



TURBINAGE DES EAUX D'IRRIGATION DE LA COMMUNE DE VENTHÔNE

ETUDE D'AVANT-PROJET

Rapport final

Auteurs

MHyLab

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



Date: 27.11.2006

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: 101726

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	7
Hydrologie	7
Mesure des débits	7
Année hydrologique moyenne	10
Débits turbinables	11
Analyse du réseau d'irrigation et débit d'équipement	12
Définition des tronçons	12
Calcul de perte de charge	13
Définition des variantes de conduite	14
Débits transitant, débits consommés et débits turbinables	14
Dimensionnement préliminaire de la petite centrale	15
Calcul de la production	16
Energie hydraulique brute du site	16
Production électrique	16
Etude économique comparative des variantes	19
Description technique de la variante retenue	22
Conditions de fonctionnement	22
Turbine	22
Vanne	23
Alternateur	23
Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	23
Contrôle commande	23
Raccordement	24
Sécurité	25
Remarques et recommandations	25
Suite des travaux	25
Annexes	25



Résumé

Le turbinage des eaux d'irrigation de la commune de Venthône est un exemple concret d'intégration à l'infrastructure. En effet, vu la position du local (en fin de réseau) et le fait que l'irrigation soit prioritaire sur le turbinage, la turbine ne bénéficiera que du débit restant. De plus, le réseau étant dans un vignoble, de nombreux tronçons ne peuvent être remplacés.

Ainsi, face à un réseau peu flexible pour le turbinage, la variante retenue correspond à un débit d'équipement de 154 l/s, selon une chute nette de 240 m, d'une puissance électrique de 298 kW, avec une production électrique de 1'080'000 kWh/an. Cette solution, entraînant le changement de près de 3 km de tronçons de conduite, est estimée à un prix de revient de 10.7 cts/kWh.



Introduction

Dans le cadre du plan annuel 2006 du programme petites centrales hydrauliques de SuisseEnergie, le laboratoire MHyLab a été mandaté par la commune de Venthône, en partenariat avec le consortium d'irrigation, propriétaire du réseau, et le distributeur d'électricité, Sierre Energie SA, pour effectuer une étude de faisabilité technico-économique du turbinage des eaux d'irrigation.

Il est à noter que ce projet a d'abord fait l'objet d'une étude préliminaire en 2004, effectuée par la HES SO (Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale).

Description générale du projet

Une visite du site a été effectuée le 2 juin 2006.

Le réseau d'irrigation de la commune de Venthône, principalement utilisé pour l'arrosage des vignes, datant de 1967, est alimenté par le bisse Neuf, le bisse Bénou et les torrents de la Mondèreche, de Raspille et de Signèse.

Ces eaux sont captées dans un réservoir situé à 885 m d'altitude, équipé d'un désableur.



Photo 1. Réservoir du réseau d'irrigation de la commune de Venthône (et désableur)

De ce réservoir part un réseau qui se sépare en trois branches principales:

- la branche est,
- la branche du milieu, ou de Muraz,
- la branche ouest ou de St-Ginier.

(Cf. Figure 7)



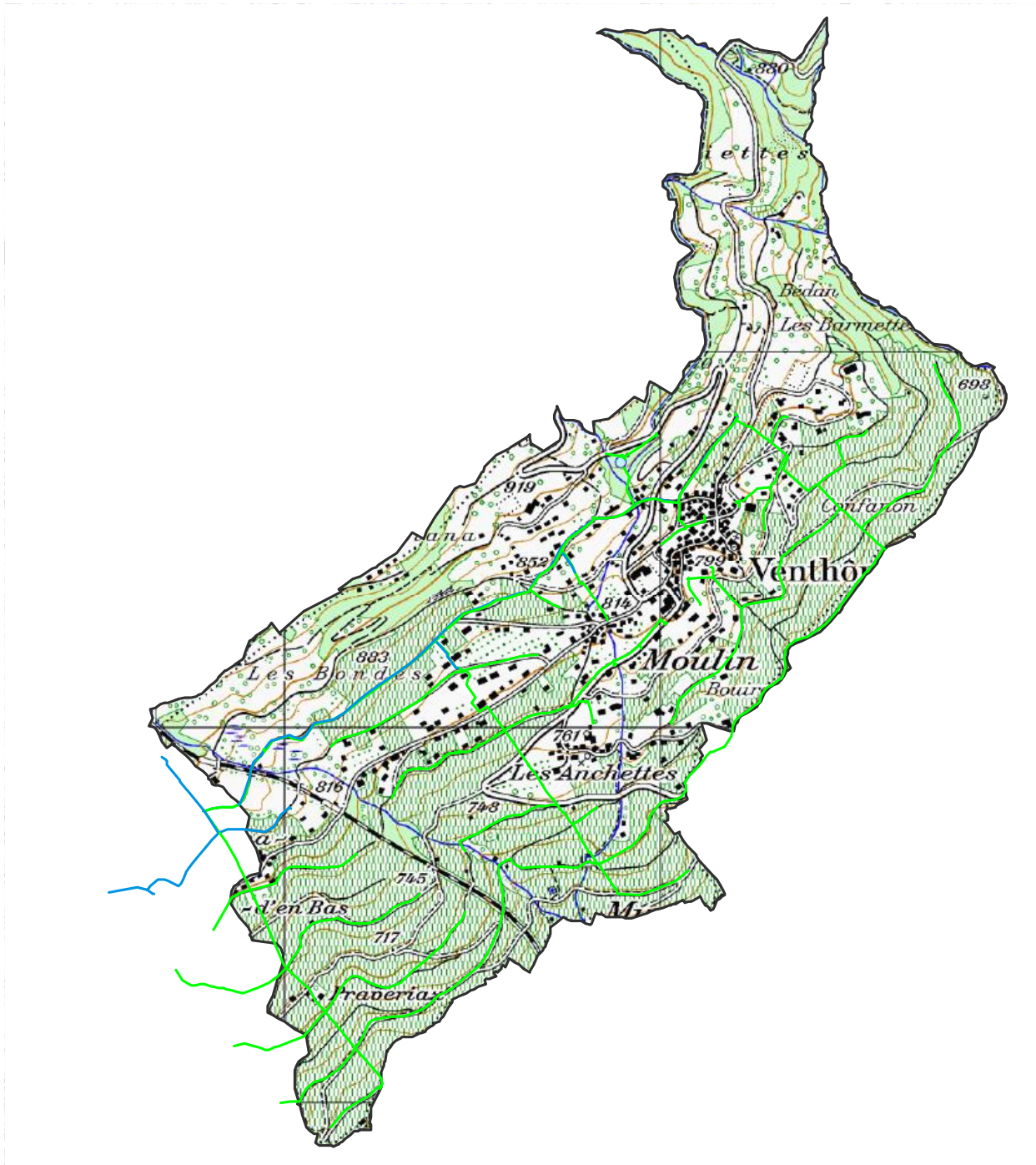


Figure 1. Carte nationale et réseau d'irrigation (en bleu et vert) de la commune de Venthône

L'emplacement de la future centrale est prévu du côté ouest du réseau, soit à St-Ginier (coordonnées 606090 / 126905) vu la proximité de la ligne haute tension, l'accessibilité du site et la proximité de la Bonne Eau présentant de bonnes capacités de réception des débits turbinés.





Photo 2. Emplacement de la future centrale de turbinage: à proximité de la Bonne Eau, de la ligne à haute tension et de la zone habitable de St-Ginier

L'étude sommaire prévoyait un emplacement à Muraz, qui se révèle être aujourd'hui une solution moins intéressante vu, notamment:

- les difficultés d'intervenir au niveau des conduites, celles-ci étant disposées dans le vignoble, généralement dans un sens différent de celui des cultures,
- la distance à la ligne haute tension.

Données de base

DÉNIVELLATION

La dénivellation est évaluée à partir des altitudes suivantes:

- Altitude du plan d'eau du réservoir : 885 m
- Altitude du plan d'eau aval (rivière): 618 m

La dénivellation est ainsi de 267 m.

HYDROLOGIE

Mesure des débits

Les débits sont calculés à partir de mesures de hauteur d'eau effectuées depuis août 2005 en plusieurs points au niveau du réservoir:

- au point haut du canal entre le désableur et le réservoir: $Q_{\text{désableur}}$ (cf. Photo 3),
- au point bas du canal entre le désableur et le réservoir: $Q_{\text{désableur}}$,
- au niveau du trop-plein du réservoir: $Q_{\text{tropplein_réservoir}}$ (cf. Photo 4),
- au niveau du trop plein du désableur: $Q_{\text{tropplein_désableur}}$ (cf. Photo 5).





Photo 3. Canal de sortie du désableur où sont effectuées les mesures de débits



Photo 4. Trop plein du réservoir où sont effectuées les mesures de débits



Photo 5. Trop plein du désableur où sont effectuées les mesures de débits

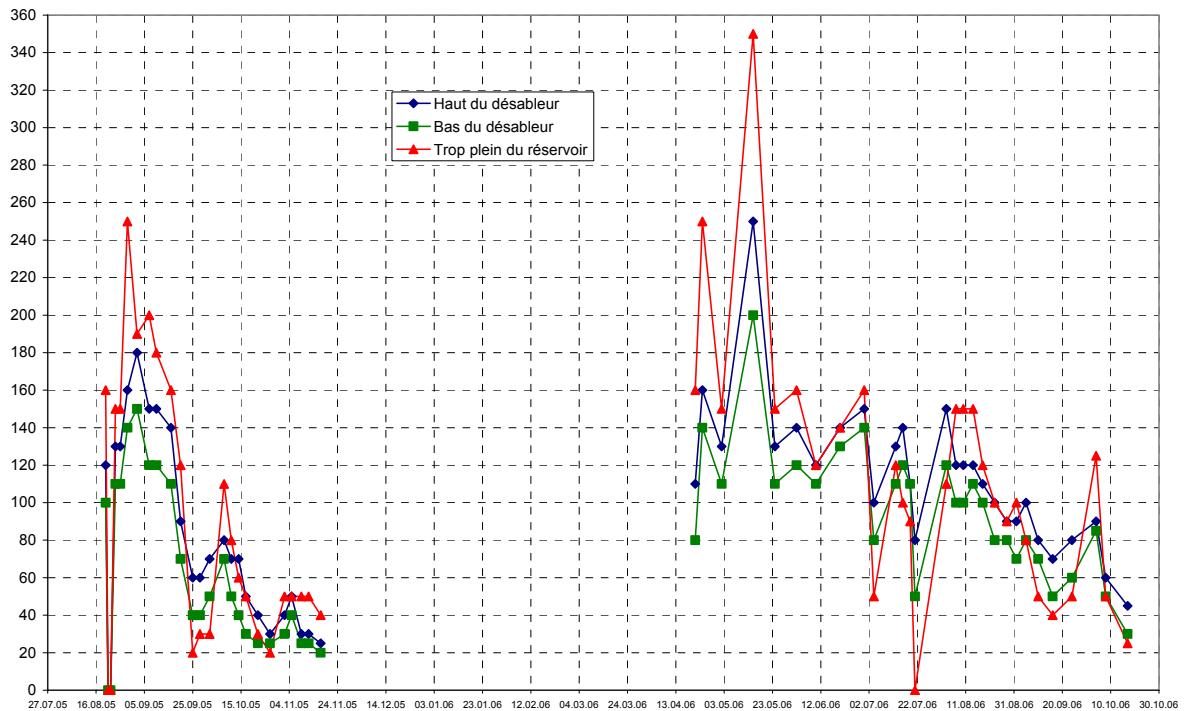


Figure 2. Relevés des hauteurs d'eau depuis août 2005 en 3 points différents

Les égalités suivantes peuvent être écrites:

$$Q_{\text{entrant}} = Q_{\text{désableur}} + Q_{\text{trop-plein_désableur}}$$

$$Q_{\text{désableur}} = Q_{\text{réseau}} + Q_{\text{trop-plein_réservoir}}$$

Avec:

- Q_{entrant} : le débit entrant dans le désableur [m³/s]
- $Q_{\text{désableur}}$: le débit quittant le désableur pour le réservoir [m³/s]
- $Q_{\text{trop-plein_désableur}}$: le trop-plein du désableur [m³/s]



- $Q_{\text{réseau}}$: le débit entrant dans le réseau d'irrigation, soit le débit consommé pour les besoins d'irrigation $[\text{m}^3/\text{s}]$
- $Q_{\text{trop-plein_réservoir}}$: le trop-plein du réservoir, soit le débit turbinable $[\text{m}^3/\text{s}]$

Seules les mesures de hauteur d'eau effectuées au niveau du haut du canal de sortie du désableur, emplacement qui présentent l'avantage d'avoir une surface plane en amont du point de mesure, s'avèrent être exploitables. Ainsi, les débits pris en compte dans la suite de l'étude seront légèrement inférieurs à ceux réellement disponibles, ne prenant pas en compte le trop-plein du désableur.

Sur la base des hauteurs d'eau, ont pu être déterminés les débits, $Q_{\text{désableur}}$, fonction de la largeur du canal entre le désableur et le réservoir, de la pente et du matériau, selon la caractéristique présentée dans la Figure 3.

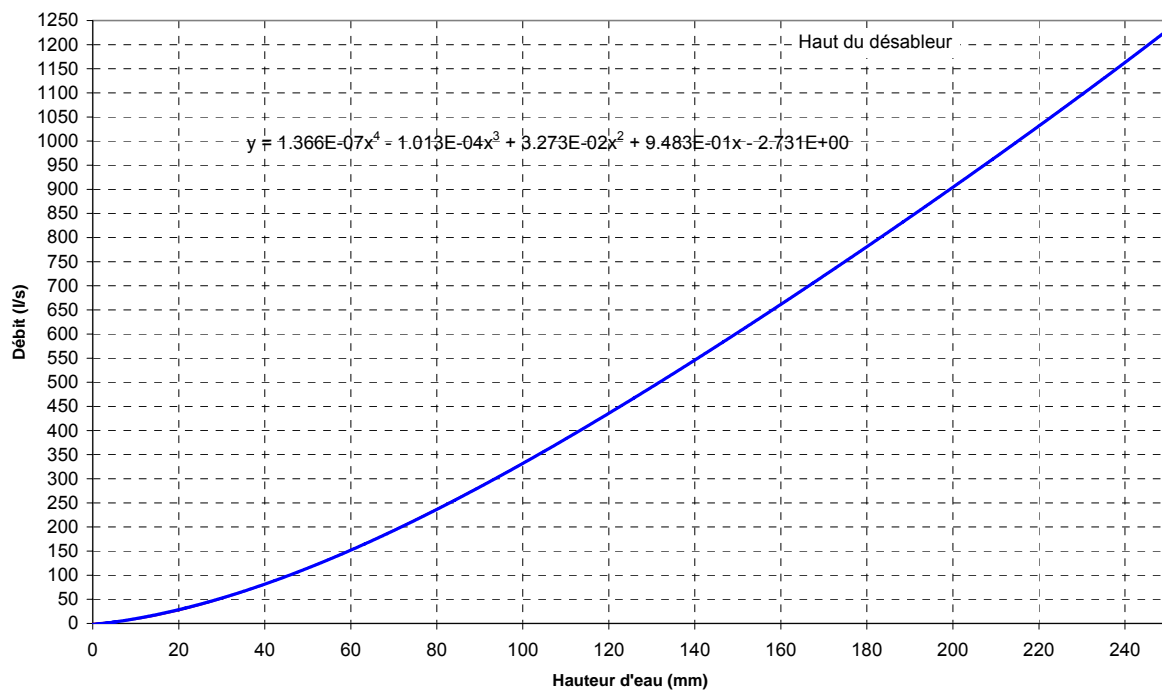


Figure 3. Courbe caractéristique donnant le débit, $Q_{\text{désableur}}$, en fonction de la hauteur d'eau mesurée au niveau haut du canal de sortie du désableur

La Figure 4 donne les débits chronologiques issus de la campagne de mesures.



L'analyse de l'évolution des débits moyens mensuels pour ces 3 stations pour les années 2005 et 2006 ne permet pas de déterminer une tendance. Ceci s'explique principalement par la régulation des débits du Rhône.

Ainsi, il est choisi de baser la suite de l'étude sur les mesures au point haut du canal entre le désa-bleur et le réservoir effectuées en 2005 et 2006. Une année complète est donc reconstituée à partir des mesures d'avril à octobre 2006, de celles de novembre 2005, et d'une estimation pour mars (cf. Figure 5).

Il est à noter que les facteurs de corrélation obtenus avec les données disponibles avaient tendance à revoir les débits mesurés à la hausse.

Débits turbinables

Le débit turbinable est limité par les approvisionnements en eau du réservoir et par la **consommation des habitants de Venthône estimée à 15 % du débit disponible, pendant toute la période de turbinage**, selon les indications du Mandant. Sur cette base, la consommation moyenne annuelle est de 40 l/s environ, avec un **maximum de 80 l/s**.

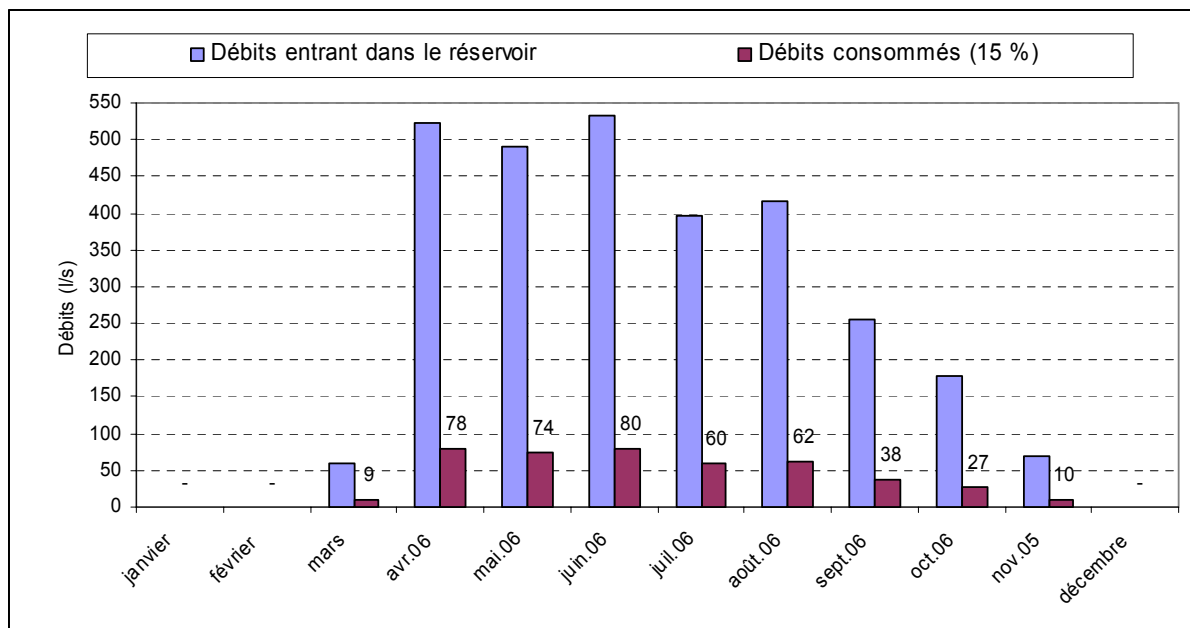


Figure 5. Débits entrant dans le réservoir et débits consommés, reconstitution d'une année complète



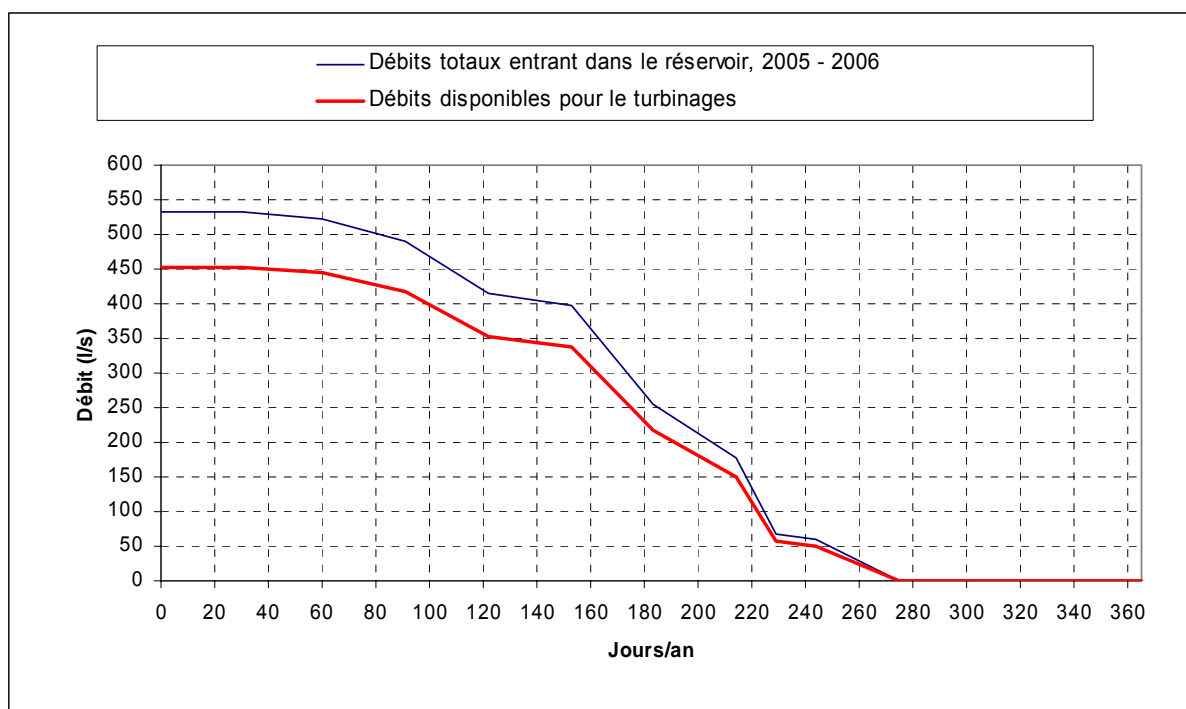


Figure 6. Courbe des débits classés entrant dans le réservoir et des débits disponibles pour le turbinage en prenant en compte les besoins pour l'irrigation

L'analyse de la courbe des débits classés montre que le **débit d'équipement maximal pour le site est de l'ordre des 450 l/s**, atteint ou dépassé environ 40 jours dans l'année, vu la période de turbinage de 244 jours par an.

Analyse du réseau d'irrigation et débit d'équipement

Le turbinage ne pouvant se faire qu'au maximum 8 dans l'année, il est essentiel, à ce stade de l'étude, pour des questions de rentabilité du projet, d'utiliser au mieux les conduites en place. Ainsi, il convient d'analyser le réseau en vue de connaître ses capacités en terme de débits, et de mettre en évidence les tronçons les plus judicieux à remplacer.

DÉFINITION DES TRONÇONS

La principale contrainte du réseau est due à son emplacement dans le vignoble. Ainsi, le remplacement de certains tronçons n'est que difficilement envisageable, car il entraînerait l'arrachage de ceps, source de compensation financière et d'éventuels conflits. C'est le cas pour:

- les **tronçons du milieu ou de Muraz** (réf. 2 sur la Figure 7) entre 836 et 690 m d'altitude, dont le plus petit diamètre interne de conduite est de 150 mm,
- les **tronçons est** (réf. 3), entre 704 et 690 m d'altitude, dont le plus petit diamètre interne de conduite est de 80 mm.

Le tronçon 4, d'une longueur de 278 m, devra être posé entre le point B, rencontre du tronçon ouest de St Ginier (réf. 1) et le tronçon 2.3, et le futur local de turbinage, situé à proximité de la Bonne Eau.

Ce réseau peut être schématisé comme suit:



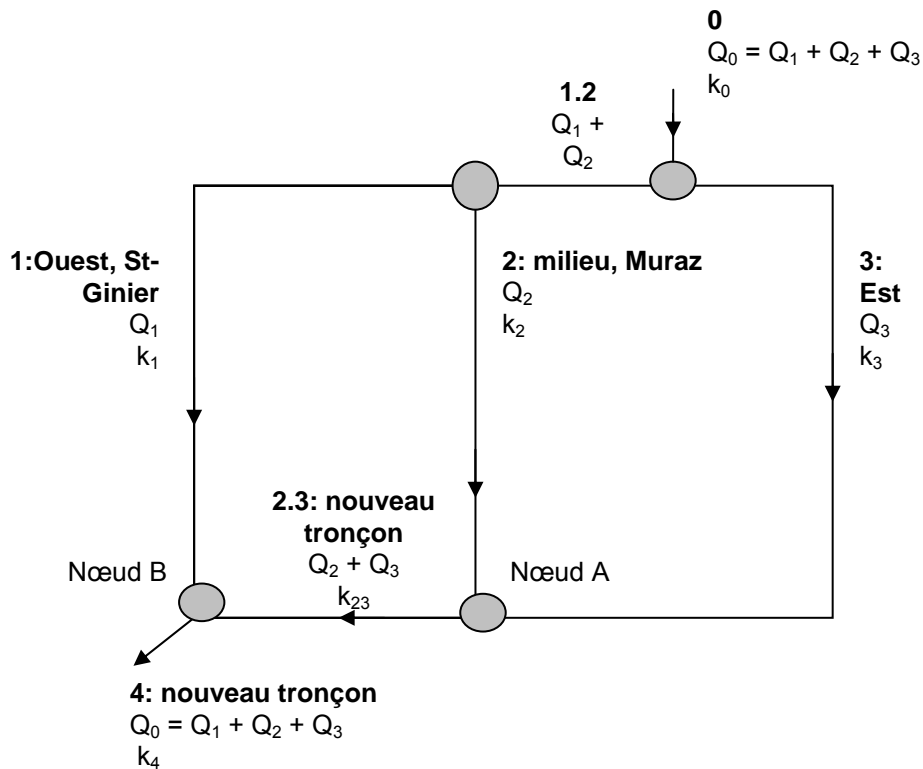


Figure 7. Schéma du réseau d'irrigation de la commune de Venthône

CACUL DE PERTE DE CHARGE

Les débits transitant dans chaque tronçon du réseau sont calculés grâce aux équations suivantes basées sur la formule de Colebrook, qui explicitent les équilibres des pressions ou perte de charge aux nœuds A et B:

$$H_r = K_{Hr} \cdot Q_t^2$$

avec: H_r = perte de charge [m]

K_{Hr} = coefficient de perte de charge [s^2/m^5]

Q_t = débit transitant [m^3/s]

Bilan au point A:

$$H_{r1.2} + H_{r2} = H_{r3} \quad [m]$$

Avec: $H_{rx,x}$: perte de charge dans le tronçon xx [m]

D'où: $K_{Hr1.2} \cdot Q_{1.2}^2 + K_{Hr2} \cdot Q_2^2 = K_{Hr3} \cdot Q_3^2 \quad [m]$

Bilan au point B:

$$H_{r1} = H_{r2} + H_{r2.3} \quad [m]$$

D'où: $K_{Hr1} \cdot Q_1^2 = K_{Hr2} \cdot Q_2^2 + K_{Hr2.3} \cdot Q_{2.3}^2 \quad [m]$

Les calculs de perte de charge se basent sur les diamètres internes des tronçons. Contrairement à l'étude sommaire et vu la difficulté de contrôler les diamètres internes réels des tronçons existants, les calculs sont effectués avec les diamètres indiqués comme nominaux sur les plans de construction (DN 300, 250, 200, 150, 100 ou 80).



De plus, la rugosité est estimée à 0.1 mm pour tous les tronçons, ce qui correspond à une conduite en acier en fonction depuis plusieurs années pour une eau non agressive. Le réseau datant d'une trentaine d'années, seule une campagne de mesure de perte de charge et une analyse vidéo permettront de valider cette hypothèse. En effet, il est difficile d'évaluer l'état des conduites actuelles, laissées hors eau en hiver.

Cette même rugosité est prise pour les calculs de perte de charge dans les nouveaux tronçons.

La fin du tronçon 3, correspondant aux diamètres les plus faibles, ne pouvant être remplacée entre les altitudes 690 et 704 m, il n'apparaît pas judicieux, à ce stade de l'étude, d'en changer le début aujourd'hui en DN 200 et 150.

De plus, à ce stade de l'étude, les tronçons 0 et 1.2, étant en DN 300, n'ont pas à être remplacés.

Finalement, les tronçons pouvant être remplacés sont les suivants:

1. tronçon 2.3, d'une longueur de 905 m, actuellement en DN 150, 125, 100, et surtout 80,
2. tronçon 1, d'une longueur de 1645 m, actuellement en DN 250 et 200.

Les calculs ont été effectués en faisant varier les diamètres des nouveaux tronçons de conduite et les débits transitant de manière à toujours obtenir un rendement du réseau de 90 %.

DÉFINITION DES VARIANTES DE CONDUITE

Plusieurs variantes ont été analysées dans le but de trouver les plus intéressantes en terme de production et de rentabilité.

Le Tableau 1 présente les 3 variantes retenues:

- La variante A correspond à une intervention minimale sur le réseau, en posant uniquement le tronçon 4, en DN 250,
- La variante B correspond à la pose de deux nouveaux tronçons: le tronçon 4, en DN 300, et le tronçon 2.3 en DN 200,
- La variante C correspond à la pose de trois nouveaux tronçons: le tronçon 4 en DN 300, le tronçon 2.3 en DN 200, et le tronçon 1 en DN 300.

Variantes		A	B	C
Tronçon 4		DN 250 (278 m)	DN 300 (278 m)	DN 300 (278 m)
Tronçon 2.3		inchangé	DN 200 (905 m)	DN 200 (905 m)
Tronçon 1		inchangé	inchangé	DN 300 (1645 m)
Débit maximal transitant	l/s	86	116	154
Coefficient de perte de charge	m^2/s^5	3423	2014	1153
Perte de charge	m	26	27	27
Chute nette	m	241	240	240
Rendement du tronçon	%	90	90	90
Puissance hydraulique	kW	205	272	362

Tableau 1. Trois variantes de débit maximal transitant, suivant les nouveaux tronçons de conduite

DÉBITS TRANSITANT, DÉBITS CONSOMMÉS ET DÉBITS TURBINABLES

Face à une moyenne de 40 l/s et un maximum de 80 l/s pour la consommation d'eau pour l'irrigation, les 3 variantes devraient couvrir les besoins du réseau, tout en permettant le turbinage du trop-plein. Il est à noter, toutefois, que la variante A ne laisse que peu de débits pour le turbinage.



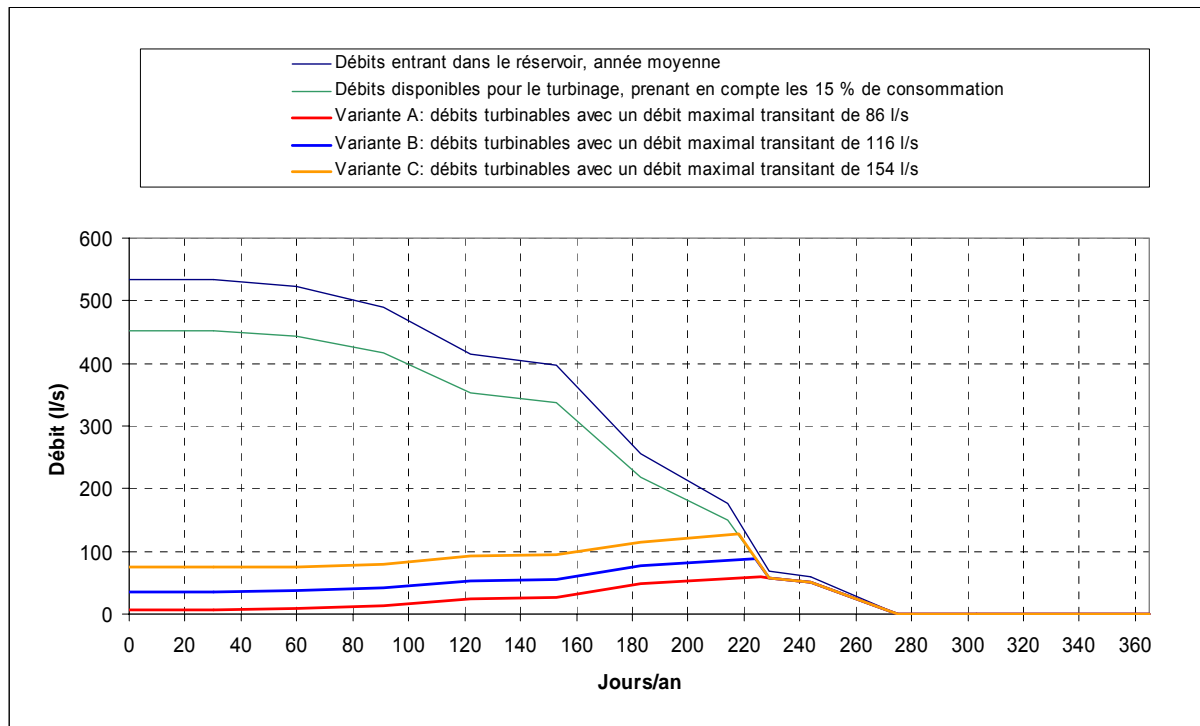


Figure 8. Débits turbinables pour les 3 variantes de conduites suivant les débits classés entrant dans le réservoir

Pour chaque variante de conduites, la turbine sera dimensionnée avec le débit maximal pouvant transiter, les besoins en eau d'irrigation pouvant être nuls à certaines heures de la journée par exemple.

Une seconde étude permettra d'approfondir la variation de la perte de charge en fonction de la position des piquages pour la consommation en eau d'irrigation.

Ainsi, malgré les 450 l/s théoriquement turbinables selon la courbe des débits classés, et face aux contraintes du réseau d'irrigation, **les débits d'équipement possibles de la turbine sont limités par des débits maximaux transitant dans le réseau de 86 l/s, 116 l/s et 154 l/s, atteints ou dépassés plus de 215 jours par an.**

Dimensionnement préliminaire de la petite centrale

La dénivellation de 267 m impose l'installation d'une petite turbine Pelton.

Un calcul préliminaire des dimensions des trois variantes, réalisé sur la base des travaux MHyLab, a été effectué.

La courbe des débits classés turbinables étant relativement plane, une turbine à un injecteur suffit, le débit minimal turbiné correspondant à 10 % du débit par injecteur. Une variante à 2 injecteurs pourrait toutefois être considérée ultérieurement.



Les principales caractéristiques des machines sont les suivantes :

Variantes		A	B	C
Débit d'équipement	l/s	86	116	154
Chute nette	m	241	240	240
Puissance hydraulique	kW	205	272	362
Puissance mécanique	kW	181	241	321
Vitesse de rotation	t/min	1000	1000	1000
Nombre d'injecteurs		1	1	1
Diamètre de roue (De)	mm	763	778	807
Diamètre de cuvelage (Dc)	mm	1'840	1'870	1'940
Diamètre d'injection (D1)	mm	623	621	621
Largeur d'augets (B2)	mm	128	154	179
Nombre d'augets		23	22	21

Tableau 2. Principales dimensions pour les 3 variantes de conduites

Les dimensions hors tout de la machine étant essentiellement déterminées par la vitesse de rotation, les différences de taille entre les variantes sont faibles. Les différences de coût entre les diverses solutions devraient par conséquent être également faibles.

Calcul de la production

ENERGIE HYDRAULIQUE BRUTE DU SITE

Afin d'approcher le rendement global de chaque variante, l'énergie hydraulique brute du site (sans prendre en compte la perte de charge dans le réseau) peut être calculée, grâce à la formule suivante:

$$E_h = 10^{-3} \int \rho g Q(t) \Delta Z dt \quad [\text{kWh/an}]$$

où	E_h = énergie hydraulique annuelle	[kWh/an]
	ρ = masse volumique de l'eau, soit ici 1000.2 ($T_{\text{eau}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)	[kg/m ³]
	g = constante de gravité, soit ici 9.805	[m/s ²]
	$Q(t)$ = débit turbinable (moyenne mensuelle)	[m ³ /s]
	ΔZ = dénivellation, soit 267 m	[m]

La Figure 11 montre la courbe des puissances hydrauliques brutes classées. La surface sous cette courbe représente l'énergie propre au site qui s'élève à environ **4'655'000 kWh/an**.

PRODUCTION ÉLECTRIQUE

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

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

où	E_{tot} = production électrique totale annuelle	[kWh/an]
	ρ = masse volumique de l'eau, soit ici 1000.2 ($T_{\text{eau}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)	[kg/m ³]
	g = constante de gravité, soit ici 9.805	[m/s ²]
	Q_t = le débit turbinable	[m ³ /s]
	$\eta(Q_t)$ = rendement global de l'installation, produit des rendements de la turbine et de l'alternateur, fonction du débit	[-]



$H(Q_t)$ = chute nette fonction du débit turbiné, calculée à partir de la formule de Colebrook [m]

La Figure 9 illustre les courbes de rendement mécanique à l'accouplement pour les 3 variantes de conduites, qu'il est possible d'obtenir en acquérant une petite turbine dont les caractéristiques sont garanties par des essais en laboratoire.

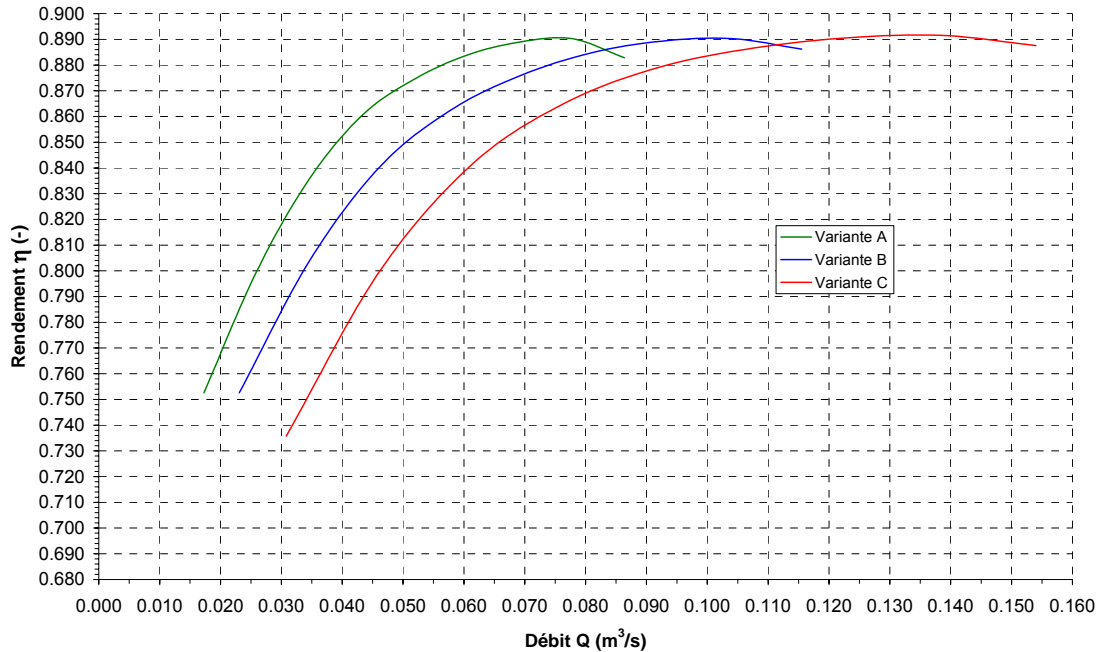


Figure 9. Rendement de la turbine en fonction du débit pour les 3 variantes

Le rendement de l'alternateur, donné selon des débits relatifs au débit d'équipement, est issu des caractéristiques d'une machine standard similaire, disponible sur le marché, comme montré sur la Figure 10.

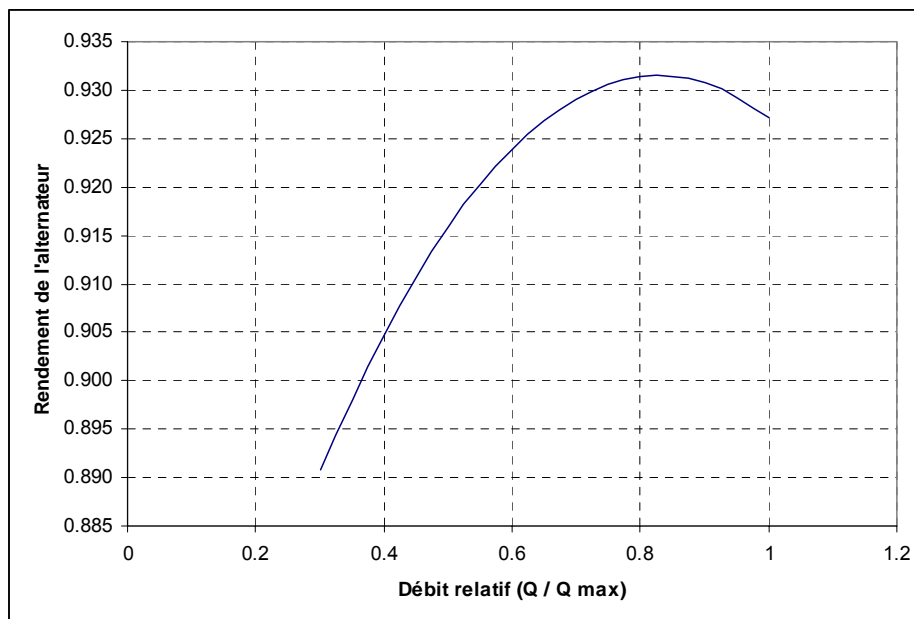


Figure 10. Courbe-type de rendement de la génératrice

Selon notre expérience, un facteur de disponibilité de l'installation peut être considéré comme égal à 99 %, prenant en compte les arrêts de la turbine dus à une consommation en eau d'irrigation trop



importante, ou à d'éventuels incidents. Les révisions pourront être effectuées en hiver.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des 3 variantes. Le rendement de l'installation prend en compte le rendement turbine et celui de l'alternateur. Le rendement global du site est le ratio entre la production électrique et l'énergie hydraulique brute du site, estimée à 4'655'000 kWh/an.

Une quatrième variante C(B) a été étudiée considérant la turbine de la variante C avec un débit d'équipement de 154 l/s, mais avec uniquement le changement de conduites proposé pour la variante B. Une telle démarche permettrait de réaliser les investissements en deux étapes.

Variantes		A	B	C	C(B)
Tronçon 4	mm	DN 250 (278 m)	DN 300 (278 m)	DN 300 (278 m)	DN 300 (278 m)
Tronçon 2.3	mm	inchangé	DN 200 (905 m)	DN 200 (905 m)	DN 200 (905 m)
Tronçon 1	mm	inchangé	inchangé	DN 300 (1645 m)	inchangé
Débit maximal transitant	l/s	86	116	154	116
Débit d'équipement de la turbine	l/s	86	116	154	154
Coefficient de perte de charge	m ² /s ⁵	3423	2014	1153	2014
Perte de charge au débit maximal transitant	m	26	27	27	27
Chute nette au débit maximal transitant	m	241	240	240	240
Rendement du tronçon	%	90	90	90	90
Puissance hydraulique	kW	205	272	362	362
Puissance électrique	kW	167	224	298	298
Production électrique	kWh/an	337'000	656'000	1'080'000	638'000
Rendement de l'installation	%	75	77	80	73
Rendement global du site	%	7	14	23	13

Tableau 3. Résumé des caractéristiques des 4 variantes

La Figure 11 présente les courbes des puissances électriques classées pour ces 4 variantes, dont la surface avec les axes représente la production électrique annuelle



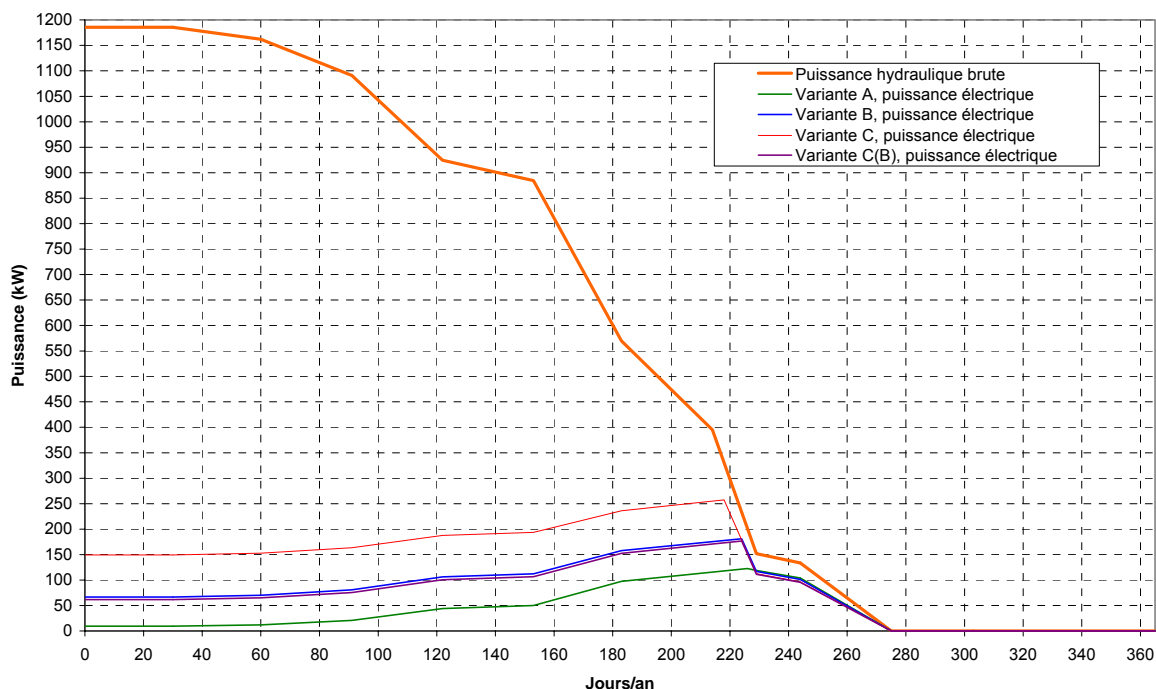


Figure 11. Puissances classées pour les trois variantes, par rapport au potentiel brut du site

Finalement, seule la variante C permettrait d'utiliser le quart du potentiel du site, pour un changement de conduite sur une longueur de près de 3 km (2'828 m).

L'installation d'une turbine avec un débit d'équipement de 154 l/s en ne changeant pas le tronçon 1 (variante C(B)), conduirait à une perte de production de 5 % par rapport à la variante B.

Etude économique comparative des variantes

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 a été faite en se basant sur des réalisations comparables. Comme mentionné précédemment, le coût du turbogroupe pour chaque variante peut être considéré comme similaire. Les coûts du raccordement électrique, estimés par Sierre Energie, comprennent le coût de la nouvelle ligne et du transformateur.
- Les coûts de génie civil, estimés à partir de réalisations comparables, comprennent:
 - les conduites (cf. Tableau 4),
 - le local de turbinage et la station transformatrice, d'un montant de l'ordre des 100'000.- CHF.

Diamètre	mm	DN 200	DN 250	DN 300
Prix total (matière et pose)	CHF/m de conduite	240	320	400

Tableau 4. Base pour le calcul du coût dû aux nouveaux tronçons

- Les frais d'ingénierie, les divers et imprévus sont estimés à 10 % de l'investissement.
- Les frais d'exploitation, comprenant les frais d'assurance, la taxe de puissance ainsi que les coûts de maintenance, d'entretien courant et de consommation d'énergie sont estimés à partir d'installations similaires.



- Le prix de vente de l'électricité est fixé à 15cts/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.
- Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de 4 %, selon les recommandations du Mandant.
- L'analyse économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.
- Selon les recommandations du Mandant, l'étude économique se base sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les durées d'amortissement suivantes:
 - 12 ans pour l'appareillage,
 - 25 ans pour l'électromécanique,
 - 30 ans pour le génie civil.
- La totalité de l'investissement provient soit d'un emprunt bancaire, soit de capitaux propres rémunérés au même taux.
- Les frais d'investissement sont comptabilisés la première année de production.
- 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.

Variante		A	B	C
Electromécanique	CHF	500'000	500'000	500'000
Appareillage (armoires électriques)	CHF	50'000	50'000	50'000
Génie civil (conduite + centrale)	CHF	200'000	450'000	1'100'000
Frais d'ingénierie, divers, imprévus	CHF	80'000	100'000	170'000
Investissement total	CHF	830'000	1'100'000	1'820'000

Tableau 5. Résumé des investissements



Variantes		A	B	C
Investissement	CHF	830'000	1'100'000	1'820'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	5'000	5'000	5'000
Production annuelle	MWhe/an	337	656	1'080
Tarif de vente	cts/kWh	15	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	51'000	98'000	162'000
Taux d'intérêt	%	4.0	4.0	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.5	6.3	6.1
Annuité	CHF/an	54'000	70'000	111'000
Bénéfice annuel	CHF/an	-8'000	24'000	46'000
Prix de revient	cts/kWh	17.4	11.4	10.7

Tableau 6. Calculs économiques pour les 3 variantes

Les variantes B et C s'avèrent être rentables à ce stade de l'étude. Toutefois, puisque, à ce stade de l'étude, la **variante C**:

- est la seule à utiliser le quart du potentiel hydraulique du site,
- repose sur un changement de tous les tronçons remplaçables vu les contraintes liées au vignoble,
- a un prix de revient intéressant,

nous la recommandons au Mandant, soit un **débit d'équipement de 154 l/s, un prix de revient 10.7 cts /kWh**.



Description technique de la variante retenue

Les constantes de base suivantes sont considérées :

Accélération de la pesanteur	g	m/s^2	9.805
Température de l'eau	T_{eau}	$^{\circ}C$	10
Masse volumique de l'eau à 25°C	ρ	kg/m^3	1000.2

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Altitude du niveau d'eau amont	Z_1	m	885
Altitude de la turbine	Z_2	m	618
Dénivellation	ΔZ	m	267
Débit total de l'aménagement	Q_{max}	l/s	154
Pertes de charge dans la conduite	H_r	m	$1'153 \times Q^2$
Chute nette au débit total	$H(Q_{max})$	m	240

TURBINE

Les indications fournies pour la turbine sont données à titre indicatif et peuvent varier en fonction du constructeur choisi. En effet, ces performances (garanties de rendement, fiabilité, etc.) correspondent à une machine développée en laboratoire et 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 issu de développement en laboratoire.

Le calcul fondé sur l'énergie massique, la vitesse de rotation et le débit maximum permet de calculer les caractéristiques et dimensions suivantes des turbines :

Débit d'installation	Q_{max}	m^3/s	0.154
Chute nette au débit d'équipement	H	m	240
Energie massique à Q_{max}	gH	J/kg	2'350
Type de turbine		Pelton à axe vertical	
Nombre d'injecteurs	Z_i		1
Puissance mécanique	P_{mec}	kW	321
Vitesse de rotation	N	t/min	1000
Vitesse d'emballement	N_e	t/min	1'900
Diamètre d'injection	D_1	mm	621
Largeur d'auget	B_2	mm	179
Nombre d'augets	Z_a		21
Diamètre du cuvelage	D_c	mm	1'940
Diamètre de l'injecteur	D_i	mm	190

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, fixés entre deux flas-



ques. 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.

L'injecteur comportera un déflecteur afin d'assurer la sécurité en cas de déclenchement.

VANNE

La sécurité étant assurée par le déflecteur, la seule vanne prévue est la vanne de révision de la turbine. Elle pourra être de type shérique DN 300, PN 40, laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite. Sa manœuvre sera manuelle. Elle sera équipée d'un by-pass.

ALTERNATEUR

Type	synchrone	
Fréquence	50	Hz
Tension triphasée aux bornes	400	V
Vitesse nominale	1'000	min ⁻¹
Puissance électrique	298	kW
Cos φ	0.90	
Puissance apparente	331	kVA

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.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE

La régulation de la turbine devra prendre en compte les besoins en eau d'irrigation transitant par le réseau, et ne passant pas par la turbine. En effet, ces besoins sont prioritaires sur le turbinage.

La régulation de la turbine sera asservie à la mesure de niveau amont effectuée dans le réservoir, et à la mesure de pression effectuée sur le collecteur de la turbine. Le fonctionnement prévu de la centrale est le suivant :

- Tant que le débit disponible pour la turbine est inférieur à son débit minimum (15 l/s) de fonctionnement, celle-ci est à l'arrêt.
- Tant que le débit disponible est compris entre les débits minimum et maximum de la turbine et que la pression mesurée est suffisante, toute l'eau non nécessaire à l'irrigation, passe par l'installation hydroélectrique.
- Quand le débit disponible dépasse le débit maximum de la turbine, le surplus est déversé au niveau du désableur et du déversoir.
- Quand la pression mesurée à l'entrée de la turbine est insuffisante (en cas de forte demande d'irrigation, par exemple), celle-ci est à l'arrêt.

En cas d'arrêt de la turbine pour révision, ou débits ou pressions insuffisants, le réseau d'irrigation fonctionne comme actuellement, l'eau transitant par la turbine n'alimentant aucun réservoir ou réseau en aval.

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. Il en est de même en cas d'arrêt consécutif à une alarme, si celle-ci disparaît sans intervention humaine.

Les tableaux comprendront en outre les éléments suivants :

- Commande des injecteurs avec affichage de l'ouverture,
- Réglage de $\cos \varphi$.

Les indicateurs suivants seront à fournir :

- Voltmètre, wattmètre, fréquencemètre, mesure du $\cos \varphi$, synchronoscope, compte tour,
- Indicateur de niveau amont,
- 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,
- Pression insuffisante,
- Surcharges alternateur,
- Survitesse,
- Arrêt d'urgence,
- Défaut de mise en marche,
- Roulements alternateurs,
- Bobinages,
- Retour de courant,
- Surcharge batteries,
- Défaut batterie.

Le groupe comprendra ses propres armoires de commande.

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

RACCORDEMENT

Le raccordement se fera à la ligne haute tension à proximité, et nécessite l'intégration d'un transformateur en 400 V / 16'000 V.



SÉCURITÉ

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

Remarques et recommandations

- L'étude montre que le potentiel hydraulique du site est important, mais difficilement exploitable vu les contraintes inhérentes à l'infrastructure. Ainsi, seul le quart du potentiel peut être exploité, mais cette utilisation est à ce stade de l'étude encourageante d'un point de vue économique, avec un prix de revient de 10.7 cts/kWh.
- Une seconde étude permettra de préciser les points suivants:
 - débits consommés pour l'irrigation et débits turbinables,
 - coût de remplacement des conduites,
 - variations de la perte de charge en fonction de la position des piquages pour la consommation d'eau d'irrigation,
 - état des conduites: il est impératif d'effectuer une campagne de mesure de perte de charge dans le réseau, afin de clarifier son état ; cette mesure pourrait montrer notamment qu'il est préférable de ne pas utiliser les tronçons irremplaçables, ceux-ci entraînant une perte de charge trop importante.
- Nous insistons sur le fait que l'étude s'appuie sur des rendements de turbine développée en laboratoire et qu'il conviendra de s'assurer de l'origine des garanties lors de l'appel d'offres.

Suite des travaux

En cas de décision de poursuivre la réalisation de la centrale, les étapes suivantes sont à entreprendre:

- Suite de la campagne de mesures des débits,
- Campagne de mesure de la perte de charge dans le réseau,
- Elaboration du projet définitif, et du cahier des charges,
- Mise à l'enquête,
- Appel d'offres,
- Pose des nouveaux tronçons de conduite,
- Construction du local de turbinage,
- Mise en place du turbogroupe.

Remarque: l'ensemble de ces travaux pourrait également être confié à une entreprise générale.

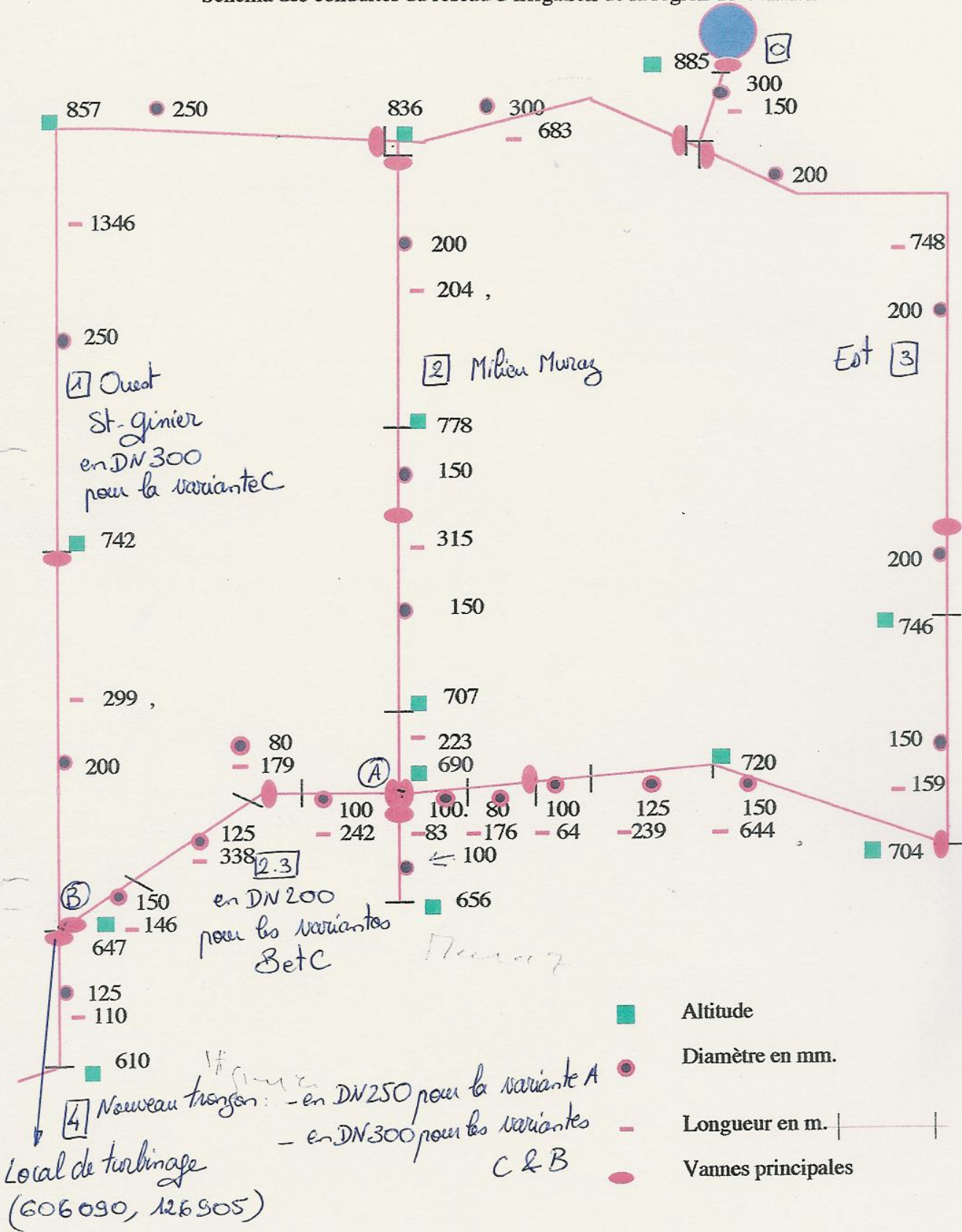
Annexes

Annexe 1 : Schéma des conduites d'irrigation de la région de Venthône

Annexe 2: Dessin d'encombrement pour la variante C



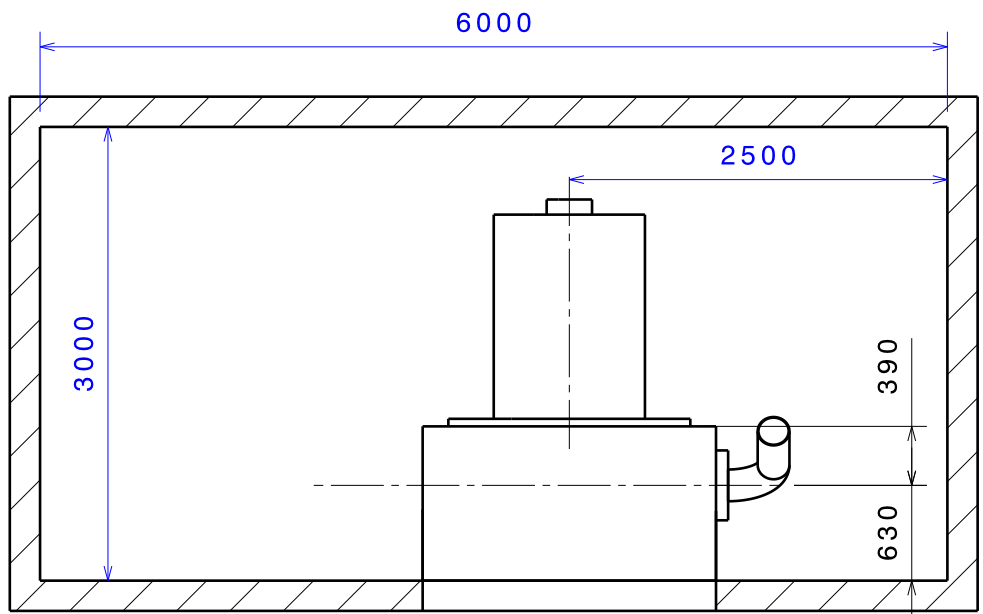
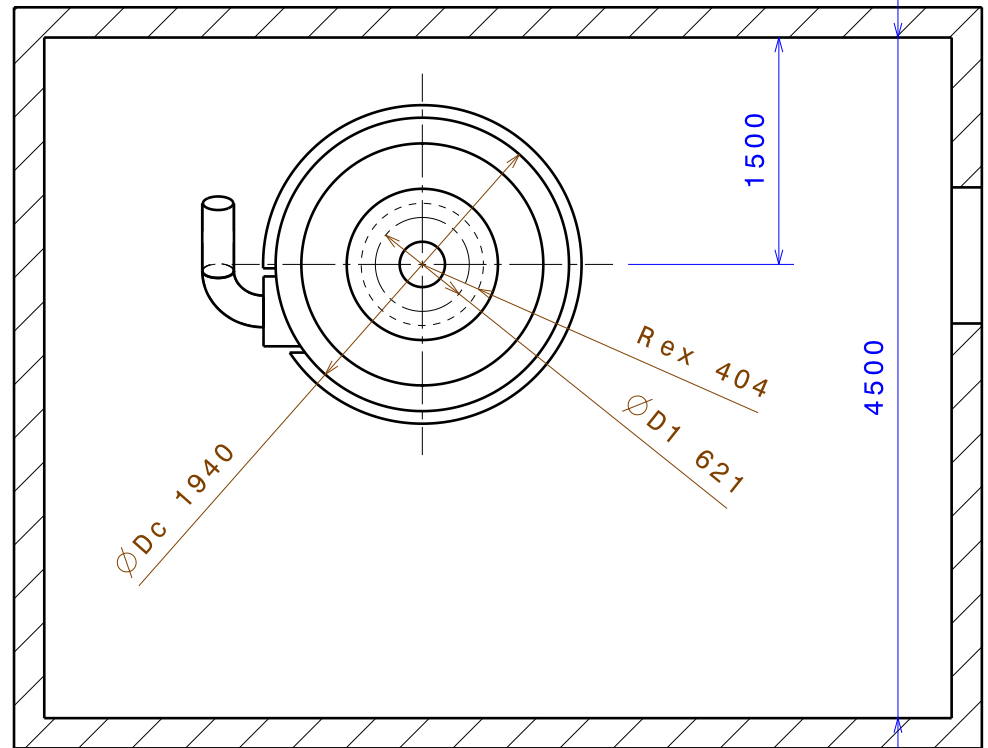
Schéma des conduites du réseau d'irrigation de la région de Venthône



Ma 06.13 - Venthône

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			Code	Nbr tot	Denomination/Caracteristiques	Pos	Matiere	Observations
Nbr	Poids Unit	Poids total/Exec						



REV.	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	CONTR.	APPR.
ENSEMBLE	POIDS	ECHELLES	DESSINE	A.Choulot	21.11.06
		1:50	CONTROLE	*	*
			APPROUVE	*	*
Ma0613 Venthône Schéma de principe, Variante C Pelton 1 injecteur H = 240 m, Q max = 154 l/s					
			Laboratoire de Mini-Hydraulique 1354 MONTCHERAND SUISSE		REV. MP0613-0001-4 A

DESSIN CCD (CATA-CAD/AM-DRAFTING)