



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

PETITE CENTRALE HYDRO-ÉLECTRIQUE DE LOYE SUR LE RÉSEAU D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE DE GRONE

ETUDE DE FAISABILITÉ

Rapport final

Auteur

MHyLab

En Platé, 1354 Montcherand, info@mhyllab.com, www.mhyllab.com



Programme petites
centrales hydrauliques
www.petitehydraulique.ch

Date: 07.11.07

Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Adresse postale: CH-3003 Berne

Tél. +41 31 322 56 11, fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

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

Numéro de projet: 101269

Le ou la mandataire de l'étude est seul(e) responsable de son contenu.



Table des matières

Résumé	4
Introduction	5
Description générale du projet.....	5
Données de base	6
Dénivellation exploitable	7
Hydrologie.....	7
Synthèse des informations sur le réseau d'eau potable	7
Courbe des débits classés, débits turbinables et débit d'équipement	9
Conduite forcée et perte de charge.....	10
Conduite existante entre la chambre de Bisse Neuf et le réservoir de Loye.....	10
Nouvelle conduite	11
Principales dimensions de la turbine	12
Production électrique annuelle	15
Calculs économiques	18
Investissement	18
Frais d'exploitation	19
Calculs économiques.....	19
Calculs économiques en considérant un coefficient d'annuité pondéré	19
Calculs économiques en considérant une durée d'amortissement de 25 ans	20
Description technique de la variante B1	21
Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	21
Turbine	21
Vannes	21
By-pass	21
Alternateur	22
Raccordement électrique	22
Sécurité.....	22
Contrôle commande.....	22
Local de turbinage	23
Conclusions	23
Programme de travail	24
Annexes.....	24



Résumé

Une analyse sommaire des potentiels des réseaux d'eau du village de Grône, établie en 2004, ayant montré la rentabilité du turbinage de l'eau potable, cette étude, qui fait suite à l'étude du turbinage au niveau du réservoir de Vaye-Planaz, approfondit le projet de turbinage entre la chambre de Bisse Neuf et le réservoir de Loye. Ce dernier répond aux besoins en eau potable du hameau de Loye, et, en alimentant le réservoir de Vaye-Planaz, ceux du village de Grône, tandis que le trop-plein est envoyé sur le réseau de distribution de la commune de Sierre.

Ainsi, la solution retenue, d'une puissance électrique de 48 kW, correspondant à une turbine Pelton à 1 injecteur, assure une production de 283'000 kWh/an, dont 88'000 kWh en hiver, pour un prix de revient de 21.9 cts/kWh. Elle nécessite le remplacement de la conduite actuelle de 550 m de longueur.



Introduction

Dans le cadre du programme petites centrales hydrauliques de Suisse Energie, MHyLab a été mandaté par la commune de Grône, représentée par M. Jean-Bernard Zufferey, pour effectuer une étude de faisabilité détaillée du turbinage de l'eau potable au niveau du réservoir de Loye.

Cette étude complète celle, sommaire, effectuée en juin 2004, qui a démontré la pré faisabilité technique et économique du projet¹.

De plus, elle suit l'étude de faisabilité détaillée, réalisée en février 2007, pour le turbinage de l'eau potable au niveau du réservoir de Vaye-Planaz², situé en aval de celui de Loye sur le réseau d'eau potable du village de Grône.

Ce type d'étude a pour objectif, d'une part, d'évaluer la faisabilité technico-économique du projet et, d'autre part, d'en préciser l'optimum.

Description générale du projet

Le réseau d'eau potable du village de Grône comprend plusieurs réseaux, dont les potentiels globaux ont été évalués dans l'étude de 2004.

Compte tenu des conclusions de cette première analyse et suite à l'étude du turbinage au niveau du réservoir de Vaye-Planaz, c'est le turbinage entre la chambre de répartition de Bisse-Neuf et le réservoir de Loye qui est étudié ici.

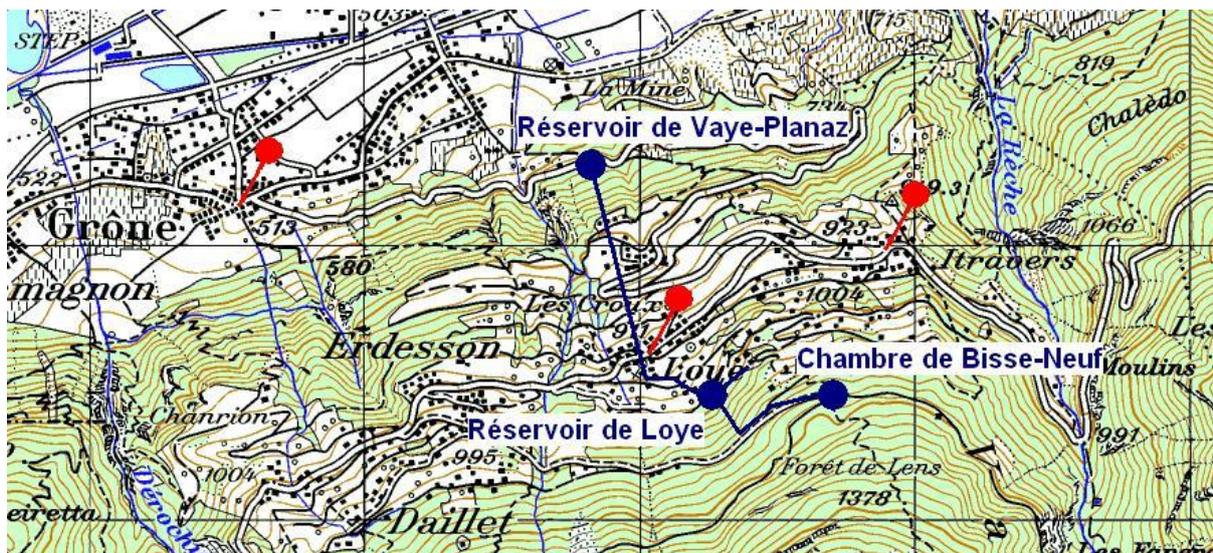


Figure 1. Plan de situation d'une partie du réseau d'eau potable de la commune de Grône

Le bassin de mise en charge des sources de la Lé, situé à 1235 m d'altitude, alimente le village d'Itravers et la chambre de répartition de Bisse-Neuf, située à 1'164 m.

Les débits issus de cette chambre constituent le principal apport pour le réservoir de Loye, situé à 1'000 m (cf. Figure 2), qui alimente ensuite le village de Loye et le réservoir de Vaye-Planaz, lui-même composé de deux cuves:

- l'une reliée au réseau de distribution pour le village de Grône,

—

¹ Etude sommaire du potentiel énergétique des réseaux d'adduction et d'assainissement de la commune de Grône, MHyLab, avec le soutien du Programme Energie dans les Infrastructures et du Service des Forces hydrauliques du canton du Valais, juin 2004.

² Petite centrale hydro-électrique de Vaye-Planaz sur le réseau d'eau potable de la commune de Grône, Etude de faisabilité, MHyLab, avec le soutien de Suisse Energie, février 2007.



- l'autre alimentée par le trop-plein de la première et reliée au réseau de distribution de la commune de Sierre.

Ainsi, il n'y a pas de trop-plein, puisque toute l'eau captée non utilisée par les villages d'Itravers, Loye et Grône est vendue à la commune de Sierre.

L'objectif ici est de **turbiner tout le débit entrant dans le réservoir de Loye issu de la chambre de répartition de Bisse-Neuf.**

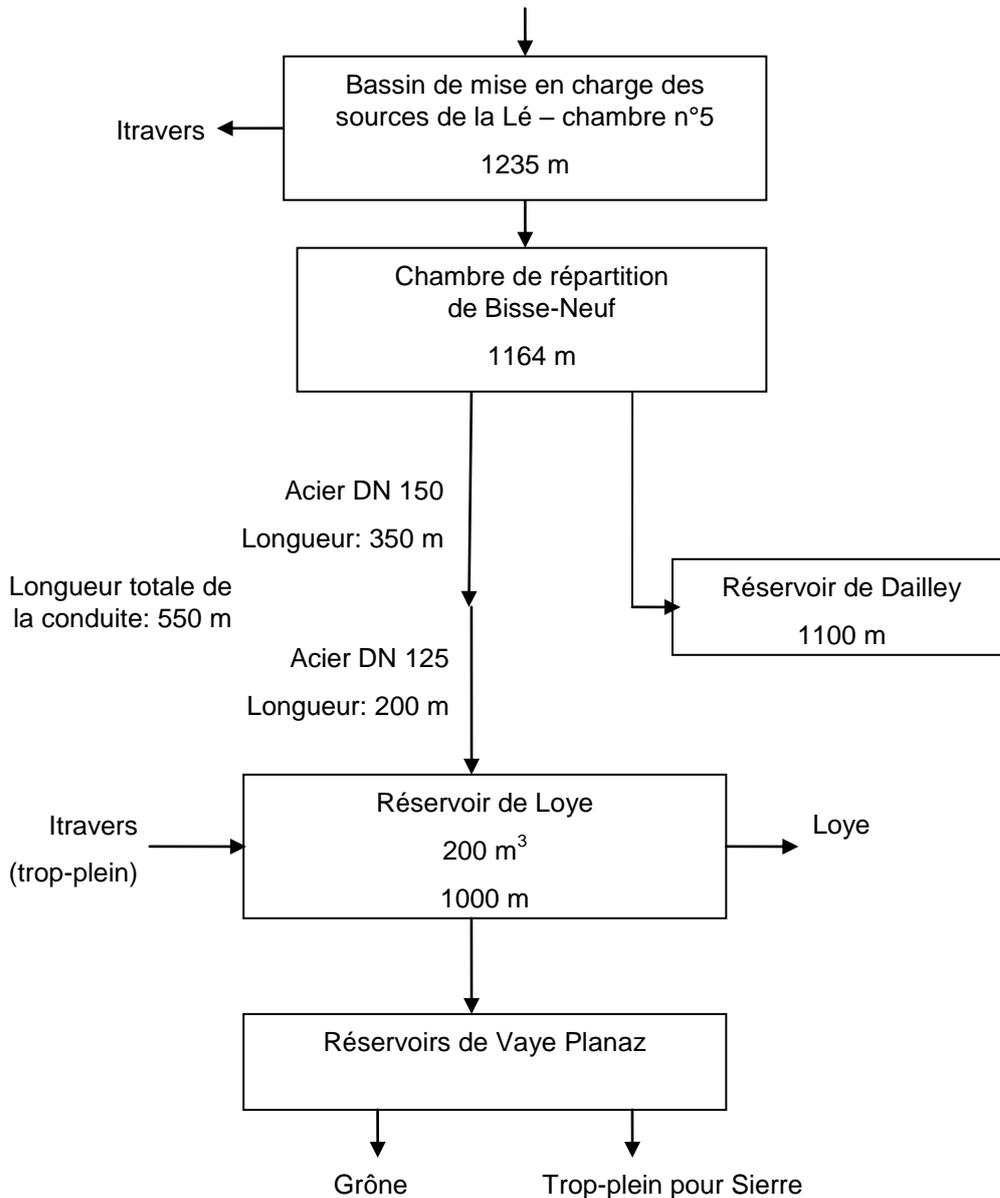


Figure 2. Réseau d'adduction d'eau potable du village de Grône

Données de base

Les constantes de base suivantes sont considérées :

Accélération de la pesanteur	g	m/s ²	9.804
Température moyenne de l'eau	T _{eau}	°C	10
Masse volumique de l'eau à 10°C	ρ	kg/m ³	1000.2



DÉNIVELLATION EXPLOITABLE

Les altitudes sont les suivantes:

- altitude de la chambre de répartition de Bisse-Neuf : 1'164 m,
- altitude de la dalle du futur local de turbinage, situé au dessus du réservoir de Loye: 1'000 m.

La dénivellation est donc de 164 m.

HYDROLOGIE

Synthèse des informations sur le réseau d'eau potable

Les informations disponibles à ce jour pour ces entrées et sorties sont les suivantes:

- sources de la Lé: débits relevés ponctuellement une fois par mois pour les années 1987, 2005, 2006 et 2007.
- Itravers: aucune mesure de débits disponibles, population desservie: 80 personnes environ, trop-plein non connu, mais faible par rapport aux sources de la Lé.
- Réservoir de Dailley: aucune mesure de débits disponibles. Pour les mois d'avril, mai, juin et juillet, les débits sortants à ce niveau sont considérés comme négligeables par rapport aux débits des sources de la Lé, le secteur disposant d'un autre approvisionnement. Pour les autres mois, le réservoir dessert 110 habitants environ pour le village de Dailley.
- Loye: aucune mesure de débits disponibles, population desservie: 160 personnes environ.
- Grône et Sierre: les volumes d'eau distribués à ces 2 communes sont relevés mensuellement et séparément depuis 1998, Sierre consommant tout le trop-plein, population de Grône desservie : 1700 personnes environ.

Il est à noter que les mesures des volumes d'eau potable alimentant les communes de Grône et de Sierre, étant réalisées directement à la sortie du réservoir de Vaye-Planaz, correspondent à l'entier de l'eau entrant dans ce réservoir, et ne sont pas influencées par les éventuelles pertes du réseau de distribution des communes.

Les débits consommés par le village de Grône étant connus, ceux consommés par les communes d'Itravers, de Loye et de Dailley sont interpolés à partir de leur population. Ainsi, face à la consommation moyenne du village de Grône pour les années 1998 à 2006 de 8.7 l/s, la consommation moyenne annuelle estimée des communes est la suivante:

- Loye: 0.8 l/s,
- Dailley: 0.5 l/s (période d'août à mars),
- Itravers: 0.4 l/s.

Dans le but de valider la cohérence des données de débits entre elles, et suivant les années de relevés, une comparaison interannuelle des débits entrant dans le réservoir de Vaye-Planaz est réalisée ci-après, ainsi qu'un bilan des entrées-sorties pour les années 2005, 2006 et 2007.

Comparaison interannuelle des débits entrant dans le réservoir de Vaye-Planaz

La Figure 3 présente les volumes entrant dans le réservoir de Vaye-Planaz, ce qui correspond aux débits consommés par le village de Grône et la commune de Sierre. Il apparaît que les années 1998, 2005 et 2006 sont des années particulières, dues notamment aux fuites sur le réseau d'adduction (voir le paragraphe suivant: Bilan des entrées-sorties pour les années 2005 et 2006).

Les 6 premiers mois de l'année 2007 étant dans la tendance des autres années, et des interventions sur le réseau ayant été réalisées à fin 2006, et selon les recommandations du mandat, il est choisi ici de ne pas prendre en compte ces années 1998, 2005 et 2006 dans l'établissement de la courbe des débits classés.



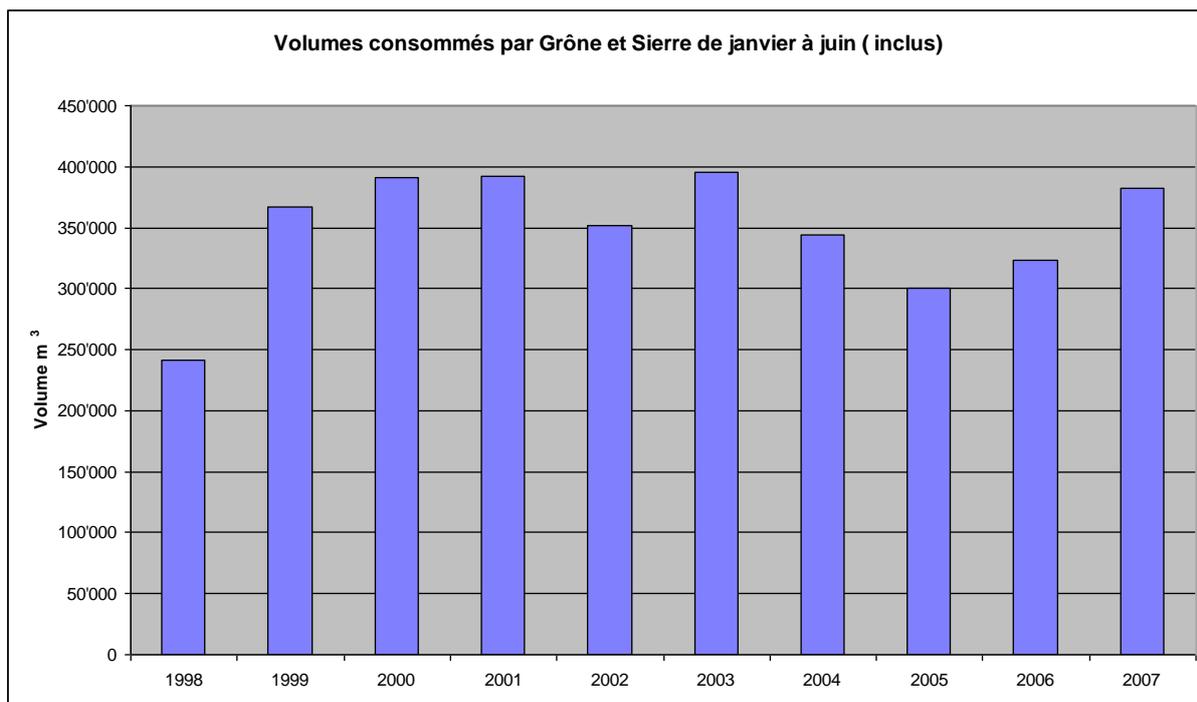


Figure 3. Volume entrant dans le réservoir de Vaye-Planaz ou débits consommés par le village de Grône et la commune de Sierre sur les 6 premiers mois depuis 1998

Bilan des entrées-sorties pour les années 2005 et 2006

La figure suivante représente les débits mensuels moyens entrants et sortants interpolés à partir des informations précédentes et moyennés sur les années 2005 et 2006.

Il est à noter que les sources captées présentent une saison de hautes eaux en été, due à la fonte des neiges, et une saison de basses eaux en hiver.

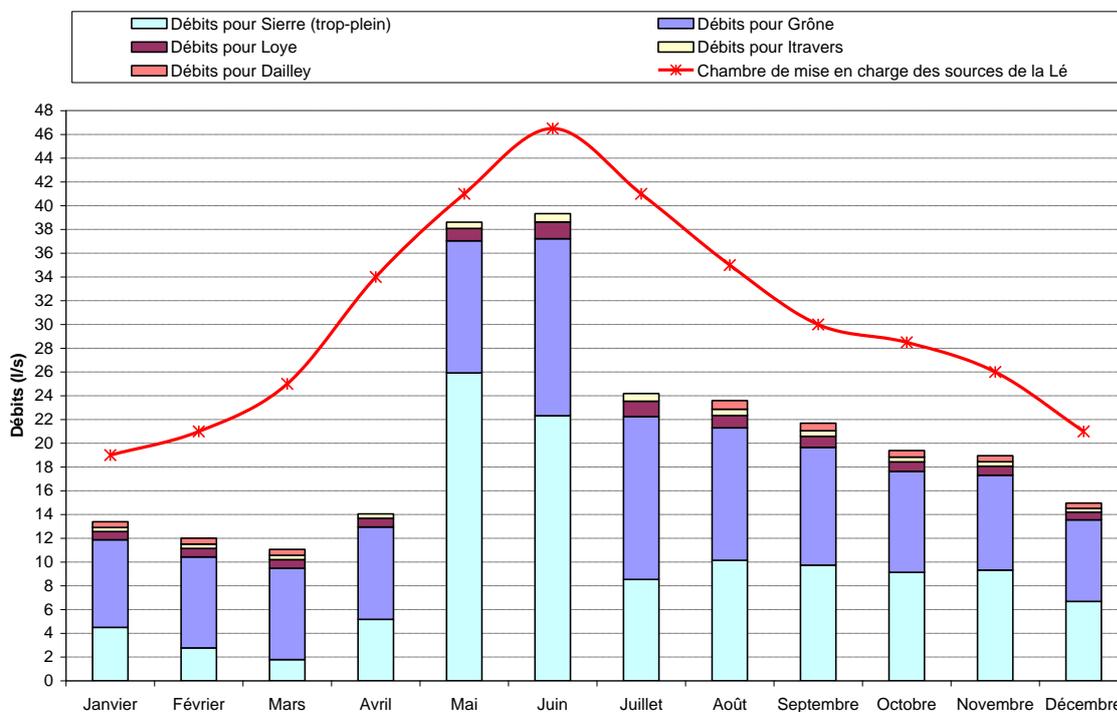


Figure 4. Débits mensuels moyens entrant et sortant pour les années 2005 et 2006

Ainsi, il apparaît une **différence moyenne de 10 l/s** pour les années 2005-2006 entre les entrées et



les sorties du réseau d'eau potable.

Après discussion et analyse avec le mandant, cette différence se révèle être due:

- à une mesure des débits entrants dans la chambre de mise en charge peu précise, l'erreur étant estimée de l'ordre des 8 l/s,
- à des fuites sur le réseau entre la chambre de mise en charge et les réservoirs de Vaye-Planaz, observées durant les travaux entrepris en automne 2006.

Bilan des entrées – sorties sur les 6 premiers mois de 2007

La Figure 5 présente le bilan des entrées et sorties pour l'année 2007. La différence relevée est en moyenne de 4 l/s, ce qui s'explique principalement par l'erreur sur la mesure du débit des sources. Ainsi, il s'avère qu'aujourd'hui, les données des débits disponibles sont cohérentes entre elles.

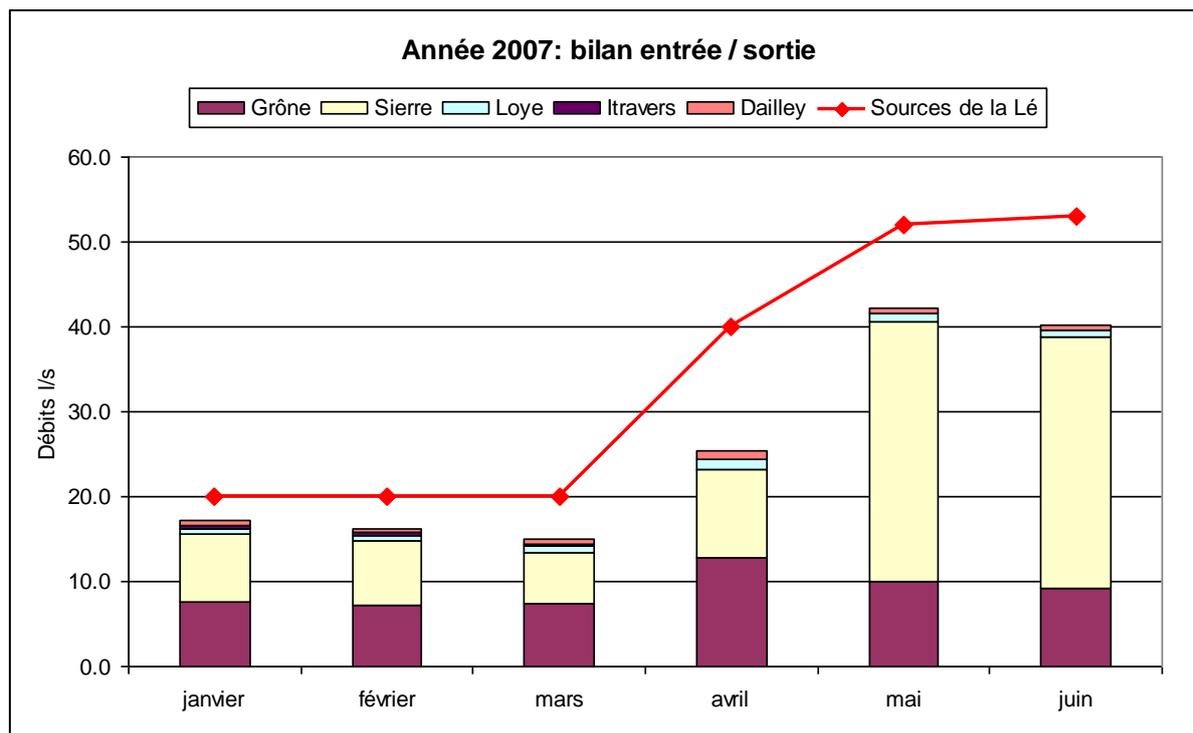


Figure 5. Débits mensuels entrant et sortant pour les 6 premiers mois de 2007

Courbe des débits classés, débits turbinables et débit d'équipement

Compte tenu des différents bilans des entrées et sorties présentés dans le chapitre précédent, la courbe des débits classés pour le turbinage au niveau du réservoir de Loye se basera sur:

- les débits moyens mensuels des débits sortant du réservoir de Vaye-Planaz des années 1999 à 2004,
- les débits moyens mensuels correspondant à la consommation du hameau de Loye, en utilisant un facteur de corrélation avec les débits consommés par Grône de 0.094 correspondant au ratio de leur population respective.

Les caractéristiques des volumes d'eau issus de la chambre de Bisse Neuf et entrant dans le réservoir de Loye sont les suivantes:

- Débit mensuel moyen minimal: 13 l/s (en décembre 2004),
- Débit mensuel moyen maximal: 45 l/s (en mai 2000),
- Débit moyen sur les années 1999 à 2004, et 2007: 25 l/s.



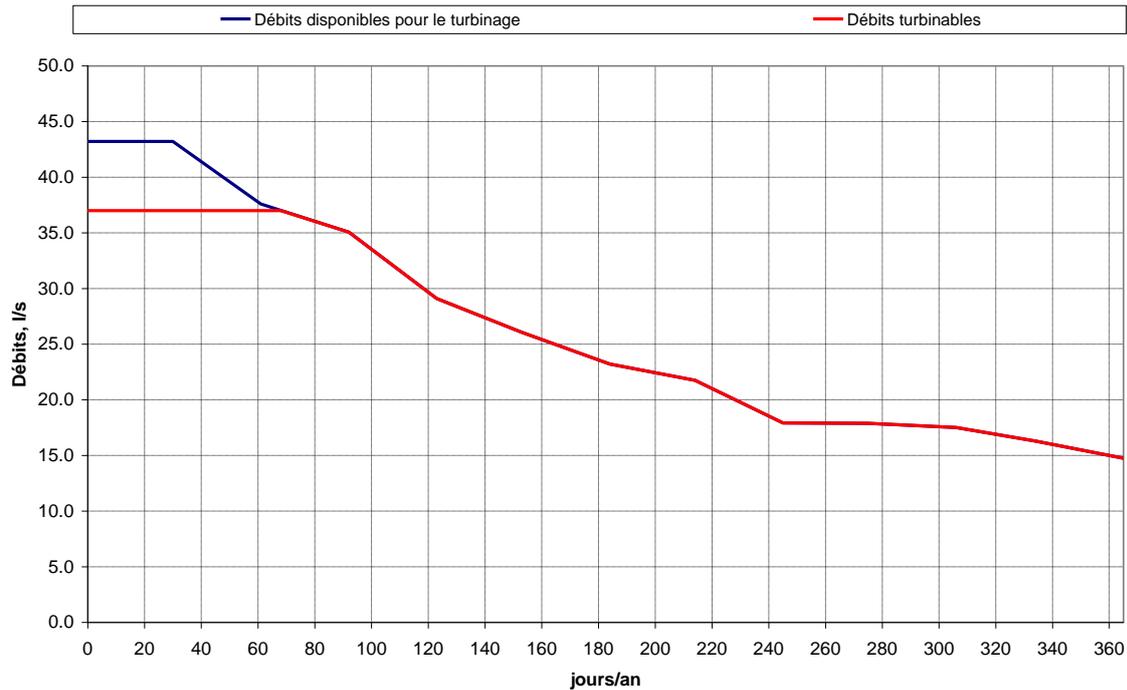


Figure 6. Courbes des débits classés issus de la chambre de Bisse-Neuf et entrant dans le réservoir de Loye et des débits turbinables

Au vu de la courbe des débits classés entrant dans le réservoir de Loye, **le débit maximal d'équipement de l'installation est de 37 l/s**, atteint ou dépassé plus de 60 jours/an.

Toutefois, il est à noter que cette courbe, se basant sur des débits mensuels moyens, peut présenter une erreur importante par rapport aux débits journaliers moyens effectivement disponibles, l'écart type n'étant pas connu.

Conduite forcée et perte de charge

CONDUITE EXISTANTE ENTRE LA CHAMBRE DE BISSE NEUF ET LE RÉSEVOIR DE LOYE

De la chambre de Bisse Neuf part une conduite, d'une longueur totale de 550 m, composée de deux tronçons comme présenté à la Figure 2 et dans le Tableau 1.

Le calcul de la perte de charge dans cette conduite, basé sur la formule de Colebrook, utilise l'équation suivante:

$$H_r = K_{Hr} \cdot Q_t^2 \quad (1)$$

avec: H_r = perte de charge [m]

K_{Hr} = coefficient global de perte de charge, fonction du diamètre interne de la conduite, de sa longueur et de sa rugosité [s²/m⁵]

Q_t = débit transitant [m³/s]

Les calculs sont réalisés avec une rugosité de 0.8 mm pour chaque tronçon, comme recommandé par le fournisseur, ce qui correspond à une conduite ancienne en mauvais état.

La perte de charge est calculée au débit maximal transitant dans la conduite, l'entier de l'eau non consommée par le village de Grône étant vendu à Sierre, le surplus by-passant la turbine. Vu les données disponibles, elle sera donc calculée pour un débit maximal de 46 l/s (le débit moyen mensuel maximal consommé par le village de Grône et la commune de Sierre étant de 44 l/s, atteint en mai 2000).



Les données, hypothèses et résultats sont résumés dans le tableau suivant.

Tronçon de conduite		1	2	Total
Matière		acier		
Rugosité	mm	0.8		
Longueur	m	350	200	550
Diamètre interne	mm	150	125	
Coefficient de perte de charge, k_{Hr}	s^2/m^5	11'925	17'875	29'800
Débit maximal transitant, Q_{max}	l/s	46		
Perte de charge à Q_{max}	m	25	38	63
Dénivellation	m			164
Rendement à Q_{max}	%			62
Rendement minimum recherché	%			90
Perte de charge maximale recherchée	m			16
Débit maximal transitant pour le rendement minimum recherché	l/s			23

Tableau 1. Perte de charge dans la conduite existante entre la chambre de Bisse Neuf et le réservoir de Loye

Ainsi, il s'avère que la conduite en place, vu les hypothèses posées, est impropre au turbinage, avec un rendement de 62 % au débit maximal transitant de 46 l/s, pour des raisons techniques. En effet, la plage de variation de la chute nette en fonction des débits turbinés engendrée par cette conduite amènerait la turbine à fonctionner dans des zones trop éloignées de son point de dimensionnement.

Pour cette conduite, le débit maximal transitant correspondant à un rendement du même ordre de grandeur que celui exigé pour chacun des équipements de l'installation hydro-électrique (turbine et alternateur), soit 90 %, est de 23 l/s, atteint ou dépassé plus de 180 jours par an.

Ainsi, il est nécessaire de remplacer tout ou partie de la conduite existante.

NOUVELLE CONDUITE

Le Tableau 2 présente deux variantes de renouvellement de conduite.

La variante A considère l'utilisation du premier tronçon existant en DN 150, tandis que le tronçon 2 en DN 125 est remplacé par une conduite en DN 200. Cette nouvelle configuration correspond à un rendement de conduite de 83 % pour le débit maximal transitant de 46 l/s et de 90 % pour le débit transitant de 36 l/s, atteint ou dépassé plus de 60 jours par an.

La variante B considère le remplacement complet de la conduite existante par une conduite en DN 200, ce qui assurerait un rendement de 97 % au débit maximal transitant de 46 l/s, ce qui est idéal pour le turbinage.



Variantes		Variante A			Variante B
		1: existante	2: nouvelle	Total	1+2 nouvelle
Tronçon de conduite		1: existante	2: nouvelle	Total	1+2 nouvelle
Matière		acier	acier		acier
Rugosité	mm	0.8	0.1		0.1
Longueur	m	350	200	550	550
Diamètre interne	mm	150	200		200
Coefficient de perte de charge, kHr	s ² /m ⁵	11'925	975	12'900	2'650
Débit maximal transitant, Q _{max}	l/s	46	46	46	46
Perte de charge à Q _{max}	m	25	2	27	6
Dénivellation	m			164	164
Rendement à Q _{max}	%			83	97
Rendement minimum recherché	%			90	90
Perte de charge maximale recherchée	m			16	16
Débit maximal transitant pour le rendement minimum recherché	l/s			36	79

Tableau 2. Deux variantes de renouvellement de la conduite actuelle entre la chambre de Bisse Neuf et le réservoir de Loye

Principales dimensions de la turbine

La dénivellation disponible impose d'installer une **turbine de type Pelton**. En fonction de la courbe des débits classés, deux variantes de turbine seront étudiées ici: à 1 ou 2 injecteur(s), dont les principales caractéristiques sont données dans le Tableau 3.

Il est à noter que la turbine est dimensionnée pour le débit d'équipement de 37 l/s et pour la chute nette maximale correspondant à un débit transitant dans la conduite de 37 l/s.

Les indications du Tableau 3 sont fournies à titre indicatif et peuvent varier en fonction du constructeur choisi. En effet, les performances de la turbine (garanties de rendement, fiabilité, etc.) correspondent à une machine pour laquelle le constructeur peut prouver indiscutablement la provenance de ses garanties. Ainsi, les caractéristiques annoncées sont réalistes, pour autant que la turbine soit construite conformément à un profil hydraulique issu de développements en laboratoire.



Variantes		A1	A2	B1	B2
Dénivellation	m	164	164	164	164
Débit d'équipement, Q_N	l/s	37	37	37	37
Chute nette maximale à Q_N	m	146	146	160	160
Energie massique à Q_N	J/kg	1'435	1'435	1'572	1'572
Type de turbine		Pelton à axe vertical			
Nombre d'injecteurs	(-)	1	2	1	2
Vitesse de rotation	t/min	1500	1500	1500	1500
Diamètre externe de roue	mm	430	397	440	408
Diamètre du bâti	mm	1040	960	1060	980
Largeur d'auget, B_2	mm	100	67	97	64
Diamètre d'injection, D_1	mm	323	323	339	339
Nombre d'augets	(-)	20	23	21	23
Puissance hydraulique brute	kW	60	60	60	60
Puissance hydraulique nette	kW	53	53	58	58
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	47	47	52	52

Tableau 3. Principales caractéristiques de la petite turbine Pelton avec un ou deux injecteurs pour les deux variantes de conduites

Il s'avère que pour un même nombre d'injecteurs, les dimensions des turbines des variantes A et B sont relativement similaires, ce qui correspondra à des coûts similaires.

De plus, les variantes à 2 injecteurs correspondent à des augets plus petits mais en plus grand nombre, pour des diamètres de roue et de bâti similaires. Ainsi, la différence de coûts entre une variante à 1 ou 2 injecteurs correspondra essentiellement au coût de l'injecteur supplémentaire proprement dit. Elle sera donc faible.

Le débit minimal turbinable équivaut à 10% du débit maximal par injecteur: soit 3.70 l/s pour les variantes à 1 injecteur, ou 1.85 l/s pour les variantes à 2 injecteurs.

La Figure 7 illustre les courbes de rendement mécanique à l'accouplement pour les 4 variantes.

Il s'avère que les variantes B ont de meilleurs rendements turbine que les variantes A. En effet, les variantes B correspondent à des coefficients de perte de charge plus faible, ce qui se traduit, sur les collines de rendement, par un éloignement moins rapide du point de fonctionnement par rapport au sommet.

Lorsque le débit transitant est supérieur au débit d'équipement de la turbine, la perte de charge augmente. Pour un débit maximal transitant de 46 l/s, le déplacement du point de fonctionnement par rapport au point de dimensionnement (pour une chute nette correspondant à un débit transitant de 37 l/s uniquement) sur la colline de rendement n'est pas significatif en terme de rendement, quelle que soit la variante.

Le dimensionnement final devra définir la chute nette minimale pour laquelle la turbine peut fonctionner.



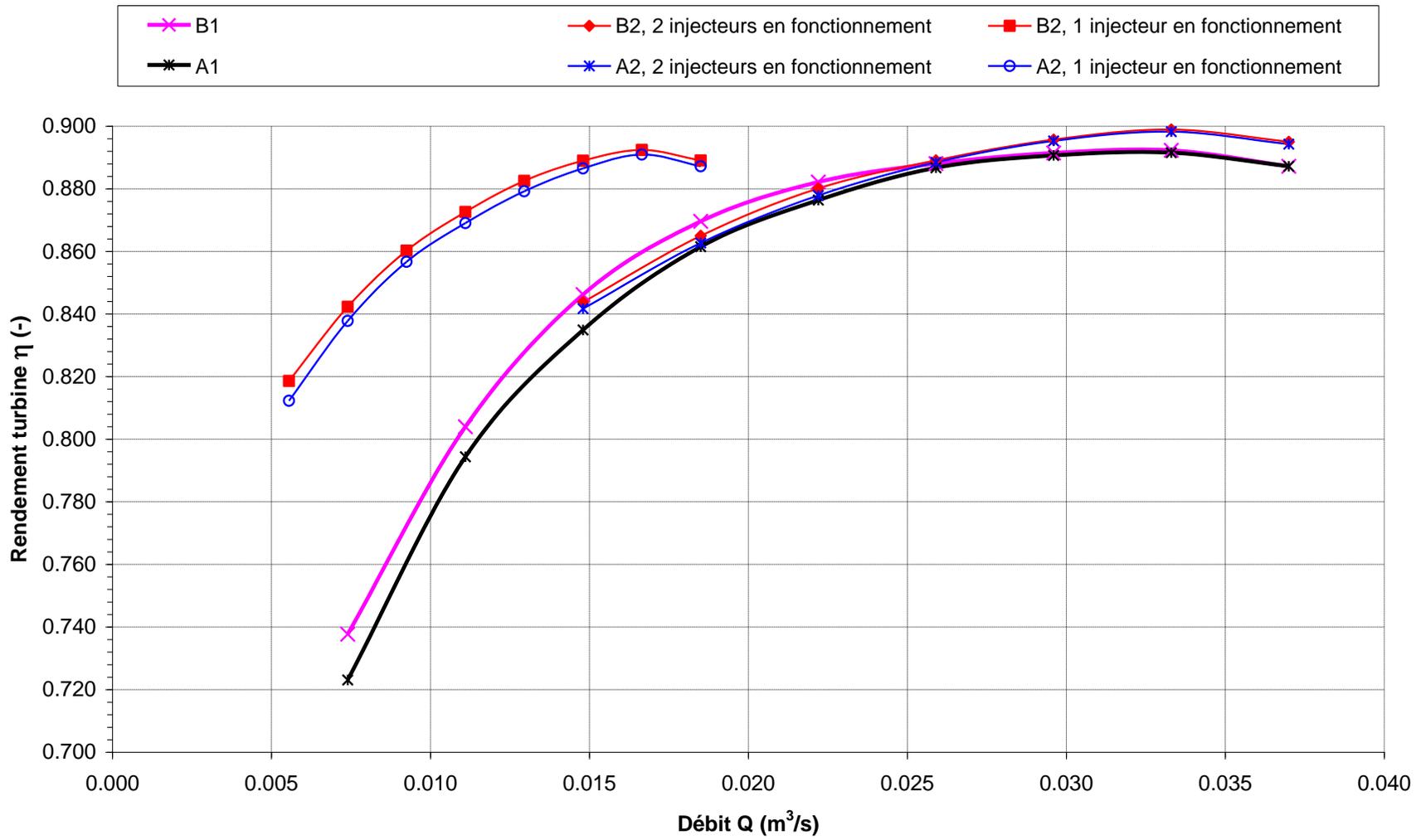


Figure 7. Rendement mécanique à l'accouplement en fonction du débit turbiné pour les 4 variantes



Production électrique annuelle

La production électrique annuelle est calculée par intégration de la courbe des puissances électriques classées, grâce à l'expression:

$$E_e = 10^{-3} \int \eta(Q) \rho Q g H(Q_t) dt \quad [\text{kWh/an}]$$

où

E_e = production électrique totale annuelle	[kWh/an]
Q = débit turbiné	[m ³ /s]
$\eta(Q)$ = produit des rendements de la turbine et de l'alternateur, fonction du débit turbiné	[-]
$H(Q_t)$ = chute nette fonction du débit transitant, calculée par l'équation (1)	[m]

Le rendement de la turbine, pour chaque variante, est donné à la Figure 7.

Le rendement prévisible de l'alternateur est donné à la figure suivante.

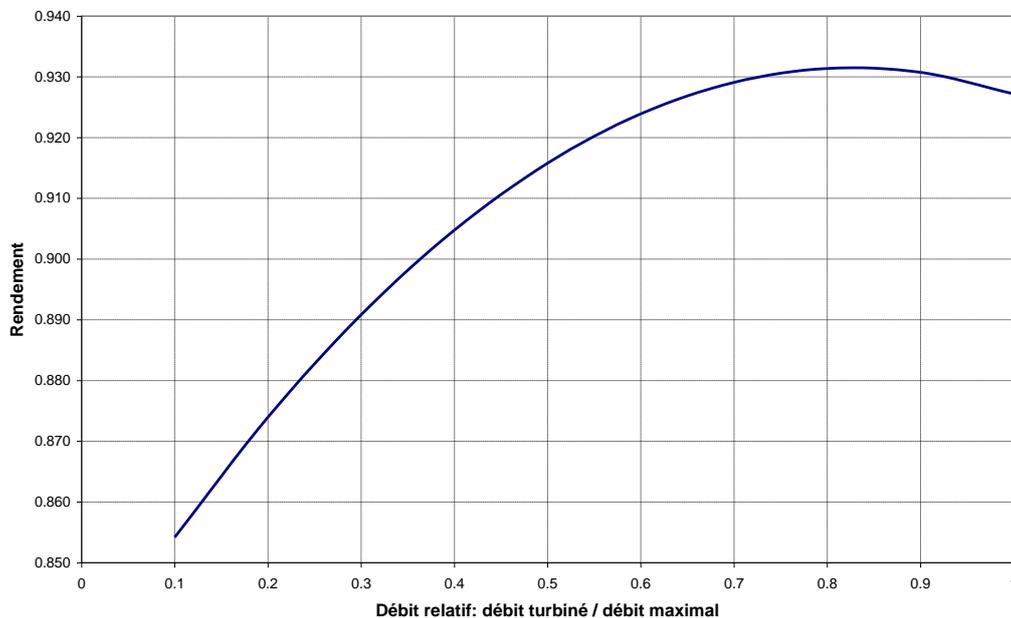


Figure 8. Courbe- type de rendement de l'alternateur

La Figure 9 donne le graphe des puissances classées pour les 4 variantes, la surface entre les axes et les courbes représentant les productions électriques en kWh/an, tandis que le Tableau 4 résume les productions pour chaque variante.



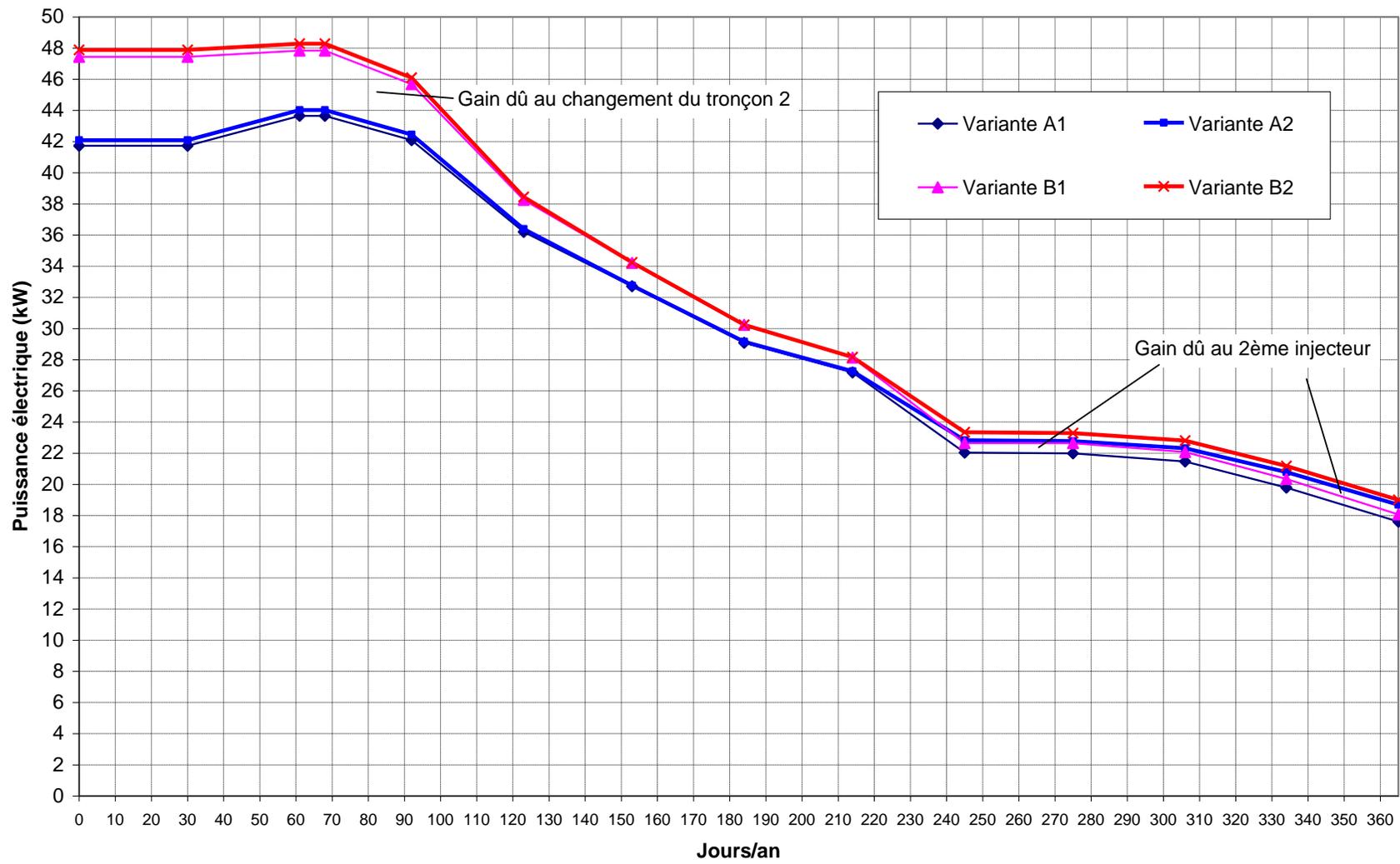


Figure 9. Puissances électriques selon les débits classés issus de la chambre de Bisse Neuf et entrant dans le réservoir de Loye pour les 4 variantes (de conduite et de nombre d'injecteurs)



Les courbes présentées sur la Figure 9 montrent une augmentation de la puissance jusqu'au 60^{ème} jour. En effet, pendant cette période, la turbine fonctionne à son débit maximal de 37 l/s, tandis que le débit supplémentaire, entraînant une certaine perte de charge dans la conduite, est by-passé. A partir du 60^{ème} jour, toute l'eau transitant dans la conduite est turbinée.

Variante		A1	A2	B1	B2
Nombre d'injecteurs de la turbine	(-)	1	2	1	2
Débit d'équipement, Q_N	l/s	37	37	37	37
Dénivellation	m	164	164	164	164
Chute nette maximale à Q_N	m	146	146	160	160
Puissance hydraulique brute	kW	60	60	60	60
Energie hydraulique brute	kWh/an	359'000	359'000	359'000	359'000
Puissance hydraulique nette	kW	53	53	58	58
Energie hydraulique nette	kWh/an	332'000	332'000	353'000	353'000
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	47	47	52	52
Puissance électrique	kW	44	44	48	48
Production électrique	kWh/an	269'000	273'000	287'000	291'000
Production électrique en incluant 5 jours d'arrêt	kWh/an	265'000	269'000	283'000	287'000
Rendement de l'installation	%	74	75	79	80
Production électrique en été	kWh/an	179'000	183'000	195'000	197'000
Production électrique en hiver	kWh/an	86'000	86'000	88'000	90'000

Tableau 4. Production électrique pour chaque variante

Il s'avère qu'une variante à deux injecteurs permet un gain de l'ordre des 4'000 kWh/an, soit de 1.5 % environ par rapport à une variante à 1 injecteur, ce qui est assez faible.

Le changement du tronçon 1 aujourd'hui en DN 150 par une conduite en DN 200 génère un gain de l'ordre des 18'000 kWh/an, soit environ 7 %.

Il est à noter que le calcul de production se base sur des débits moyens mensuels, ce qui aplanit les courbes des puissances classées.

Selon l'expérience MHyLab, la production électrique finale prend en compte un arrêt de la turbine de 5 jours pendant la période de turbinage, correspondant à un arrêt pour débit insuffisant ou pour révision.

La production d'hiver est définie comme s'étendant du 1^{er} novembre au 31 mars.

Finalement, il s'avère, à ce stade de l'étude que les variantes à 2 injecteurs, ne présentant qu'un faible gain de production, ne seront pas retenues.

L'étude économique permettra de départager les variantes A1 et B1, correspondant à un changement ou non du tronçon 1 existant en DN 150.



Calculs économiques

Cette étude économique, visant à départager les variantes, a pour but d'approcher le prix de revient du kWh électrique à **plus ou moins 20%**.

INVESTISSEMENT

En électromécanique, l'estimation des coûts, résumé dans le Tableau 5, a été faite en se basant:

- sur des offres relatives à des installations similaires, pour ce qui concerne le turbogroupe, le coût des turbines des deux variantes étant similaire (cf. page 13),
- sur un devis établi par Sierre Energie SA (cf. annexe C) pour les coûts de raccordement électrique (décrit à la page 22).

Il est à noter que, selon les indications du mandant, les équipements suivants seront installés:

- un débitmètre à l'entrée de la turbine de manière à contrôler le réseau d'eau potable,
- une vanne de garde de la centrale, afin, notamment, d'isoler ce débitmètre,
- un by-pass, afin de garantir l'approvisionnement du réservoir de Loye quel que soit le fonctionnement de la turbine.

Variantes	A1 et B1
Turbine + alternateur	275'000
Vanne de révision de la turbine	25'000
Vanne de garde de la centrale	25'000
By-pass (vanne incluse)	20'000
Débitmètre	5'000
Raccordement électrique	55'000
Investissement en électromécanique	405'000

Tableau 5. Résumé des investissements en électromécanique (CHF)

L'investissement en génie civil, estimé par le Mandant, prend en compte:

- le remplacement du tronçon 2 de la conduite forcée pour la variante A1,
- le remplacement complet de la conduite pour la variante B1,
- la construction du local de turbinage au-dessus du réservoir de Loye, dont le devis est détaillé à l'annexe B.

Il est à noter que la pose de la nouvelle conduite sera dans un terrain aisé, tandis que la construction du local de turbinage demandera la création de voies d'accès.



Variante	A	B
Conduite	60'000	148'000
Local de turbinage (cf. annexe B)	100'000	100'000
Investissement en génie civil	160'000	248'000

Tableau 6. Résumé des investissements en génie civil (CHF)

Les frais d'ingénierie, les divers et imprévus sont estimés à **15 %** de l'investissement.

Variante	A1	B1
Electromécanique	405'000	405'000
Contrôle commande	50'000	50'000
Génie civil	160'000	248'000
Frais d'ingénierie, divers, imprévus	90'000	110'000
Investissement total	705'000	813'000

Tableau 7. Résumé des investissements (CHF)

FRAIS D'EXPLOITATION

Les frais d'exploitation, comprenant les frais d'assurance, ainsi que les coûts de maintenance, d'entretien courant et de consommation d'énergie sont estimés à partir d'installations similaires, soit une moyenne de **CHF 10'000.- /an.**

Le changement des paliers de l'alternateur, réalisé de manière préventive, est prévu tous les 10 ans. Les frais inhérents à cette opération sont évalués à CHF 10'000.-.

Un changement de l'ensemble du contrôle commande peut être envisagé tous les 15 ans. Le montant de cette opération est chiffré à CHF 30'000.-.

CALCULS ÉCONOMIQUES

L'analyse économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.

Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de **4.0 %**, taux que l'on peut considérer comme prudent sur le moyen terme pour une collectivité publique.

La totalité de l'investissement provient soit d'un emprunt bancaire, soit de capitaux propres rémunérés au même taux.

Le prix de revient du kWh est déterminé en divisant la somme des frais annuels (annuité fixe et frais d'exploitation) par la production électrique annuelle, et a été calculé en considérant une année standard.

Calculs économiques en considérant un coefficient d'annuité pondéré

Le Tableau 8 présente les résultats des calculs économiques en se basant sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les durées d'amortissement suivantes:

- génie civil: 40 ans,
- électromécanique: 25 ans,
- contrôle-commande: 12 ans.



Variante		A1	B1
Investissement total	CHF	705'000	813'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	10'000	10'000
Production annuelle	MWhe/an	265	283
Taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Durée d'amortissement Génie civil	années	40	40
Durée d'amortissement électromécanique	années	25	25
Durée d'amortissement équipement	années	12	12
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.4	6.2
Annuité	CHF/an	45'000	51'000
Prix de revient	cts/kWh	20.9	21.5

Tableau 8. Calculs économiques pour les deux variantes en considérant un coefficient d'annuité pondéré

La variante A1 correspond donc au prix de revient le plus faible, avec 20.9 cts/kWh.

Calculs économiques en considérant une durée d'amortissement de 25 ans

De manière à respecter l'ordonnance sur l'énergie en consultation, les calculs économiques sont repris ici en considérant une durée d'amortissement de 25 ans quels que soient les investissements.

Variante		A1	B1
Investissement total	CHF	705'000	813'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	10'000	10'000
Production annuelle	MWhe/an	265	283
Taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Durée d'amortissement	années	25	25
Coefficient d'annuité	%	6.4	6.4
Annuité	CHF/an	45'000	52'000
Prix de revient	cts/kWh	20.8	21.9

Tableau 9. Calculs économiques pour les deux variantes en considérant une durée d'amortissement de 25 ans quels que soient les investissements

Selon l'ordonnance sur l'énergie en consultation, le tarif de reprise serait de:

- 23.4 cts/kWh pour la variante A1



- 27.9 cts/kWh pour la variante B1.

La différence entre les deux tarifs est due au bonus génie civil, les investissements en génie civil dépassant la barre des 30 % pour la variante B1, contrairement à la variante A1.

Ainsi, il s'avère que la variante A1 correspond au prix de revient le moins élevé, mais s'avère moins intéressante financièrement (et énergétiquement) compte tenu des tarifs de reprise en cours de discussion, contrairement à la variante B1 qui permettrait une marge théorique de 6.0 cts/kWh.

Sur cette base, la variante B1 est retenue.

Description technique de la variante B1

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE

La régulation de la turbine sera asservie au niveau amont à la chambre de répartition de Bisse Neuf, qui sera maintenu constant. Le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le débit disponible est inférieur au débit minimum de fonctionnement de la turbine (3.7 l/s), celle-ci est à l'arrêt.
- Quand le débit disponible est compris entre les débits minimum et maximum de la turbine, il est turbiné en totalité.
- Dès que le débit disponible dépasse le débit maximum de la turbine, le surplus est by-passé en amont de la turbine pour être déversé dans le réservoir de Loye.

En cas d'arrêt de la turbine pour révision ou en cas de débits insuffisants, l'eau est by-passée en amont de la turbine, de façon à continuer à alimenter le réservoir de Loye.

TURBINE

On utilisera autant que possible l'acier inoxydable pour la construction de la turbine.

La roue sera en porte-à-faux sur l'arbre de l'alternateur.

On utilisera de préférence une construction à augets rapportés, usinés en CNC (commande numérique), fixés entre deux flasques. Cette méthode permet un changement partiel de la roue en cas de dégâts éventuels dus à des matériaux solides transportés par l'eau. De plus, elle assure une parfaite similitude entre le profil hydraulique développé en laboratoire et celui usiné, chose difficilement réalisable (voire impossible) avec une roue coulée d'une pièce, l'espace étant insuffisant pour la finition par meulage. Par ailleurs, nous préconisons l'utilisation de barreaux forgés, dont les caractéristiques mécaniques sont bien supérieures à celles d'un métal coulé.

En outre, nous recommandons une commande de l'injecteur par vérin électrique, au lieu d'un système à huile incompatible avec l'eau potable pour des raisons de risque sanitaire.

L'injecteur comportera un déflecteur afin d'assurer la sécurité en cas de déclenchement, dû, par exemple, à une perte de réseau. Ainsi, afin d'éviter que la turbine ne parte en survitesse, ce déflecteur dévie le jet de la roue, tandis que l'injecteur est lentement fermé pour éviter un coup de bélier dans la conduite.

VANNES

Les vannes à installer, au niveau du local de turbinage, sont les suivantes:

- une vanne de garde de la centrale, de type sphérique, en DN 200, PN 25, qui permettra notamment d'isoler le débitmètre,
- une vanne manuelle de révision de la turbine équipée d'un by-pass d'équilibrage de pression amont-aval, qui sera de type sphérique DN 100, PN 25, laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite,
- une vanne manuelle de type sphérique en DN 50, PN 25 à l'entrée du by-pass.

BY-PASS

En cas d'arrêt de la turbine pour révision ou débit insuffisant, le réservoir d'eau potable sera toujours



alimenté par un by-pass équipé d'un réducteur de pression. Ce by-pass sera également utilisé lorsque le débit disponible à la chambre de Bisse Neuf sera supérieur au débit d'équipement de la turbine, afin de faire transiter l'entier de l'eau disponible au réservoir de Loye.

Nous recommandons, pour ce faire un dissipateur de Carnot, pour les raisons suivantes:

- sa régulation est similaire à celle d'un injecteur de turbine,
- la régulation des débits assure que l'ensemble de la conduite est toujours sous pression,
- sa simplicité en réduit le coût et assure une fiabilité bien plus haute que tout système faisant appel à une vanne.

Il est à noter que l'intégration de ce by-pass au réservoir de Loye devra être étudiée dans le projet d'exécution.

ALTERNATEUR

Variante		B1
Type		asynchrone
Fréquence	Hz	50
Tension triphasée aux bornes	V	400
Vitesse nominale	min ⁻¹	1500
Puissance électrique	kW	48
Cos φ		0.90
Puissance apparente	kVA	54

Les paliers seront à roulement graissés, d'une durée de vie de 100'000 heures. Ils devront tenir compte du fait que la roue de la turbine est en porte-à-faux sur l'arbre.

L'excitation triphasée sera à diodes tournantes, sans bague, avec si possible réglage de tension et de Cos φ incorporé à la machine.

RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE

Le raccordement électrique se fera au réseau du village de Grône basse tension. Aucun transformateur n'est donc nécessaire.

SÉCURITÉ

La sécurité est assurée par le déflecteur de la turbine. En cas de déclenchement, celui-ci s'ouvrira et le pointeau se fermera.

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 asservie au niveau d'eau amont.

La turbine devra pouvoir fonctionner en automatique ou en manuel (mise en route et couplage au réseau).

En cas de déclenchement de réseau, le redémarrage se fera de manière automatique.

Le choix du redémarrage manuel ou automatique de la centrale, en cas d'arrêt consécutif à une alarme, sera à discuter avec l'exploitant.

Les tableaux comprendront en outre les éléments suivants :

- Commande de l'injecteur avec affichage de l'ouverture,
- Réglage de Cos φ .



Les indicateurs suivants seront à fournir :

- Voltmètre, wattmètre, fréquencemètre, mesure du $\cos \varphi$, compte tour,
- Indicateur de niveau amont,
- Débitmètre,
- Indicateur de charges des batteries de secours,
- Compteur d'heures, compteur de démarrage,
- Températures des roulements et du bobinage de l'alternateur,
- Arrêt d'urgence.

Les alarmes suivantes devront être traitées :

- Niveau amont insuffisant,
- Surcharges alternateur,
- Survitesse alternateur,
- Arrêt d'urgence,
- Défaut de mise en marche,
- Roulements alternateurs,
- Bobinages,
- Retour de courant,
- Surcharge batteries,
- Défaut batterie.

Le contrôle commande sera alimenté en 24 V CC ou 48 V CC et secouru par des batteries.

LOCAL DE TURBINAGE

Le local de turbinage sera construit au-dessus du réservoir de Loye.

Le by-pass devra être intégré à l'aménagement, de manière à ce qu'il alimente le réservoir de Loye. Il est à noter que cette intégration devra être approfondie dans le projet d'exécution.

Le plan de situation de la petite centrale est donné à l'annexe D, tandis que le plan du local de turbinage se trouve à l'annexe E.

Conclusions

- La solution retenue pour le turbinage de l'eau potable entre la chambre de Bisse Neuf et le réservoir de Loye correspond à un turbogroupe d'une puissance électrique de 48 kW, équipé d'une turbine à un injecteur, assurant une production électrique de 283'000 kWh/an, selon un prix de revient de 21.9 cts/kWh (en considérant une durée d'amortissement de 25 ans quels que soient les investissements conformément à l'ordonnance sur l'énergie en consultation). Elle implique le changement complet de la conduite actuelle de 550 m de longueur.
- Ce prix de revient, relativement élevé, est toutefois inférieur au tarif de reprise de 27.9 cts/kWh, calculé selon l'ordonnance sur l'énergie en consultation.
- Seule la version finale de l'ordonnance sur l'énergie permettra de valider la solution retenue, entraînant le remplacement complet ou non de la conduite actuelle.
- L'étude sommaire de 2004 prévoyait un prix de revient de 7 cts/kWh, pour une production annuelle de 240'000 kWh/an. Si l'estimation de la production est cohérente avec celle calculée ici, la différence pour le prix de revient est due aux points suivants:
 - a. la longueur de la conduite était sous-estimée, tandis que son diamètre interne était



- surestimé; elle ne demandait alors pas d'être changée,
- b. le by-pass, le débitmètre et sa vanne n'avaient pas été pris en compte,
 - c. le coût du local de turbinage n'était pas inclus dans l'investissement,
 - d. les coûts matière ont augmenté depuis 2004.

Programme de travail

Les prochaines étapes à mettre en oeuvre pour pouvoir réaliser le projet de mise en place de la station de turbinage de l'eau potable du village de Grône au réservoir de Loye sont les suivantes :

- Etablissement du projet d'exécution,
- Etablissement des cahiers des charges et lancement des consultations d'entreprises spécialisées, dans la fourniture de matériel hydro-électrique, et de génie civil,
- Commande du matériel, installation et mise en service.

Annexes

Annexe A: Croquis d'implantation de la turbine à 1 injecteur, variante B1 (MHyLab, septembre 2007)

Annexe B: Devis pour la construction du nouveau local de turbinage (SIESA, septembre 2007)

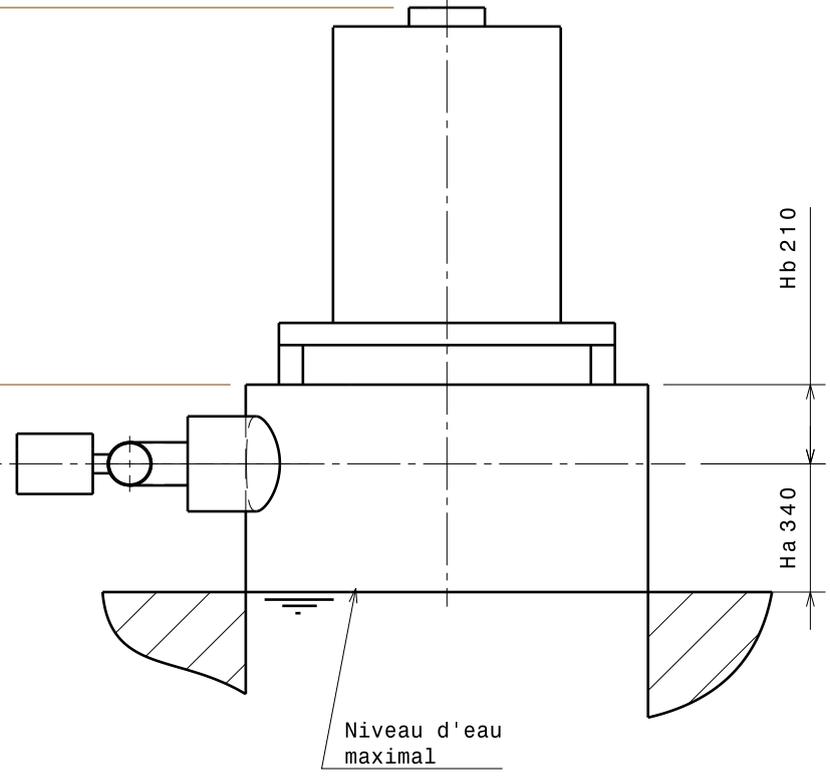
Annexe C: Devis pour le raccordement électrique (SIESA, septembre 2007)

Annexe D: Plan de situation du projet (SIESA, novembre 2007)

Annexe E: Plan du local de turbinage (SIESA, novembre 2007)

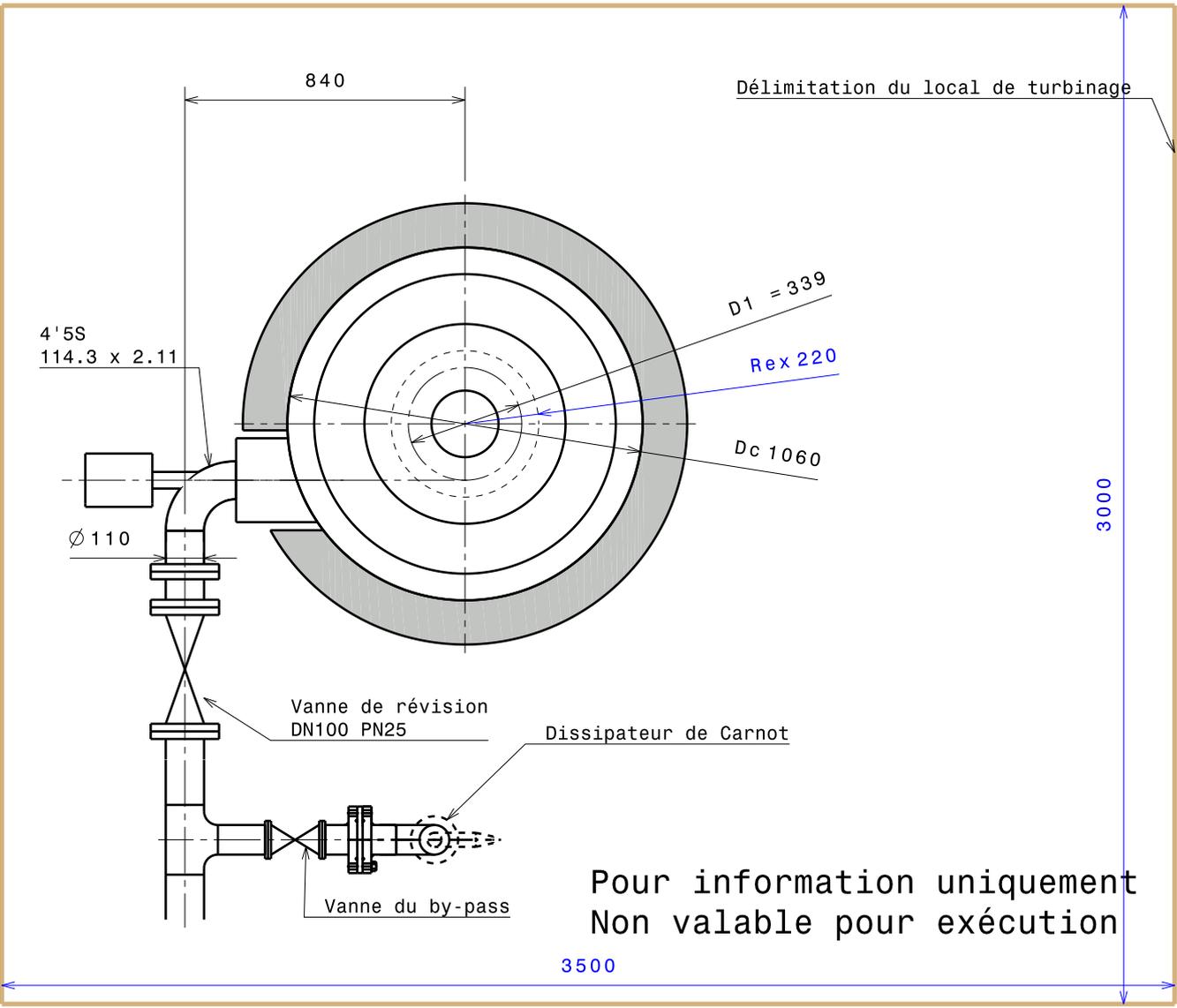


déterminé par le constructeur



REV.	DESS.	DATE	CONTR.	APPR.
	A. Choulot	14.09.07		
ENSEMBLE				
POTIS		MODIFICATIONS		
ECHALES		1:20 au format A4		
PELTON		Ma0511 Grône Loye variante B1		
CROQUIS		Croquis d'encombrement		
INJECTEUR		Pelton 1 injecteur, 1500 t/min		
Hn		Hn = 160 m, Qmax = 0.037 m³/s		
REV.		MP0511-0002-4A		
REV.		A		

1. Execution		Code	Nbr. tot
Nbr.	Poids totales		



Pour information uniquement
Non valable pour exécution

This document is the property of MhyLab and shall not be copied or disclosed to any third party without MhyLab written agreement. Ce document est la propriété de MhyLab et ne doit pas être copié ou transmis à un tiers sans l'accord écrit de MhyLab.

**MINI CENTRALE DE LOYE
LOCAL DE TURBINAGE**

TOTAL DU DEVIS **97'500.00**

CAN 1 TRAVAUX PREPARATOIRES **11'500.00**

Déblaiement, préparation du terrain	11'500.00
113 Aménagement des accès	10'000.00
116 Défrichage	1'500.00

CAN 2 FOUILLES **2'000.00**

Excavation	2'000.00
151 Réseau enterré	2'000.00

CAN 3 BATIMENT **84'000.00**

Excavation	18'000.00
Fouille en pleine masse	18'000.00
113 Installation de chantier	3'000.00
311 Terrassements	15'000.00
Gros-oeuvre 1	66'000.00
Travaux de l'entreprise de maçonnerie	66'000.00
111 Régies	5'000.00
113 Installation de chantier	8'000.00
132 Forage	2'000.00
241 Béton et béton armé	51'000.00

ADRESSE DE FACTURATION	DEVIS N° 3007	CLASSE : 4040	SIESA	
MHyLab MINI-HYDRAULICS LABORATORY CH-1354 MONTCHERAND	AUT.DEVIS Zc			LOCALISATION
REMARQUES	DATE 25.09.07			RESEAU BASSE TENSION LOYE
BUDGET	Dossier N°			DESIGNATION DU TRAVAIL
	PLAN N°.			RACCORDEMENT ELECTRIQUE BASSE TENSION, 50KW DU RESERVOIR DE LOYE.

DESIGNATION DU MATERIEL	NOMBRE	U	PRIX UNIT.	PRIX TOTAL	NO SIESA
Câble BT céandre GKN 3X150+150	300	m	54.70	16'410.00	1026249
Garniture d'extrémité 3x150+150	2	p	224.25	448.50	26
Coffret d'abonné Weber 160A	1	p	414.00	414.00	32
Réglette C/C SL DIN00 160A complète	1	p	150.35	150.35	38
Fusible HPC DIN 00 160A RET/RAPIDE	6	p	4.65	27.90	1043048
Cable protection câble blanc DN 120/131	300	m	10.30	3'090.00	1076469
Pièces spéciales, ficelle, bde signal. et divers 15%	1	x	533.05	533.05	
Divers matériel	1	x	300.00	300.00	
TOTAL MATERIEL		fr		21'373.80	

Fouille dans terre 2xØ120/132	280	m	78.00	21'840.00
Fouille dans bitume 2xØ120/132	20	m	185.00	3'700.00
TRANSIT GENIE CIVIL		fr		25'540.00

SOUS TOTAL		fr		46'913.80
-------------------	--	----	--	------------------

Main d'oeuvre SIESA	92	h	68.00	6'256.00
Divers main d'oeuvre	5	h	68.00	340.00
Unimog	5	h	80.00	400.00
TOTAL MAIN D'OEUVRE SIESA	97	h		6'996.00

COUT TOTAL DU DEVIS BASSE TENSION		fr		53'909.80
--	--	----	--	------------------



RESERVOIR DE LOYE
MINI CENTRALE DE TURBINAGE
SITUATION PROJET

06.11.2007

NeM

Plan No 4
ECHELLE 1:1000

Plan sans valeur officielle

