



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 VAYE-PLANAZ SUR LE RÉSEAU D'EAU POTABLE DE LA COMMUNE DE GRONE

ETUDE DE FAISABILITÉ

Rapport final

Auteur

MHyLab

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



Programme petites
centrales hydrauliques
www.petitehydraulique.ch

Date: 15.02.2007

Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Adresse postale: CH-3003 Berne

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

www.bfe.admin.ch

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

Numéro de projet: 101270

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	7
Dénivellation exploitable	7
Hydrologie	7
Mesures des débits sortant du réservoir de Vaye-Planaz	7
Courbe des débits classés, débits turbinables et débit d'équipement	8
Conduite forcée et perte de charge	9
Principales dimensions de la turbine	9
Production électrique annuelle	11
Calculs économiques	13
Principales caractéristiques de la variante retenue	17
Description technique de la variante retenue	18
Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	18
Turbine	18
Vannes	19
By-pass	19
Alternateur	19
Raccordement électrique	19
Sécurité	19
Contrôle commande	20
Local de turbinage	20
Conclusions	21
Programme de travail	21
Annexes	21



Résumé

Une analyse sommaire des potentiels des réseaux d'eau de la commune de Grône établie en 2004 ayant montré la rentabilité du turbinage de l'eau potable, cette nouvelle étude approfondit le projet de turbinage entre le réservoir de Loya et celui de Vaye-Planaz. Ce réservoir assure les besoins en eau potable de la commune de Grône, tandis que trop-plein est envoyé sur le réseau de distribution de la commune de Sierre.

Ainsi, la solution retenue, d'une puissance électrique de 93 kW, correspondant à une turbine Pelton à 1 injecteur, assure une production de 536'000 kWh/an, dont 167'000 kWh en hiver, pour un prix de revient de 10.8 cts/kWh.



Introduction

Dans le cadre du plan annuel 2005 du programme petites centrales hydrauliques de Suisse Energie, MHyLab et 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'eaux potable au niveau du réservoir de Vaye-Planaz.

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

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 de la commune 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 des informations disponibles à ce jour, c'est le turbinage entre les réservoirs de Loya et de Vaye-Planaz qui est étudié ici.

Le réservoir de Loya est alimenté en eau potable par la chambre de répartition de Bisse-Vieux et par un captage issu du hameau d'Itravers (cf. Figure 1 et Figure 2). Il alimente lui-même le village de Loya et le réservoir de Vaye-Planaz. Celui-ci est composé de deux cuves:

- l'une reliée au réseau de distribution pour la commune de Grône,
- 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 déversé aux sources, puisque toute l'eau captée non utilisée par la commune de Grône est vendue à la commune de Sierre.

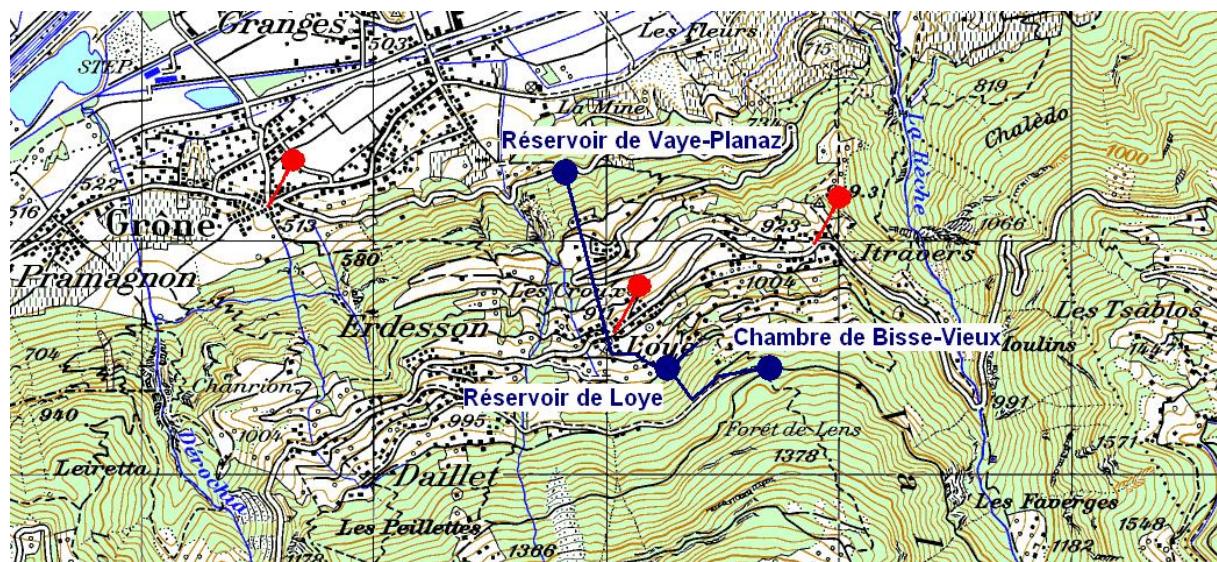


Figure 1. Plan de situation d'une partie du réseau d'eau potable de la commune de Grône

L'objectif est de turbiner tout le débit entrant dans le réservoir de Vaye-Planaz, qui correspond à l'eau fournie aux communes de Grône et de Sierre.

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 2006.



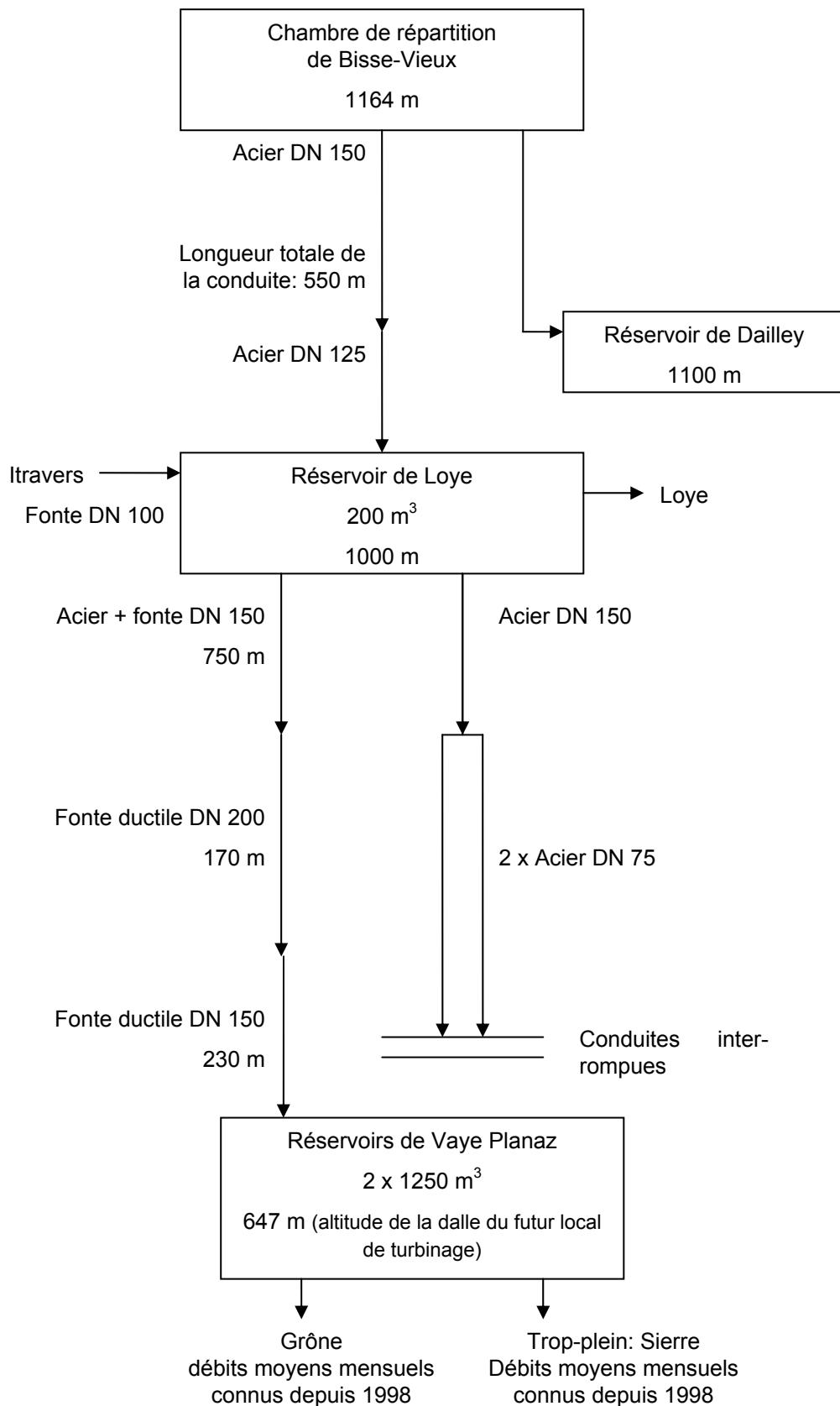


Figure 2. Réseau d'adduction d'eau potable de la commune de Grône



Données de base

Les constantes de base suivantes sont considérées :

Accélération de la pesanteur	g	m/s^2	9.805
Température moyenne de l'eau	T_{eau}	$^{\circ}\text{C}$	10
Masse volumique de l'eau à 10°C	ρ	kg/m^3	1000.2

DÉNIVELLATION EXPLOITABLE

Les altitudes sont les suivantes:

- altitude du réservoir de Loyer: 1'000 m,
- altitude de la dalle du futur local de turbinage, situé au dessus du réservoir de Vaye-Planaz: 647 m.

La dénivellation est donc de 353 m.

HYDROLOGIE

Mesures des débits sortant du réservoir de Vaye-Planaz

Les volumes d'eau potable alimentant les communes de Grône et de Sierre sont mesurés, séparément, de manière mensuelle depuis 1998. Ces mesures, 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 de Grône et de Sierre.

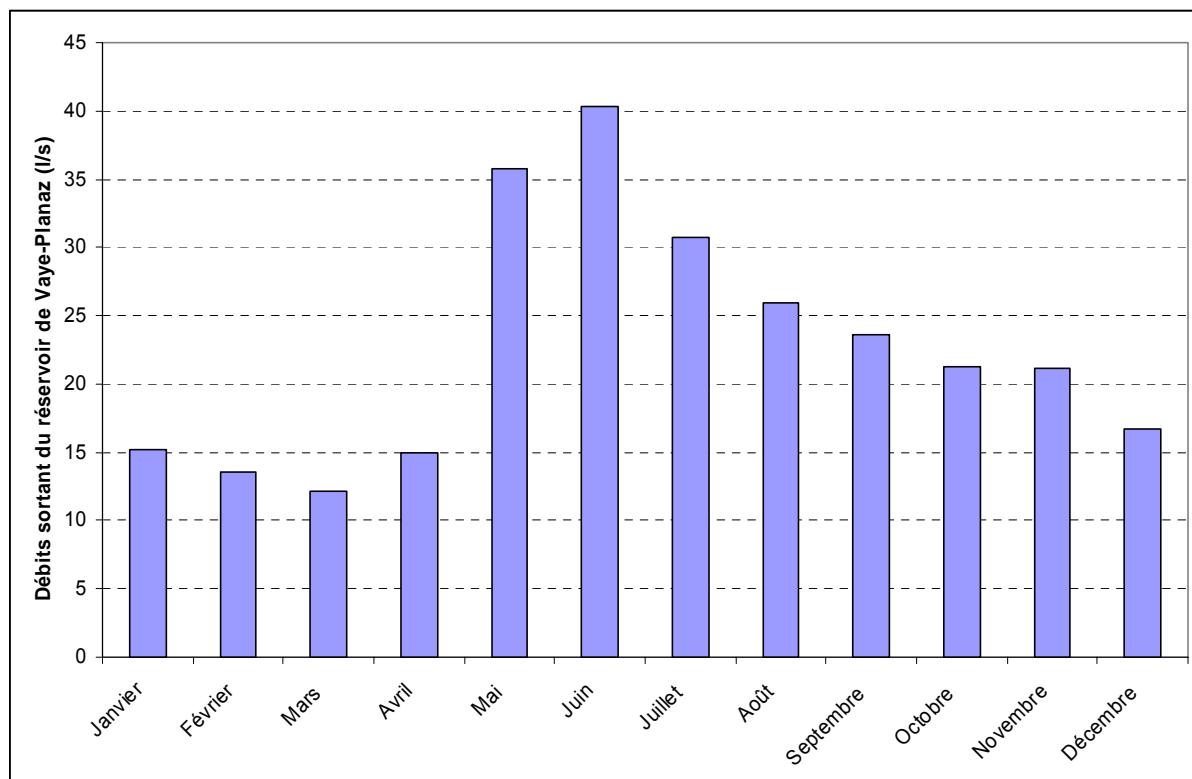


Figure 3. Débits mensuels sortant du réservoir de Vaye-Planaz, moyennés sur la période 1998 – 2006

Comme représenté sur la Figure 3, 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.



Les caractéristiques des volumes d'eau entrant dans le réservoir de Vaye-Planaz sont les suivantes:

- Débit mensuel moyen minimal: 12 l/s (en mars),
- Débit mensuel moyen maximal: 40 l/s (en juin),
- Débit moyen: 24 l/s.

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

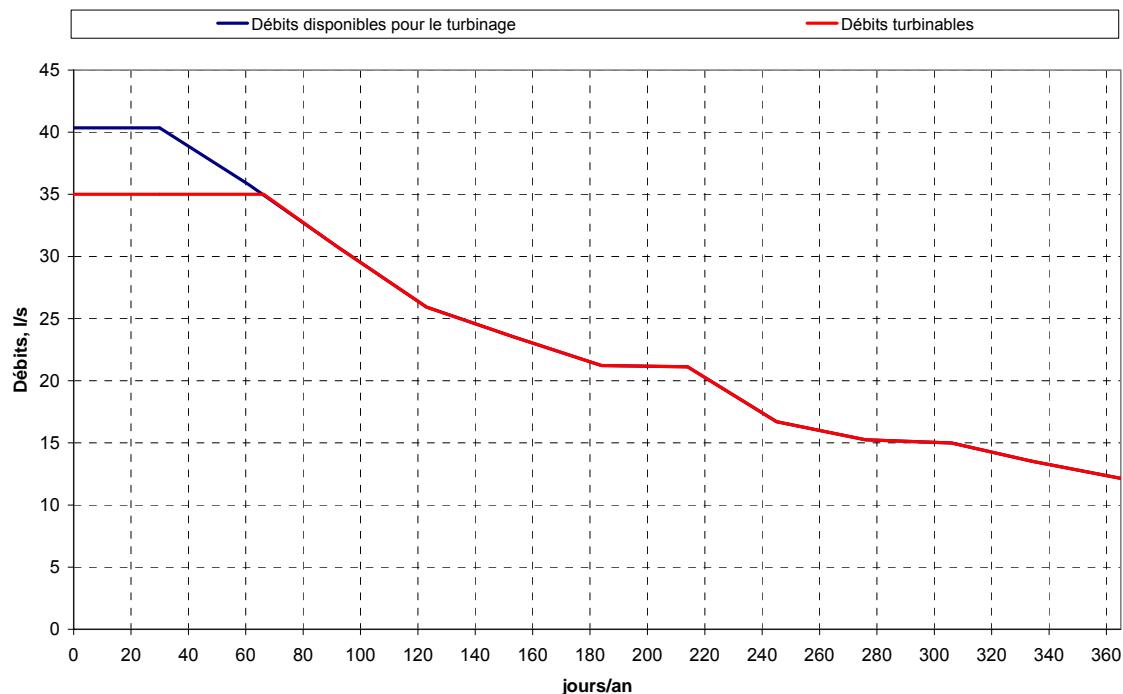


Figure 4. Courbes des débits classés sortant du réservoir de Vaye-Planaz et des débits turbinables

Au vu de la courbe des débits classés sortant du réservoir de Vaye-Planaz, établie à partir de moyennes mensuelles, **le débit d'équipement de l'installation est de 35 l/s**, atteint ou dépassé plus de 65 jours/an (il s'agit d'une hypothèse prudente).



Conduite forcée et perte de charge

Du réservoir de Loyer partent deux conduites pour celui de Vaye-Planaz, dont une a été abandonnée. La conduite utilisée actuellement est composée de trois tronçons comme présenté sur la Figure 2 et dans le Tableau 1. L'ingénieur civil mandaté par la commune de Grône estime que cette conduite, posée en 1980, est en bon état (l'eau transitant étant dépourvue de sédiment). Toutefois, des essais de tenue en pression devront être effectués pour l'établissement du projet définitif, la conduite devant résister à des pressions de 45 bar.

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 et de la rugosité [s^2/m^5]

Q_t = débit turbiné [m^3/s]

Les calculs sont réalisés avec une rugosité de 0.1 mm pour chaque tronçon, ce qui correspond à une conduite en service depuis plusieurs années.

La perte de charge doit être calculée au débit maximal sortant du réservoir de Loyer, l'entier de l'eau non consommée par la commune de Grône étant vendu à Sierre. Vu les données disponibles, elle sera donc calculée ici à 40 l/s (débit moyen mensuel maximal).

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

Tronçon de conduite		1	2	3	Total
matière		acier + fonte	Fonte ductile	Fonte ductile	
rugosité	mm	0.1	0.1	0.1	
Longueur	m	750	170	230	1150
Diamètre interne	mm	150	200	150	
Coefficient de perte de charge	s^2/m^5	14'700	750	4'500	19'950
Perte de charge au débit maximal (40 l/s)	m	24	1	7	32
Rendement de la conduite	%				91

Tableau 1. Perte de charge dans la conduite existante

Ainsi, il s'avère que la conduite en place, vu les hypothèses posées, est satisfaisante pour le turbinage, celle-ci assurant un rendement au débit maximal de 40 l/s du même ordre de grandeur que celui exigé pour l'ensemble des équipements de l'installation hydro-électrique (turbine et alternateur).

Nous recommandons toutefois d'effectuer des mesures de perte de charge avant réalisation, des incertitudes existant relativement aux diamètres internes des tronçons et à leur rugosité.

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 2.

Il est à noter que la turbine est dimensionnée pour un débit d'équipement de 35 l/s et pour une chute nette minimale de 321 m, correspondant à la perte de charge de 32 m (cf. Tableau 1), lorsque le débit maximal (40 l/s) transite dans la conduite.

Les indications du Tableau 2 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		A	B
Débit d'équipement, Q_N	l/s	35	35
Chute nette à Q_N	m	329	329
Energie massique à Q_N	J/kg	3'222	3'222
Type de turbine			Pelton à axe vertical (*)
Nombre d'injecteurs	(-)	1	2
Chute nette de dimensionnement	m	321	321
Vitesse de rotation	t/min	1500	1500
Diamètre externe de roue	mm	559	551
Diamètre du bâti	mm	1350	1330
Largeur d'auget, B_2	mm	68	47
Diamètre d'injection, D_1	mm	487	501
Nombre d'augets	(-)	25	30
Puissance hydraulique	kW	113	113
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	101	101

Tableau 2. Principales caractéristiques de la petite turbine Pelton avec un ou deux injecteurs (*: se référer à l'annexe)

Il s'avère que, en comparaison avec la variante A, la variante B correspond 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 ces deux machines 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 3.50 l/s pour la variante à 1 injecteur, ou 1.75 l/s pour la variante B.

La Figure 5 illustre les courbes de rendement mécanique à l'accouplement pour les 2 variantes.



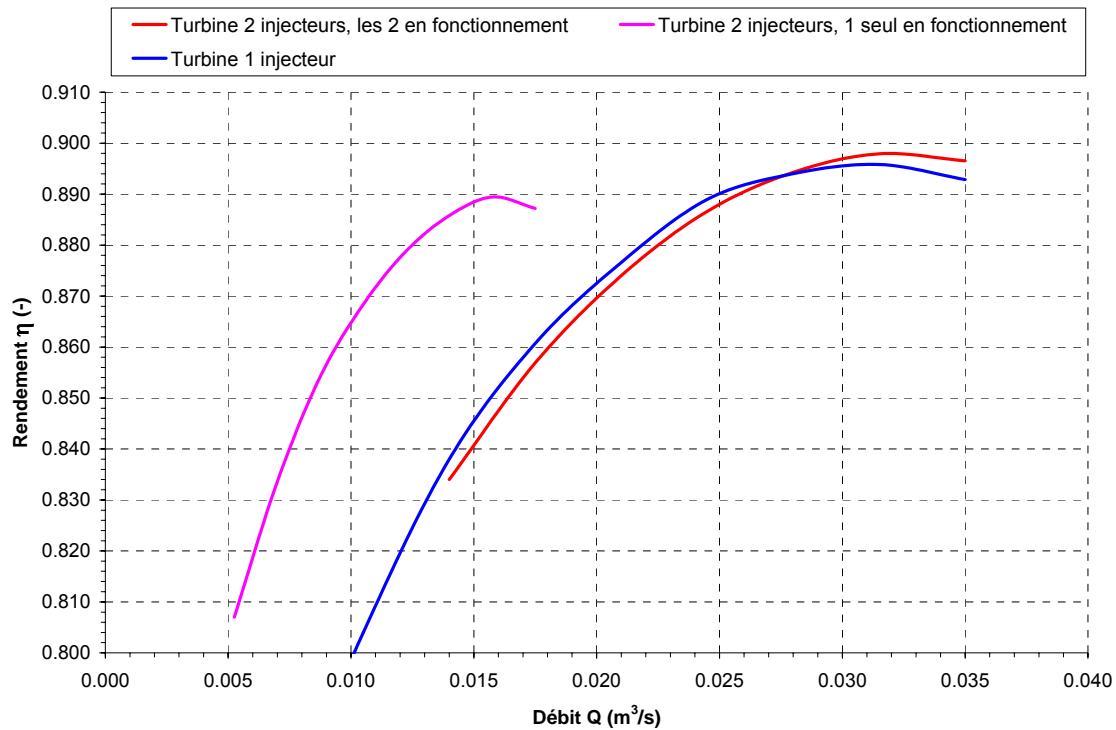


Figure 5. Rendement mécanique à l'accouplement en fonction du débit turbiné pour les 2 variantes

Production électrique annuelle

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

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

où E_{etot} = production électrique totale annuelle $[\text{kWh/an}]$

Q_t = débit turbiné $[\text{m}^3/\text{s}]$

$\eta(Q_t)$ = produit des rendements de la turbine et de l'alternateur, fonction du débit $[-]$

$H(Q_t)$ = chute nette fonction du débit turbiné, calculée par l'équation (1) $[\text{m}]$

Le rendement de la turbine, pour chaque variante, est donné à la Figure 5.

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



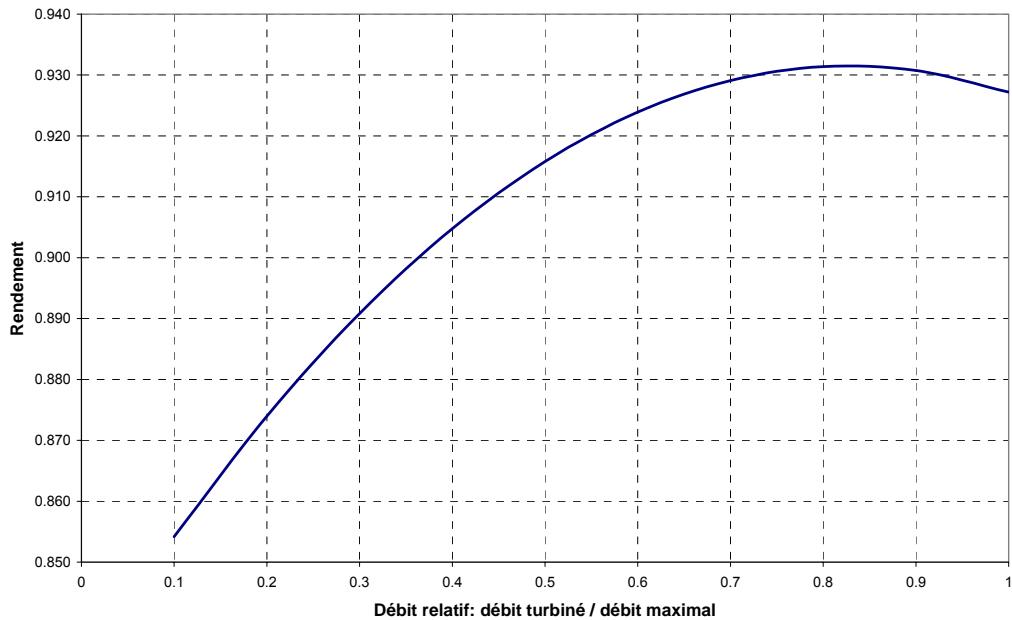


Figure 6. Courbe-type de rendement de l'alternateur

La Figure 7 donne le graphe des puissances classées pour les deux variantes, la surface entre les axes et les courbes représentant les productions électriques en kWh/an.

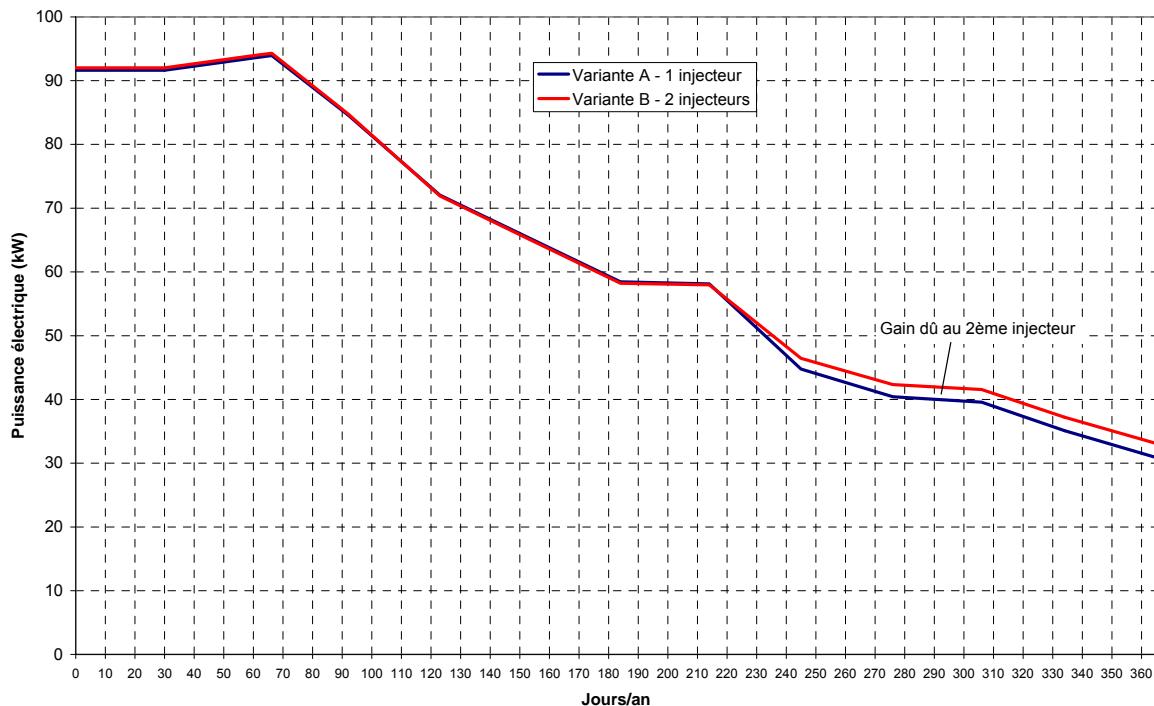


Figure 7. Puissances électriques selon les débits classés entrant dans le réservoir de Vaye-Planaz pour les deux variantes

Les courbes présentées sur la Figure 7 montrent une augmentation de la puissance jusqu'au 66^{ème} jour. En effet, pendant cette période, la turbine fonctionne à son débit maximal de 35 l/s, tandis que le débit supplémentaire, entraînant une certaine perte de charge dans la conduite, est by-passé. A partir du 66^{ème} jour, toute l'eau transitant dans la conduite est turbinée.

Il s'avère que la variante à deux injecteurs permet un gain de 6'000 kWh/an, soit de 1 % environ par



rapport à la variante à 1 injecteur. Ce gain est généré principalement en hiver, qui correspond à la saison des basses eaux.

Il est à noter que le calcul de production se base sur des débits moyens mensuels, ce qui aplani les courbes des puissances classées, et peut conduire à une légère sous-estimation des productions.

Variantes		A	B
Nombre d'injecteurs de la turbine	(-)	1	2
Débit d'équipement, Q_N	l/s	35	35
Chute nette à Q_N	m	329	329
Puissance hydraulique	kW	113	113
Energie hydraulique nette	kWh/an	670'000	670'000
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	101	101
Puissance électrique	kW	93	94
Production électrique	kWh/an	543'000	549'000
Production électrique en incluant 5 jours d'arrêt	kWh/an	536'000	541'000
Rendement de l'installation	%	80	81
Production électrique en hiver	kWh/an	167'000	170'000
Production électrique en été	kWh/an	369'000	371'000

Tableau 3. Production électrique pour chaque variante

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.

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%**. Elle prend en compte les points suivants:

En électromécanique, l'estimation des coûts, résumé dans le Tableau 4, a été faite en se basant:

- sur des offres budgétaires de constructeurs de petites turbines, pour ce qui concerne le turbogroupe,
- sur un devis établi par Sierre Energie SA (daté du 07.02.07) pour les coûts de raccordement électrique (voir en annexe).

Il est à noter que, selon les indications du mandant, un débitmètre sera intégré à l'entrée de la turbine de manière à contrôler le réseau d'eau potable, ainsi qu'une vanne de garde de la centrale, afin, notamment, d'isoler ce débitmètre.



Variantes		A	B
Turbine + alternateur	CHF	325'000	350'000
Vanne de révision de la turbine	CHF	25'000	25'000
Vanne de garde de la centrale	CHF	25'000	25'000
By-pass (vanne incluse)	CHF	20'000	20'000
Débitmètre	CHF	6'000	6'000
Station transformatrice	CHF	45'000	45'000
Ligne électrique en 16 kV	CHF	70'000	70'000
Investissement en électromécanique	CHF	516'000	541'000

Tableau 4. Résumé des investissements en électromécanique

L'investissement en génie civil, détaillé en annexe, prend en compte:

- la construction du local de turbinage au-dessus du réservoir de Vaye-Planaz, actuellement enterré
- l'intégration du by-pass,
- l'intégration de la station transformatrice.

Terrassement et fouilles	CHF	10'000
Béton et coffrage	CHF	78'000
Divers (sans imprévus ni honoraires)	CHF	66'000
Investissement en génie civil	CHF	154'000

Tableau 5. Résumé des investissements en génie civil

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

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 5'000.- /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.-.

La nouvelle installation pourra bénéficier du tarif promotionnel de **15 cts/kWh** selon les recommandations de l'Office Fédéral de l'Energie pour des producteurs indépendants. De plus, suite à la modification de la loi sur l'Energie du 30 novembre 2004, ce tarif devrait être garanti sur le long terme grâce à la possibilité offerte aux distributeurs de facturer, à la société exploitant le réseau THT, les frais supplémentaires encourus du fait de l'achat de l'énergie électrique fournie par des producteurs indépendants. D'autres modalités sont cependant possibles en fonction de l'adoption définitive de la loi sur



l'Approvisionnement en Electricité (LApEI) et des modifications induites sur la Loi sur L'Energie (LEn).

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

L'étude économique se base sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les durées d'amortissement suivantes:

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

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.

Variantes		A	B
Electromécanique	CHF	516'000	541'000
Contrôle commande	CHF	50'000	50'000
Génie civil	CHF	154'000	154'000
Frais d'ingénierie, divers et imprévus	CHF	108'000	112'000
Investissement total	CHF	828'000	857'000

Tableau 6. Résumé des investissements

Variantes		A	B
Investissement total	CHF	828'000	857'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	5'000	5'000
Production annuelle	MWhe/an	536	541
Tarif de vente	cts/kWh	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	80'000	81'000
taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.4	6.4
Annuité	CHF/an	53'000	55'000
Bénéfice annuel	CHF/an	22'000	21'000
Prix de revient	cts/kWh	10.8	11.1

Tableau 7. Calculs économiques pour les deux variantes



Les calculs économiques montrent que les deux variantes sont rentables, et que le coût du 2^{ème} injecteur est pratiquement couvert par le gain de production.

Compte tenu du degré d'incertitude évoqué précédemment, l'analyse économique ne permet pas de détacher nettement une variante plutôt que l'autre. Nous privilégierons cependant la solution à un seul injecteur comme solution de base pour les raisons suivantes:

- plus grande simplicité de la machine,
- rapport de 1 à 3 entre l'étiage et le débit maximal,
- faible gain de production avec un 2^{ème} injecteur.

La variante à deux injecteurs pourra toutefois être considérée comme une option en phase de consultation des entreprises pour la réalisation.



Principales caractéristiques de la variante retenue

Variante retenue		A
Débit d'installation, Q_N	l/s	35
Altitude amont	m	1'000
Altitude aval	m	647
Dénivellation	m	353
Coefficient de perte de charge	s^2/m^5	19'950
Perte de charge à Q_N	m	24
Chute nette à Q_N	m	329
Rendement de la conduite à Q_N	%	93
Energie massique à Q_N	J/kg	3'222
Puissance hydraulique à disposition	kW	113
Energie hydraulique à disposition	kWh/an	670'000
Type de turbine		Pelton à axe vertical
Chute nette de dimensionnement	m	321
Vitesse de rotation	t/min	1'500
Nombre d'injecteurs		1
Diamètre externe de roue		559
Diamètre du bâti	mm	1'350
Diamètre d'injection, D1	mm	487
Largeur d'auget, B2	mm	68
Nombre d'augets		25
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	101
Puissance électrique	kW	93
Production électrique	kWh/an	543'00
Production électrique en incluant 5 jours d'arrêt	kWh/an	536'000
Rendement global de l'installation	%	80
Production électrique en hiver	kWh/an	167'000
Production électrique en été	kWh/an	369'000

Tableau 8. Principales caractéristiques techniques de la variante retenue



Variante retenue		A
Investissement	CHF	828'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	5'000
Production annuelle	MWhe/an	536
Tarif de vente	cts/kWh	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	80'000
Taux d'intérêt	%	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.4
Annuité	CHF/an	53'000
Bénéfice annuel	CHF/an	22'000
Prix de revient	cts/kWh	10.8

Tableau 9. Calculs économiques pour la variante retenue

Description technique de la variante retenue

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE

La régulation de la turbine sera asservie à la mesure de niveau amont effectuée dans le réservoir de Loya. Le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le débit disponible est inférieur au débit minimum de fonctionnement de la turbine (3.5 l/s), celle-ci est à l'arrêt.
- Tant que le débit disponible est compris entre les débits minimum et maximum de la turbine, toute l'eau passe par l'installation hydro-électrique.
- 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 Vaye-Planaz.

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 Vaye-Planaz.

TURBINE

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

La roue est 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 à l'emballlement, ce déflecteur dévie le jet de la roue, tandis que l'injecteur est lentement fermé pour éviter un coup de bâlier 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 100, PN 64, 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 64, laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite,
- une vanne manuelle de type sphérique en DN 50, PN 64 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 au niveau du réservoir de Loya sera supérieur au débit d'équipement de la turbine, afin de faire transiter l'entier de l'eau disponible au réservoir de Vaye-Planaz.

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 Vaye-Planaz devra être étudiée dans le projet d'exécution.

Se reporter aux annexes pour plus de détails sur le by-pass (descriptif et plan d'implantation du local de turbinage).

ALTERNATEUR

Variante		A
Type		asynchrone
Fréquence	Hz	50
Tension triphasée aux bornes	V	400
Vitesse nominale	min ⁻¹	1500
Puissance électrique	kW	93
Cos φ		0.90
Puissance apparente	kVA	103

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 la commune de Grône en 16 kV. Un transformateur 400 V / 16000 V devra être installé dans la centrale, et une ligne en 16 kV sur 200 mètres devra être posée.

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 φ, 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 Vaye-Planaz, actuellement enterré. Un système d'entonnoir sera installé sous la turbine de manière à déverser dans la cuve alimentant le réseau de distribution de Grône.

Le by-pass devra être intégré à l'aménagement, de manière à ce qu'il alimente également la cuve de Grône. Il est à noter que cette intégration devra être approfondie dans le projet d'exécution, face notamment aux dimensions de la cuve.

Se reporter pour plus de détails au plan d'implantation du local de turbinage fourni en annexe.



Conclusions

- La solution retenue pour le turbinage de l'eau potable entre les réservoirs de Loyer et de Vaye-Planaz correspond à un turbogroupe, d'une puissance électrique de 93 kW, équipé d'une turbine à un injecteur, assurant une production électrique de 536'000 kWh/an, selon un prix de revient de 10.8 cts/kWh.
- Cette étude confirme les premiers résultats de l'analyse sommaire. Il s'avère que ce turbinage de l'eau potable est rentable, notamment grâce au fait que la conduite en place n'a pas à être changée. En effet, celle-ci, en bon état, présente un diamètre suffisant pour assurer un rendement similaire à ceux des différents composants du turbogroupe.
- Cette étude sera suivie de celle du turbinage entre la chambre de Bisse-Vieux et le réservoir de Loyer.

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 de la commune de Grône au réservoir de Vaye-Planaz sont les suivantes :

- Essais de tenue en pression de la conduite en place,
- Eventuels essais de perte de charge dans la conduite,
- Etablissement du projet d'exécution,
- Etablissement des cahiers des charges et lancement des consultations d'entreprises spécialisées, dans la fourniture de matériel hydro-électrique,
- Commande du matériel, installation et mise en service.

Annexes

Annexe A: Comparaison des turbines à axe horizontal et à axe vertical.

Annexe B: Devis pour le raccordement électrique établi par Sierre Energie SA.

Annexe C: Devis pour le génie civil établi par Ingénieurs et Géomètres ELZINGRE SA.

Annexe D: Croquis d'implantation de la turbine à 1 injecteur, variante A.

Annexe E: Principe du dissipateur de Carnot.

Annexe F: Plan de situation de la centrale.

Annexe G: Plan d'implantation du local de turbinage.

Annexe H: Plan de la station transformatrice.



Comparaison entre petites turbines Pelton à axe horizontal et axe vertical

Sujet	Axe vertical	Axe horizontal
Assemblage alternateur turbine	<p>L'alternateur repose sur le bâti de la turbine. Il n'y a pas de plaque de base et la roue est toujours en porte à faux sur l'arbre de l'alternateur.</p> <p>Tous problèmes d'alignement roue-injecteur sont évités.</p> <p>L'ensemble turbo-alternateur monté à blanc en atelier peut généralement être monté sur site tel quel.</p>	<p>L'alternateur et la turbine doivent obligatoirement reposer sur un bâti (ou une plaque de base) rigide. Il s'agit là d'un élément supplémentaire nécessitant des pièces d'assemblage supplémentaires.</p> <p>Cette conception présente des risques de désalignement au moment du bétonnage, problème hélas souvent constaté.</p> <p>Suivant la conception retenue, la turbine possède ses propres paliers, ce qui a également pour effet de compliquer l'alignement et de multiplier les pièces d'usure.</p>
Ecoulements dans le bâti	<p>L'eau s'échappant des augets s'écoule naturellement vers le bas pour le demi auget inférieur. Pour le demi auget supérieur, le renvoi circulaire et central oriente l'écoulement en périphérie du bâti de telle sorte que tout risque de rejaillissement sur la roue ou les jets peut être écarté.</p>	<p>Le risque de rejaillissement sur la roue et sur les jets est élevé, surtout sur les turbines à deux injecteurs ou le prolongement de la trajectoire des jets est convergente.</p> <p>Plusieurs centrales hydrauliques Pelton à axe horizontal démontrent malheureusement cette difficulté.</p> <p>Le phénomène de rejaillissement est très difficile à prévoir et compliqué à résoudre.</p> <p>Le renvoi d'eau est de géométrie compliquée.</p> <p>Ceci est d'autant plus vrai pour les petites turbines où l'on est appelé à simplifier les formes de bâti.</p>
Effort radial sur la roue	<p>Pour les turbines à nombre de jets pair, l'effort sur la roue est annulé lorsque les injecteurs en fonction se font face. C'est le cas pour une turbine à deux injecteurs.</p>	<p>L'effort radial sur la roue n'est jamais nul. Dans le cas d'un fonctionnement à deux injecteurs, les deux composantes s'additionnent géométriquement.</p>
Joint d'arbre	<p>Le joint d'arbre est très simplifié (anneau centrifuge).</p>	<p>Le joint d'arbre nécessite d'avoir une chambre avec décharge.</p>
Etanchéité du bâti	<p>Nombre de joints limité.</p>	<p>Nombre de joints élevé (calotte, coupe du bâti par l'axe)</p>
Porte à faux de la roue	<p>De manière générale, le porte à faux est réduit.</p>	<p>De manière générale, le porte à faux (dans les solutions sans paliers turbine) est important.</p>

Visite périodique de l'état de la machine	L'inspection périodique de la roue, des injecteurs et des déflecteurs peut s'effectuer en un seul coup d'œil, aucun élément n'en cachant un autre. (visite par-dessous)	L'inspection périodique de la roue, des injecteurs et des déflecteurs nécessite un démontage du capot pour accéder à l'injecteur supérieur et une visite par-dessous pour accéder à l'injecteur inférieur, la roue les cachant à tour de rôle suivant le point de vue.
Pertes par ventilation de la roue	Turbine à un injecteur : pertes plus élevées que dans une variante à axe horizontal. Turbine à deux injecteurs : Pertes comparables.	Turbine à un injecteur : pertes moins élevées que dans une variante à axe vertical. Turbine à deux injecteurs : Pertes comparables.
Déflexion	Aucune sollicitation mécanique due à l'interaction entre les jets en cas de déflexion.	Sollicitations mécaniques importantes dues à l'action du jet supérieur sur l'injecteur inférieur en cas de déflexion.

ADRESSE DE FACTURATION	DEVIS N° 4163	CLASSE : 4086	SIESA
MHyLab MINI-HYDRAULICS LABORATORY CH-1354 MONTCHERAND	AUT.DEVIS Zc	LOCALISATION	
	DATE 07.02.07	RESEAU MT 16 KV GRONE	
REMARQUES	Dossier N°	DESIGNATION DU TRAVAIL	
	PLAN N°.	ALIMENTATION MOYENNE TENSION DE LA NOUVELLE STATION RESERVOIR DE VAYE PLANAZ.	

MATERIEL	22'546.25
TRANSIT GENIE CIVIL	36'000.00
TRANSIT ACHAT	
TRANSIT DIVERS	1'263.00
MAIN D'OEUVRE	10'170.00
TOTAL DEVIS	69'979.25

DESIGNATION DU MATERIEL	NOMBRE	U	PRIX UNIT.	PRIX TOTAL	NO SIESA
Arrêt de ligne avec interrupteur Alpha complet NH12A	1	p	7'475.00	7'475.00	
Boite d'extrémité ext. 20kV SIGMAFORM SHAK 25-95 mm2	3	p	126.50	379.50	
Connecteur en T 400A, Type K400TE	3	p	437.00	1'311.00	
Interface 400/250A Type K400 RPTA	3	p	299.00	897.00	
Parafoudre Elastimold embrochable 156 SA-24	3	p	960.25	2'880.75	
Câble XKDT-YT 3 x 50 mm2 Cu	200	m	39.10	7'820.00	
Tube PE Ø120/132 mm	200	m	7.75	1'550.00	
Pièces spéciales,ficelle,bde signal.et divers 15%	233	fr		233.00	
TOTAL MATERIEL		fr		22'546.25	
Fouille dans bitume 1xØ120/132	200	m	180.00	36'000.00	
TRANSIT GENIE CIVIL		fr		36'000.00	
Inspectorat	1'263.19	fr		1'263.00	
TRANSIT DIVERS		fr		1'263.00	
SOUS TOTAL		fr		59'809.25	
Main d'oeuvre SIESA	135	h	68.00	9'180.00	
Unimog	9	h	110.00	990.00	
TOTAL MAIN D'OEUVRE SIESA	135	h		10'170.00	Offre 2000
COUT TOTAL DU DEVIS HAUTE TENSION		fr		69'979.25	61'422.-

TOTAL : 69'979.- + 43'297.- = 113'276.- TOTAL 2007

ADRESSE DE FACTURATION	DEVIS N° 4164	CLASSE : 4086	SIESA
MHyLab MINI-HYDRAULICS LABORATORY CH-1354 MONTCHERAND	AUT.DEVIS Zc	LOCALISATION	
	DATE 07.02.07	STATION MT / BT GRONE	
REMARQUES	Dossier N°	DESIGNATION DU TRAVAIL	
	PLAN N°.	NOUVELLE STATION 16KV/BT POUR LE RACCORDEMENT, 110KW DU RESERVOIR DE VAYE PLANAZ.	
		MATERIEL	30'082.05
		TRANSIT GENIE CIVIL	
		TRANSIT ACHAT	
		TRANSIT DIVERS	836.00
		MAIN D'OEUVRE	9'928.00
		TOTAL DEVIS	40'846.05

DESIGNATION DU MATERIEL	NOMBRE	U	PRIX UNIT.	PRIX TOTAL	NO SIESA
Cartouches fusibles HT "FUSARC" M&Gerin 16A	6	p	109.25	655.50	
Câble isolé GKT 1x50mm2 Cu	15	m	11.25	168.75	
Bride en matière synthétique type KT 64	6	p	20.70	124.20	
Transformateur 16000/380-220V 160kVA	1	p	13'800.00	13'800.00	
Câble BT type TT 1x 95mm2 Cu	42	m	17.25	724.50	
Réglette C/C SL DIN00 160A + adaptateur et vis de fixation	3	p	166.75	500.25	
Réglette C/C SL DIN2 400A + vis de fixation	1	p	258.75	258.75	
Cartouche fusible BT à HPC DIN00 de 6A à 160A	6	p	6.90	41.40	
Cartouche fusible BT à HPC DIN2 de 100A à 400A	6	p	14.95	89.70	
Chassis pour grille de distribution BT	1	p	667.00	667.00	
Tableau de comptage	1	p	1'495.00	1'495.00	
Cellule sect.à fusibles ext. Ormaz. CGM 24P-E	1	p	5'405.00	5'405.00	
Plus-value pour cellule avec sortie sur le côté	1	p	598.00	598.00	
Support cellules	1	p	690.00	690.00	
Transport franco Sierre	1	x	575.00	575.00	
Connecteur débrochable Elastimold 200A 50mm2 équ.	6	p	126.50	759.00	
Support transfo fer HEB 100 selon plan SIESA	5	m	172.50	862.50	
Plancher bois ép.5cm	3	m2	172.50	517.50	
Terre générale + neutre	1	x	1'150.00	1'150.00	
Divers matériel	1000	fr		1'000.00	
TOTAL MATERIEL		fr		30082.05	
Inspectorat	836	fr		836.00	
TRANSIT DIVERS		fr		836.00	
SOUS TOTAL		fr		30918.05	
Main d'oeuvre SIESA	130	h	68.00	8'840.00	
Divers main d'oeuvre	16	h	68.00	1'088.00	
TOTAL MAIN D'OEUVRES SIESA	146	h		9928.00	
TOTAL INTERMEDIAIRE		fr		40846.05	
Divers et imprévus 6%	2'451	fr		2'451.----	
COUT TOTAL DU DEVIS STATION TRANSFO		fr		43297.05	

Offre 2004
39' 256,-

Art.	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire	Somme
	<u>A. TERRASSEMENT ET FOUILLES</u>				
A1	Fouilles en puits dans sols exploitables à la pelle et à la pioche, compris sortie des terres et manutention, transport, chargement et évacuation à la décharge publique, compris évacuation des eaux de pluie et de ruissellement, non compris boisage, ni étayage, non compris évacuation des eaux souterraines, Profondeur -3.00 m Petite machine + main	m3	35	150.00	5250.00
A3	P.V. sur art. A1 pour fouilles en puits, avec démolition de murs, fondations, ou des dallages existantes a) en béton	m3	15	180.00	2700.00
A6	Bétonnage dans fouilles en sousœuvre	m3	15	250.00	3750.00
A8	Boisage en cadre pour fouilles en puits, compris plateaux verticaux jointifs, cadres en bois rond diam. 22-28 cm, espacés de 1.00 m. en moyenne, poteaux, étrésillons, coins, loches grappes, pertes et déchets, location pour la durée des travaux (toisé périmètre des puits)	m2	45	30.00	1350.00
A9	Coffrage dans fouilles en sousœuvre	m2	25	45.00	1125.00
A15	Nettoyage et piquage du dessous de la fondation du mur existant avant bétonnage	m2	25	30.00	750.00
A8					
	<u>A. TOTAL TERRASSEMENT ET FOUILLES</u>				9'675.00

Art.	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire	Somme
	<u>B. BETON ET COFFRAGE</u>				
B1	Lit de propreté en béton maigre, dosage CP 150 kg/m3, métré surf. des fondations B = 150/150	m3	40	50.00	2000.00
B2	Béton de parois armé, dosage CP 200 kg/m3, B 25/15	m3	40	250.00	10000.00
B3	Béton de dalle armé, dosage CP 300 kg/m3 B 35/25 Fcw min 30 N/mm2	m3	25	250.00	6250.00
B4	Béton pour petits ouvrage, muret, dosage CP 300 kg/m3 B 35/25 Fcw min 30 N/mm2	m3	4	270.00	1080.00
B5	Coffrage pour paois et murs	m2	220	50.00	11000.00
B6	Coffrage pour dalle	m2	70	50.00	3500.00
B7	Coffrage pour bords de semelles de fondation et de radier	m2	120	40.00	4800.00
D7	Coffrage pour escalier	m2	35	50.00	1750.00
B8	Fourniture et pose des aciers d'armature S500, payés delon facture de marchand de fer, comprenant les plue-values de façonnage, de position de coupe et liste de moins de 2 t, plus majoration de 12 % pour tenir compte des frais généraux et bénéfices.				
	Prix moyen	kg	6500	3.00	19500.00
D9	Etanchéité toiture	m2	300	60.00	18000.00
	<u>B. TOTAL BETON ET COFFRAGE</u>				77'880.00

Art.	Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire	Somme
	<u>C. DIVERS</u>				
C1	Porte et fenêtre	G	en bloc		9000.00
C2	Escalier métallique sur façade	G	en bloc		15000.00
E3	Appareillage comprenant : vannes, raccordement à la conduite existante,T , coudes . FD diamètre 150 mm	G	en bloc		12000.00
E4	Station transformatrice Modern compact préfabiquée a) hauteur 2.20; largeur 2.30; profondeur 3.80	G	en bloc		30000.00
E5	Honoraires , divers et imprévus environ 15 %				23000.00
	<u>C. TOTAL DIVERS</u>				89'000.00

Ingénieurs et Géomètres ELZINGRE S.A.
3966 Chalais

Be/ 9.02.2007

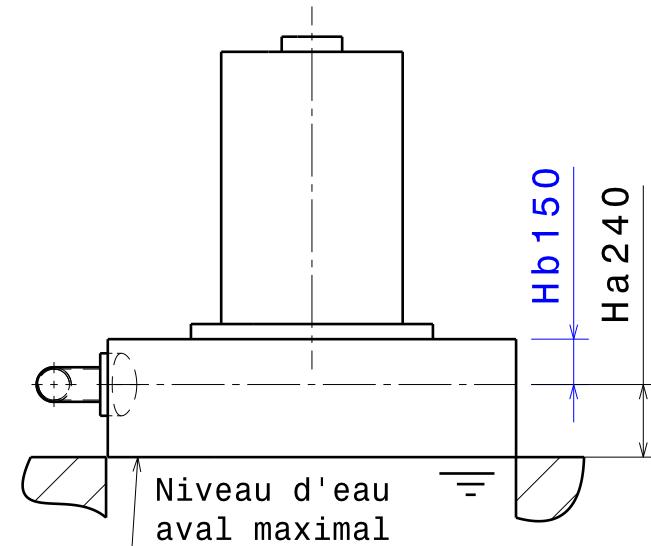
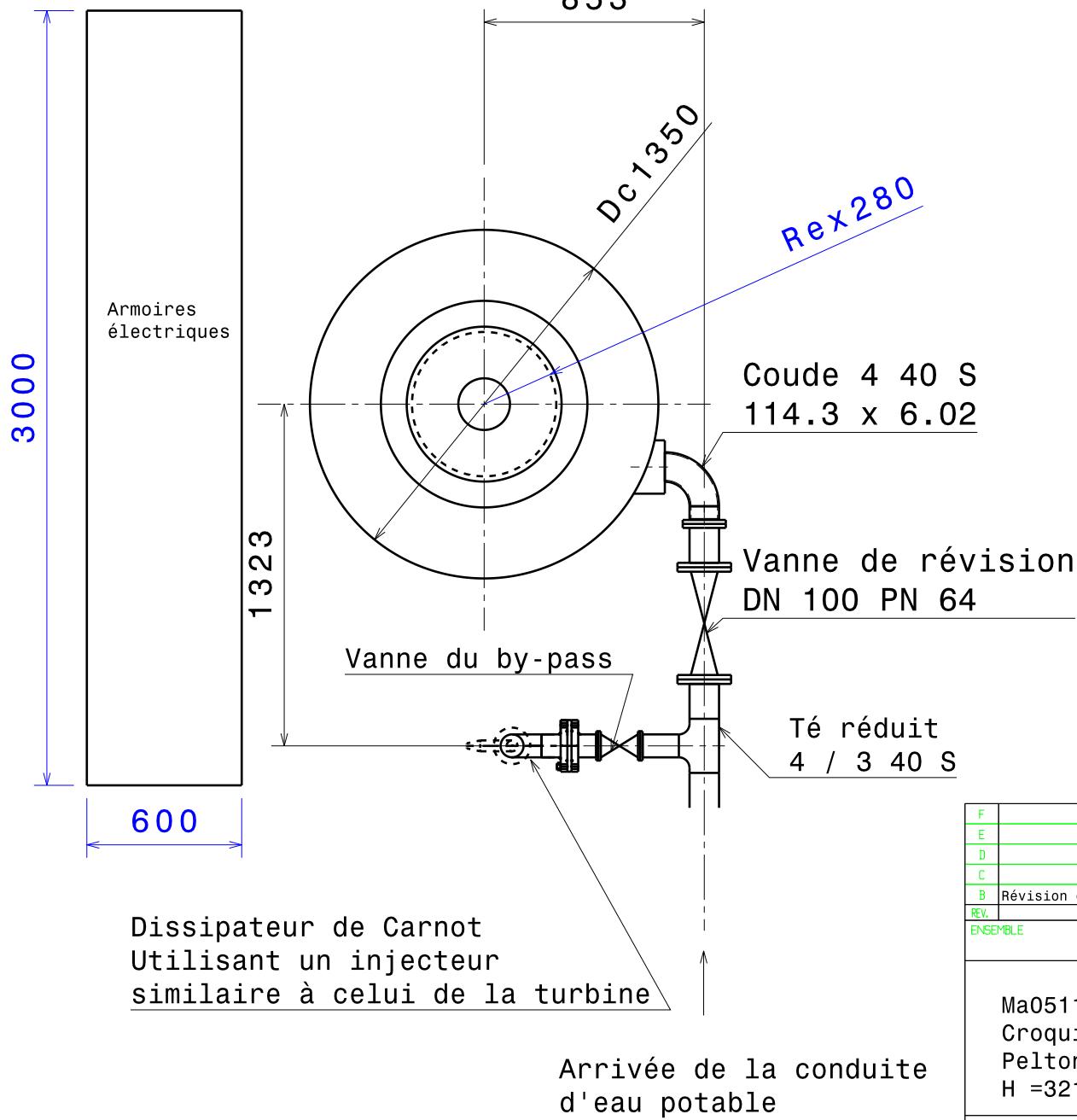
This document is the property of MHyLab and shall not be copied or disclosed to any third party without MHyLab written agreement.
Ce document est la propriété de MHyLab et ne doit pas être copié ou transmis à un tiers sans l'accord écrit de MHyLab.

1 Execution

Nbr	Poids Unit	Poids total/Exec	Code	Nbr tot

Dénomination/Caractéristiques

Pos	Matiere	Observations



F	E	D	C	B	REV.	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	CONTR.	APPR.
				Révision de la chute de dimensionnement						

ENSEMBLE POIDS ECHELLES 1:25

DESSINE A. Choulot 07.02.07
CONTROLE V. Denis 09.02.07
APPROUVE V. Denis 09.02.07

Ma0511 Grône Variante A
Croquis d'encombrement
Pelton 1 injecteur, 1500 t/min
 $H = 321 \text{ m}$, $Q_{\max} = 35 \text{ l/s}$

MHyLab

Laboratoire de Mini-Hydraulique
1354 MONTCHERAND SUISSE

MP0511-0001-4 REV. B

Dissipateur de Carnot en by-pass

Principe de fonctionnement

Le dissipateur de Carnot employé en by-pass est constitué des éléments suivants :

1. Vanne de garde du dissipateur
2. Injecteur Pelton asservi au niveau amont
3. Tube dissipateur rempli d'eau
4. Tuyère de décharge dans le bassin

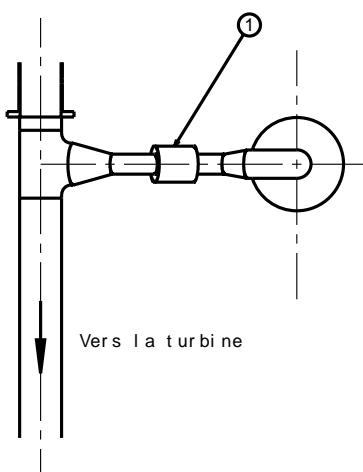
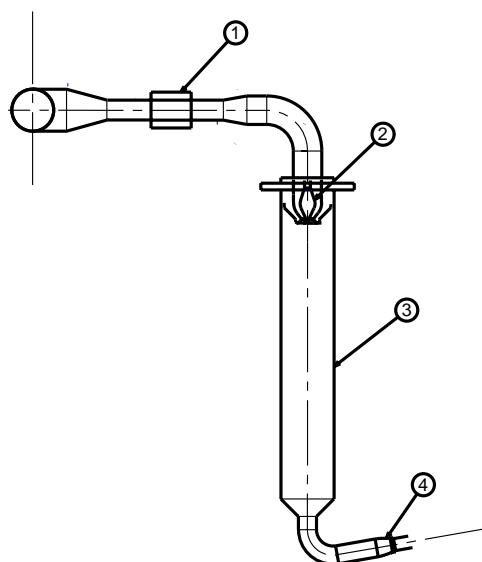


Schéma de principe
Dissipateur de Carnot



Le by-pass est muni d'une vanne de garde manuelle (1) utilisée uniquement en cas de révision. Il est basé sur le principe d'un injecteur de turbine Pelton débitant dans un dissipateur de Carnot. L'injecteur est asservi au même signal de niveau amont que la turbine.

Le principe de fonctionnement du dissipateur est le suivant : un injecteur débite (2) dans un tube de section importante (relativement au diamètre du jet) rempli d'eau (3). Ce tube est complété par un second tube de diamètre plus petit au bout duquel se trouve une tuyère (4) qui débite dans le réservoir. L'injecteur et cette tuyère réalisent deux « détentes » successives.

Lors d'un déclenchement de l'installation (arrêt d'urgence), les déflecteurs de la turbine Pelton entrent en action et dévient le jet, permettant aux injecteurs de se fermer lentement pour éviter un coup de bâlier dans la conduite, tout en empêchant la turbine de partir à l'emballement.

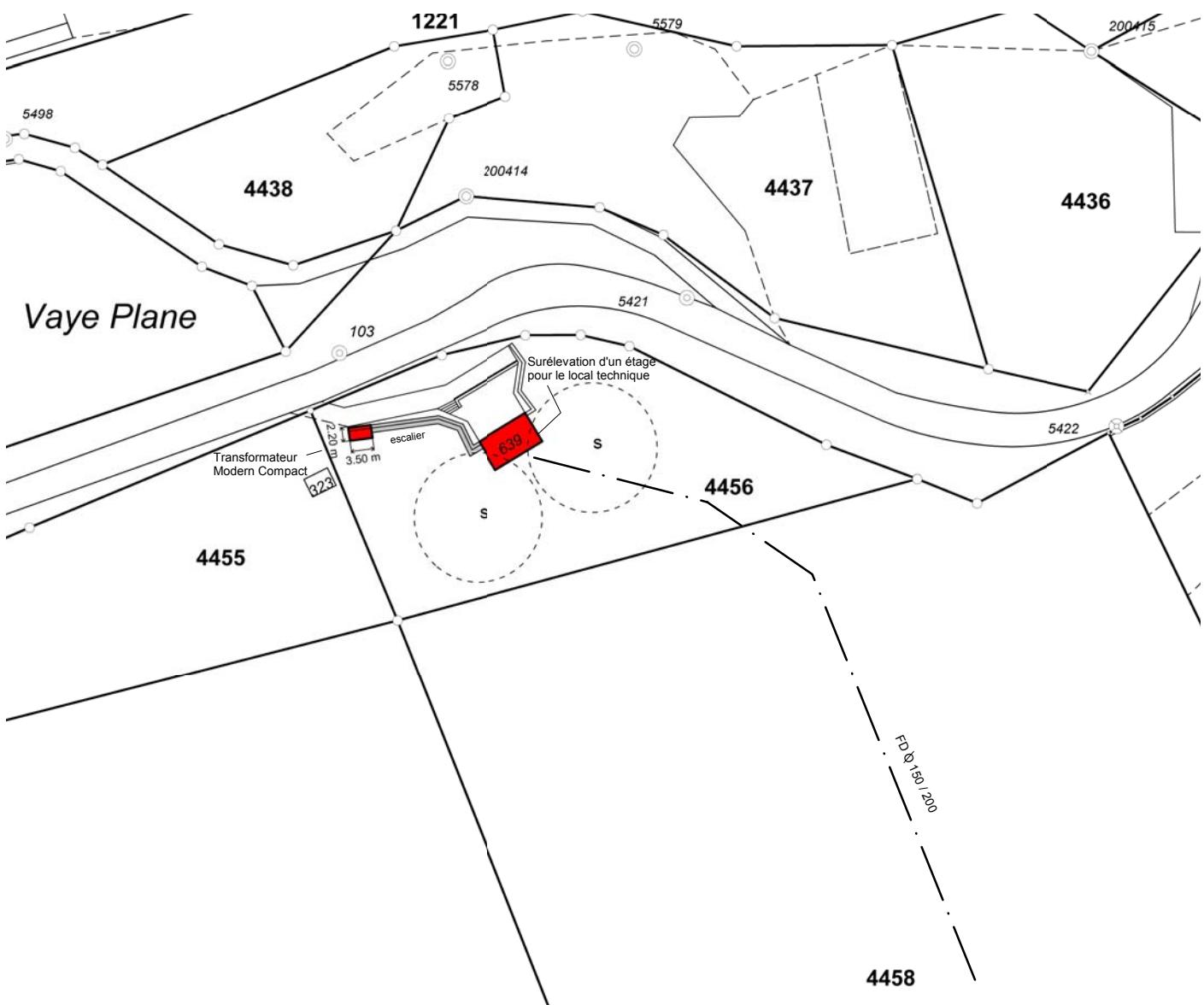
L'injecteur du dissipateur de Carnot s'ouvre en parallèle de manière à maintenir le niveau de la chambre de mise en charge constant et à réguler le débit.

Lors du redémarrage de la turbine, la logique de commande s'inverse, de manière à ce que ce soit celle-ci qui reprenne la régulation de débit.

Situation

Vaye Plane

Parcelle N° 4456 Folio 20

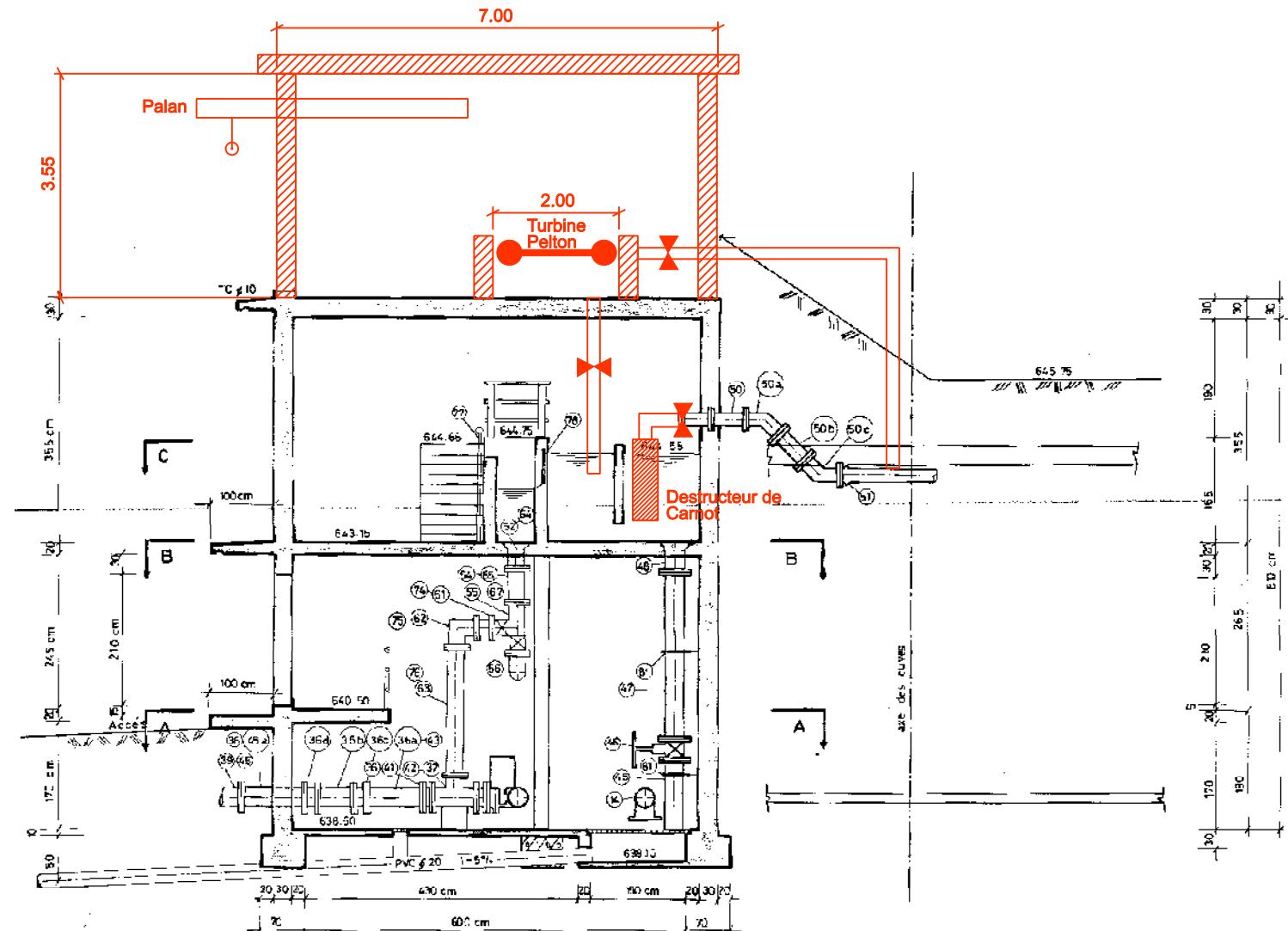


Mini-centrale de Grône

Vaye-Planaz

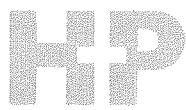
1:100

08.02.2007



Ingénieurs & Géomètres
Elzingre SA
Ingénieurs dipl. EPFZ/SIA
Géomètre officiel
Place du Cori 1
3966 Chalais
Tél. + Fax 027/458.14.50
Email: elzingre@netplus.ch

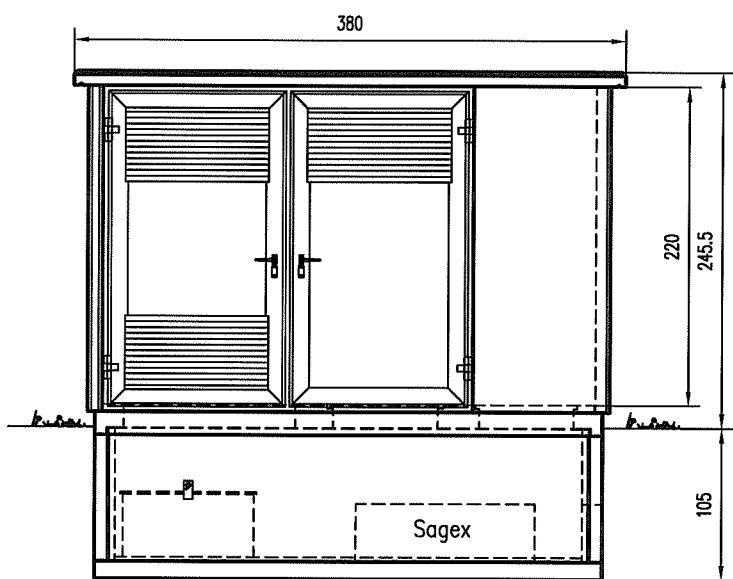




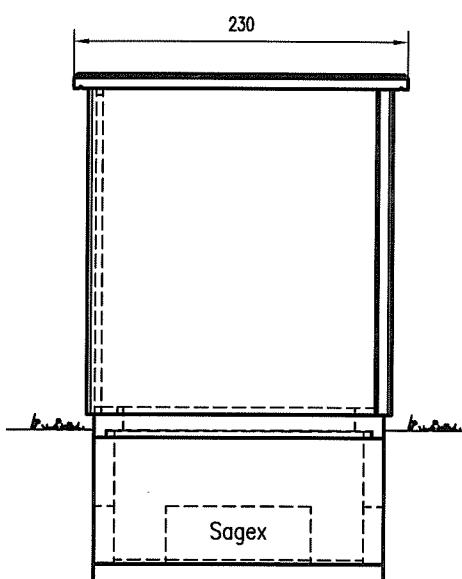
Huser+Peyer AG Energietechnik
CH-8370 Busswil Tel. 071-929 58 58 Fax. 071-929 58 59
www.huser-peyer.com info@huser-peyer.com

Modern Compact innenbedienbar

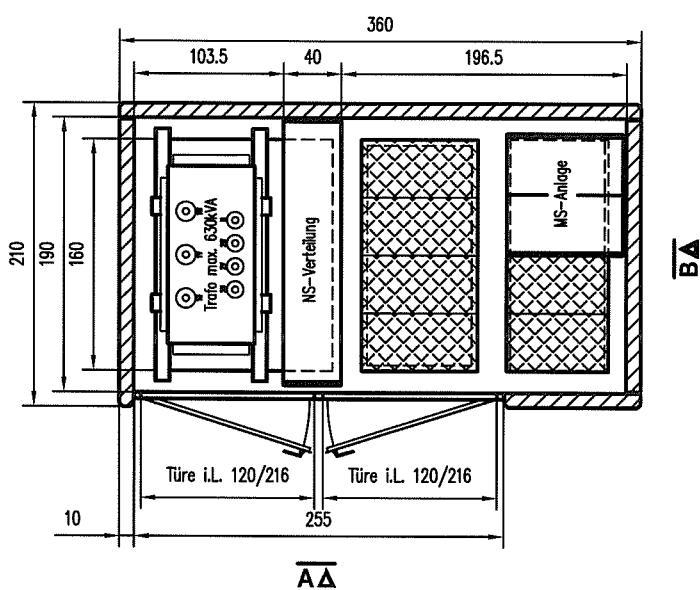
Ansicht A / Vue A

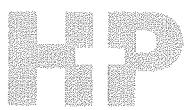


Ansicht B / Vue B



Grundriss / Plan





Huser+Peyer AG Energietechnik
CH-8370 Busswil Tel. 071-929 58 58 Fax. 071-929 58 59
www.huser-peyer.com info@huser-peyer.com

Modern Compact innenbedienbar

