707 CHF	-2%
Mittlerer Einspeisetarif (diskontiert)	9.35 Rp./kWh / cts./kWh	

Sofem das BFE die Richtlinie Kleinwasserkraft nicht ändert, ist davon auszugehen, dass die berechneten Tarife inkl. MWSt sind.

Erklärungen: / Spiegazioni:

Eingabefelder / Campi dati da registrare

Autom. Berechnungen / Campi valori calcolati automaticamente

Endresultat / Risultato finale



Programm
Kleinwasserkraftwerke
www.kleinwasserkraft.ch



energieschweiz
Unser Engagement: unsere Zukunft.



Dieses Tool wurde vom ISKB entwickelt und unentgeltlich zur Verfügung gestellt und dient als Hilfe zur Berechnung des Einspeisetarifs für Kleinwasserkraftwerke (gemäss Energieverordnung vom 01.01.2014). Die Verwendung dieser Berechnungshilfe erfolgt auf Risiko des Benutzers. Bitte melden Sie Fehler / Verbesserungsvorschläge an die Infostelle Kleinwasserkraft (deutsch@smallhydro.ch)
Version vom 10.12.2015 © ISKB

Annexe 12 : Cahier de charge demande d'autorisation de turbinage

Turbinage des eaux communales (par commune ou groupe de communes)

Cahier des charges standard -- Projet général

**DESCRIPTIONS
TECHNIQUES**

CONTENU

- 1 INTRODUCTION
- 2 SITUATION
- 3 DONNÉES HYDRAULIQUES
- 4 CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINE
- 5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
- 6 EAU MOTRICE
- 7 CONDUITES
- 8 BÂTIMENT DE SERVICE
- 9 GÉNIE-CIVIL
- 10 DÉTERMINATION DES COÛTS
- 11 CONDITIONS DE REPRISE DE L'ÉNERGIE
- 12 DOCUMENTS COMPLÉMENTAIRES

1 INTRODUCTION

Le présent Cahier des Charges standard complète le dossier: *Étude de potentiel du turbinage des eaux communales. Étude [1]*

Le Cahier des Charges standard pour un Projet Général de turbinage devrait aider à la Commune intéressée d'effectuer les appels d'offre pour pouvoir évaluer et aussi le chiffrer. En plus de cela il sert à rédiger par la Commune ou par un Bureau d'études mandaté une demande d'autorisation de turbinage au Conseil des États ainsi qu'une autorisation de construire auprès du Département de la Santé, des Affaires Sociales et de l'Énergie – DSSE qui – par son service des forces hydrauliques – est l'autorité compétente dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Il est rappelé que les réseaux d'eau suivant sont à considérer et à classer

- ? Turbinage des eaux potables
- ? Turbinage des eaux usées
- ? Turbinage des eaux claires (d'irrigation)

2 SITUATION

Le ou les sites de captage d'eau et de turbinage, retenus comme très respectivement moins rentables dans l'*Étude [1]*, doivent être indiqués dans une carte 1:25'000, avec ses coordonnées, par exemple 559 180 / 119 980 et les altitudes respectives.

Les critères à employer pour une sélection d'une région intéressante peuvent être le nombre de consommateurs, le nombre de réservoirs proche d'agglomération et les dénivellations entre les captages d'eau, les réservoirs, la STEP et les consommateurs.

3 DONNÉES HYDRAULIQUES

- ? Débit maximum l/sec
- ? Débit moyen permanent l/sec
- ? Dénivellation nette m différence d'altitude entre le niveau amont et le niveau aval
- ? Altitude de montage de la machine mètre m.s.m.

Les mesures du débit sont en général très importantes pour l'élaboration subséquente d'un projet, mais plus difficiles à obtenir. Il devrait cependant être possible d'effectuer une estimation, selon la méthode suivante :

On détermine un débit maximal Q_{max} (l/s) pendant les mois d'été et un débit minimum Q_{min} dans les mois d'hiver.

On peut ainsi déterminer un débit moyen par la relation $Q_m = \frac{4 * Q_{max} + 8 * Q_{min}}{12}$

Une mesure plus précise consiste à installer un déversoir, comme c'est décrit dans le fascicule de l'*INFOENERGIE – PCH Suisse romande [2]*.

Le débit maximum détermine la puissance de turbinage en kilowatt kW.

Dans des zones touristiques où la population varie fortement il faut en tenir compte par des relevés particuliers durant les mois de décembre, janvier, février, juillet et août. Le débit restant après un point de consommation (village ou autre) doit également être relevé.

4 CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINE

- ? Constructeur
- ? Turbine type et diamètre
- ? Disposition verticale ou horizontale
- ? Vitesse nominale t/min
- ? Rendement de la turbine %
- ? Générateur asynchrone ...Volt ...kW
- ? Puissance max. au bomes ...kW pour Q = ...l/sec
- ? Rendement du générateur %
- ? Cosinus ϕ aux bomes de sortie de l'armoire électrique
- ? Raccordement en parallèle au réseau électrique
- ? Facteur d'énergie ...kWh / m³
- ? Un parfait équilibrage des masses tournantes permettant de garantir une marche silencieuse

La **roue de turbine** est en général du type Pelton avec deux injecteurs, un fixe et un réglable. Le type Francis est également possible ainsi que la turbine à courant d'eau fluide type Ossberger DE qui est très simple de montage et qui a un bon rendement.

Construction d'un **by-pass** avec "destructeur d'énergie".

Les **armoires électriques** contenant les équipements de commande, de réglage et de protection seront câblées selon prescriptions de l'Inspectorat Fédéral des installations à courant fort. La partie électrique est montée, repérée, câblée et essayée avant montage, selon les prescriptions en vigueur.

Il s'agit des armoires pour

- ? la régulation
- ? les mesures
- ? l'interrupteur basse tension principal avec transformateurs d'intensité
- ? Panneau d'alarmes
- ? Panneau de commande à affichage analogique
 - mise en route automatique ou main
 - mise en parallèle automatique ou main
 - réglage du cosinus ϕ
 - ré-enclenchement automatique
 - commande des injecteurs

- commande d'ouverture du by-pass en cas d'arrêt de la machine
- appareils comme voltmètres, wattmètre, fréquencemètre, cosphimètre, synchronoscope, compte-tours etc.
- arrêt d'urgence
- batterie avec chargeur automatique permettant le fonctionnement de tous les organes en cas de panne de réseau.

Cette liste n'est pas exhaustive

5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Régulation du débit en fonction du niveau de consigne du réservoir de mise en charge.

L'installation est prévue pour un fonctionnement automatique, sans surveillance.

En cas de défaut, le groupe s'arrête par la chute du déflecteur et le déclenchement de l'interrupteur principal.

Si les défauts proviennent d'une cause extérieure – par exemple du réseau électrique ou la manque d'eau -- le groupe redémarre automatiquement dès que ceux-ci sont éliminés.

Dans les autres cas, seule une intervention du personnel d'exploitation permet le redémarrage de l'installation et le couplage au réseau électrique.

L'affichage du défaut reste enclenché jusqu'à ce qu'il soit quittancé.

6 EAU MOTRICE

A l'aide de l'étude [1] des sites intéressantes pour des variantes de turbinage ont été choisis, à savoir

turbinage des eaux potables et/ou
turbinage des eaux usées, avant ou après la STEP et/ou
turbinage des eaux claires

Dans les chapitres 2.2 ... 2.4 de ladite étude ont été choisis les différents sites de turbinage classés d'après le prix de revient du kWh énergie électrique produite.

Il est essentiel pour une suite du projet à savoir si ces eaux sont déjà captées ou non.

Il est à prévoir éventuellement une chambre de rassemblement des sources.

Pour le turbinage des eaux potables, il est important de spécifier que la roue de turbine doit être conçue de façon à éviter toute possibilité de détérioration de la qualité de l'eau potable. La roue et le bâti entrant en contact avec l'eau de boisson doit correspondre aux exigences prévues pour les matériaux utilisés pour les denrées alimentaires, à savoir de l'acier inox avec au moins 2% de Molybdène afin d'éviter les problèmes de corrosion. La qualité de l'eau potable, turbinée, doit toujours satisfaire aux exigences chimiques et microbiologiques de l'ODAI (Ordonnance sur les denrées alimentaires).

Les enroulements du générateur sont graissés à vie, il a double étanchéité et labyrinthe entre le générateur et le bâti.

7 CONDUITES

La conduite de transport du réservoir de mise sous pression et le site de turbinage doit être conçue et dimensionnée en fonction du turbinage et de la charge statique. D'un diamètre nominal d'environ 200 mm elle est normalement constituée de polyéthylène dur ou de fonte ductile.

Un appareillage adéquat est à prévoir dans les différents réservoirs et chambres.

Pour la détermination des pertes de charge dans les conduites la rugosité peut être admise à 0,05 mm. Elle correspond à une conduite en fonte après plusieurs années d'exploitation.

Lorsqu'une nouvelle conduite doit être posée, un dimensionnement préliminaire peut être calculé avec une perte de charge de 10% de la dénivellation au grand maximum.

8 BÂTIMENT DE SERVICE

La machine sera installée dans un petit local ou maisonnette de service, en maçonnerie ou bien du préfabriqué, style poste de transformation électrique. Il aura une salle de machine avec prise d'eau et un canal d'évacuation, une pièce pour les armoires électriques, une sanitaire et un local-remise.

Malgré une marche silencieuse imposée de la machine, le local ou maisonnette sera doublé avec une isolation de laine de pierre, un revêtement intérieur et une porte d'entrée du type "phonique".

9 GÉNIE CIVIL

Il s'agit principalement de la pose des conduites et de la confection des réservoirs de mise en charge ou les chambres de récupération des sources.

Quant aux prix de la pose des conduites, ils dépendent fortement des conditions locales

Pour un terrain facile (meuble, relativement plat et d'accès aisé) le coût de l'ensemble fourniture & pose peut être estimé sommairement deux fois le prix d'achat de la conduite.

Pour des terrains difficiles (forte pente, roches et accès malaisé) une première estimation peut s'élever à trois fois le prix de la conduite.

10 DÉTERMINATION DES COÛTS

10.1 Coût de construction

Dans l'étude [1] les sites intéressants et économiques de turbinage d'eau ont été pré-évalués. L'ensemble des coûts du site sélectionné doivent maintenant être consolidés, à savoir

? Aménagement du local / maisonnette	Fournitures & travaux
? Conduites, réservoirs, chambres	Fourniture & pose
? Groupe turbo-générateur	Fourniture & installation & mise en service
? Armoires électriques	Fourniture & montage & mise en service
? Télécommande	Fourniture & montage & mise en service
? Raccordement au réseau électrique	Fournitures & travaux
? Frais administratifs et technique	
? Réserve pour imprévus	

10.2 Exploitation & entretien

Ce chiffre représente l'ensemble des frais *annuels* liés à l'installation tels qu'assurances et entretien. Les frais d'entretien comprennent notamment les heures de l'employé chargé de la maintenance, les consommables ainsi que les pièces de rechange / d'usure.

10.3 Coût annuel

- A Investissement et frais financiers**
 Durée d'amortissement : Génie civil 25 ans
 Électro-mécanique 15 ans
 Taux d'intérêt 4%
- B Exploitation et entretien**
- C Taxes, administration**
- D Le prix de revient de l'énergie produite sera déterminé sur la base du total des coûts annuels A+B+C divisé par la production prévisible de ...kWh / an.**

11 CONDITIONS DE REPRISE DE L'ÉNERGIE

L'énergie produite sera reprise par le Service industriel ou la Société de distribution d'électricité alimentant la commune en énergie électrique. Une convention qui règle clairement tous les points, à savoir les données qualificatives du produit, les conditions de vente, le point de mesure et de la remise de l'énergie, la propriété, la responsabilité de maintenance et d'autres conditions est à rédiger à commun accord entre la Commune et le Service industriel ou la Société de distribution d'électricité local.
 Un prix de vente de 15 cts / kWh est recommandé.

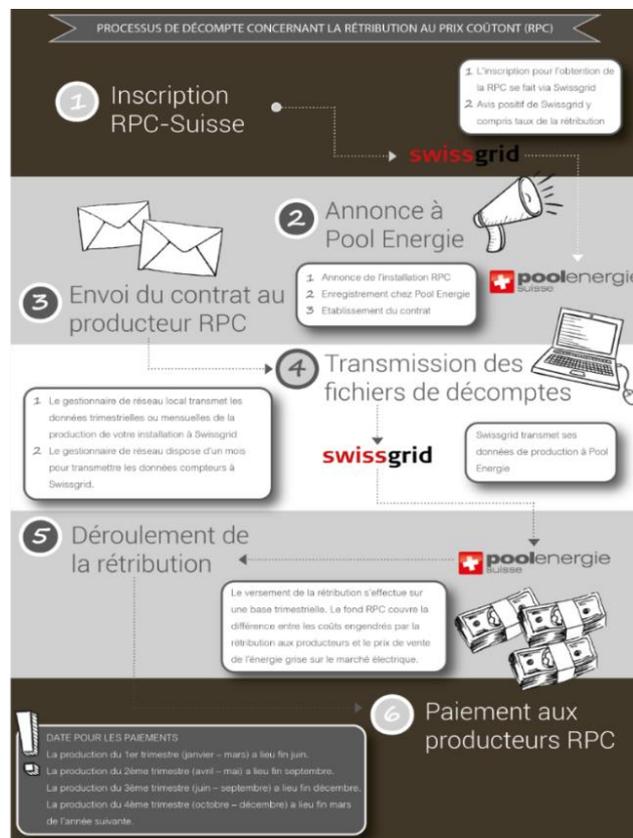
Annexe 13 : Etapes pour bénéficier de la RPC

Si vous avez reçu un avis positif (avis RPC positif) et que vous avez remis l'annonce de mise en service de l'installation, la rétribution de l'énergie injectée dans le réseau se fait par le biais du groupe-bilan pour les énergies renouvelables (GB-ER). Pool Energie Suisse SA fait parvenir un contrat qui règle la rétribution de l'énergie injectée. Ce contrat doit être complété avec lieu, date et signature et renvoyé à Pool Energie Suisse SA. Le décompte de la RPC est trimestriel. Si vous transmettez à temps à Swissgrid l'intégralité des documents et des données de production, la rétribution vous est payée à chaque fois à la fin du trimestre suivant le trimestre de production. La rétribution est versée comme suit aux exploitants d'installation :

Production	Saisie de la quantité d'énergie par le gestionnaire de réseau	Rétribution de l'exploitant d'installation
1er trimestre	jusqu'à fin avril au plus tard	fin juin
2e trimestre	jusqu'à fin juillet au plus tard	fin septembre
3e trimestre	jusqu'à fin octobre au plus tard	fin décembre
4e trimestre	jusqu'à fin janvier au plus tard	fin mars

Pour mieux comprendre tous les acteurs en jeu et les étapes nécessaires pour bénéficier de la RPC voici la démarche à suivre :

1. L'annonce du projet se fait chez Swissgrid
2. Swissgrid informe PoolEnergie de la mise en service et de l'admission définitive des installations RPC. Le responsable du groupe-bilan pour les énergies renouvelables (RGB-ER, soit PoolEnergie en l'occurrence) adresse au producteur le contrat garantissant l'obligation d'achat du courant pendant 20/25 ans, sous le régime de la RPC.
3. Le gestionnaire local du réseau de distribution (GRD) procède au relevé des quantités produites de manière trimestrielle ou mensuelle. Il introduit dans la base de données des garanties d'origine de Swissgrid ces quantités.
4. Les informations concernant les quantités produites introduites dans la base de données (garanties d'origine), le tarif RPC et la période de rétributions sont transmises par Swissgrid pour décompte au RGB-ER (PoolEnergie) et constituent la base de la rétribution versée trimestriellement à tous les producteurs.
5. Le processus du versement des rétributions dure environ trois mois, après la fin du trimestre de production. L'argent versé aux producteurs provient d'une part du fonds RPC et d'autre part de la revente directement sur le marché de l'énergie produite.
6. Ainsi, le décompte trimestriel intervient au plus tard trois mois (sous réserve que toutes les informations aient été transmises à temps) après la fin du trimestre de production.



Annexe 14 : Renforcement réseau

Par « ligne de desserte », on entend la ligne qui va de l'installation de production au point de raccordement avec le réseau de distribution. Tandis que les coûts de renforcement du réseau après le point d'injection sont supportés par l'exploitant du réseau. Cela peut ensuite présenter une demande de remboursement des frais de l'ElCom. Voici en exemple sorti de la « directive 2/2015 » (renforcements de réseau) de l'ElCom, qui expliquera mieux la différence entre ligne de desserte et le renforcement de réseau.

Dans cet exemple, la nouvelle IPE (installation de production d'énergie) nécessite un renforcement et une extension de la ligne BT jusqu'à la station de transformation, où un nouveau transformateur doit être installé. La nouvelle ligne de desserte à mettre en place entre l'IPE et le point d'injection est à la charge du producteur. Le renforcement et l'extension de la ligne BT à partir du point d'injection, de même que le nouveau transformateur, sont considérés comme des renforcements de réseau nécessaires au sens de l'article 22, alinéa 3, OApEl(Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité), donc à la charge de l'exploitant du réseau.

