



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

ETUDE DÉTAILLÉE DE FAISABILITÉ POUR L'INSTALLATION D'UNE PETITE CENTRALE SUR L'ADDUCTION D'EAU POTABLE DE ZERNI.

RAPPORT FINAL

Auteurs :

Bruno Reul, MHyLab

Chemin du Bois Jolens, 6 - 1354 Montcherand, bruno.reul@mhylab.com, www.mhylab.com

Alain Perruchoud, SierreEnergie SA

Sierre-Energie SA, Rte de l'Industrie 29, 3960 Sierre, alain.perruchoud@siesa.ch, www.siesa.ch



Programme petites
centrales hydrauliques

www.petitehydraulique.ch

Date: 17.02.09

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: 102703

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



Table des matières

RESUME.....	4
1 INTRODUCTION.....	5
2 DESCRIPTION GENERALE DU PROJET	5
3 DONNEES DE BASE.....	5
3.1 DENIVELLATION EXPLOITABLE.....	5
3.2 HYDROLOGIE.....	5
3.2.1 Mesures des débits	5
3.2.2 Débits turbinables et courbe des débits classés.....	6
3.2.3 Débit de restitution	7
3.2.4 Débit d'équipement.....	8
4 CONDUITE FORCEE ET PERTE DE CHARGE	9
5 PRINCIPALES DIMENSIONS DE LA TURBINE POUR LES 5 VARIANTES ENVISAGEES	10
6 PRODUCTION ELECTRIQUE ANNUELLE.....	12
7 ANALYSE ECONOMIQUE DES 4 VARIANTES RETENUES	13
7.1 INVESTISSEMENTS	13
7.2 FRAIS D'EXPLOITATION.....	14
7.3 CALCUL DE RENTABILITE	14
8 DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS ELECTROMECANIQUES POUR LA VARIANTE RETENUE	17
8.1 TURBINE.....	17
8.2 VANNES	18
8.3 ALIMENTATION DE SECOURS	18
8.4 SECURITE D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	19
8.5 SECURITE DE LA CENTRALE	19
8.6 CONTROLE-COMMANDE	19
8.7 ALTERNATEUR	20
8.8 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE.....	21
9 RACCORDEMENT ELECTRIQUE.....	21
10 GENIE CIVIL	21
10.1 CONDUITE FORCEE	21
10.2 LOCAL DE TURBINAGE.....	21
11 CONCLUSIONS.....	21
12 PROGRAMME DE TRAVAIL	22



Résumé

Dans le cadre du Programme Petites Centrales Hydrauliques de SuisseEnergie, MHyLab a été mandaté par SierreEnergie SA (SIESA) et la commune de Venthône pour effectuer une étude de faisabilité détaillée (ou d'avant-projet) du turbinage de l'eau potable de Zerni.

Ce type d'étude a pour objectif de préciser l'optimum technique et économique du site.

Cet optimum a été défini en conclusion de cette étude, il est repris dans le tableau ci-dessous :

Puissance électrique	[kW]	42
Chute nette	[m]	245
Débit d'équipement	[l/s]	21
Production annuelle attendue	[kWh]	201'600
Prix de revient	[cts/kWh]	23.78



1 Introduction

Dans le cadre du Programme Petites Centrales Hydrauliques de SuisseEnergie, MHyLab a été mandaté par SierreEnergie SA (SIESA) et la commune de Venthône pour effectuer une étude de faisabilité détaillée (ou d'avant-projet) du turbinage de l'eau potable de Zerni.

Ce type d'étude a pour objectif de préciser l'optimum technique et économique du site.

2 Description générale du projet

Le projet vise à turbiner la nouvelle adduction d'eau potable de Sierre à Zerni. Cette eau est issue des sources de Mollens et du trop-plein de la commune de Venthône, collectés dans une chambre de mise en charge à environ 950 msm.

Une nouvelle conduite d'amenée jusqu'à un nouveau réservoir situé sur la commune de Venthône est prévue. Celui-ci est en effet nécessaire pour maintenir une pression suffisante dans le réseau en développement sur les hauts de la commune de Sierre. C'est en amont de ce nouveau réservoir que serait implantée la petite centrale de Zerni.

3 Données de base

Les constantes de base suivantes sont considérées :

Accélération de la pesanteur	g	m/s^2	9.803
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

3.1 Dénivellation exploitable

Le profil en long de la nouvelle conduite a été fourni par SIESA.

Les altitudes sont les suivantes:

- chambre de mise en charge de l'eau provenant des sources de Mollens et du trop-plein de Venthône : 956.85 m,
- future centrale de Zerni : 705 m.

La dénivellation est donc de 251.85 m. Les altitudes exactes du plan d'eau amont et de la turbine devraient être fixées de manière précise en cas d'avant projet de réalisation.

3.2 Hydrologie

3.2.1 Mesures des débits

L'adduction d'eau potable de Sierre et de Venthône à considérer dans le périmètre de cette étude peut être schématisée comme suit :



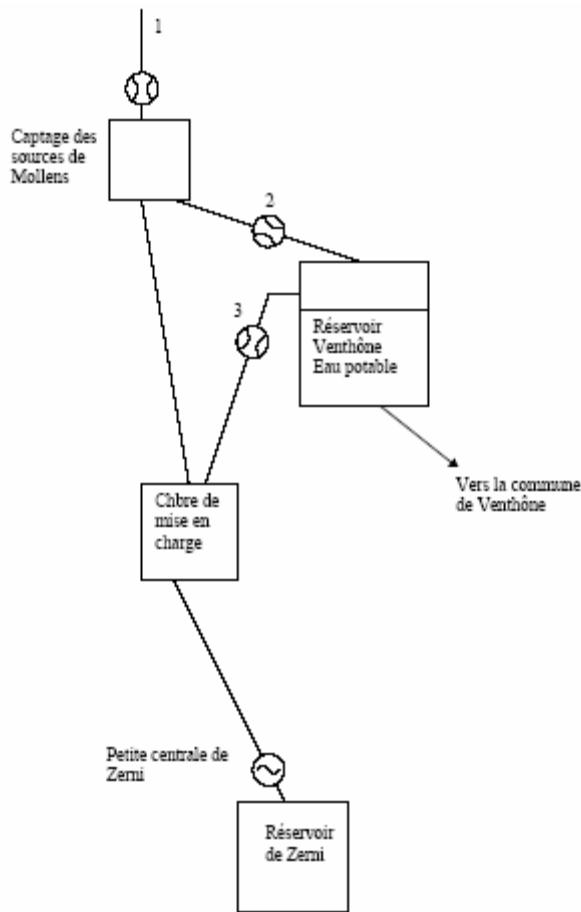


Figure 1. Schéma d'adduction d'eau potable

3.2.2 Débits turbinables et courbe des débits classés

Un relevé journalier du volume arrivant au réservoir de Zerni est disponible sur les 9 dernières années. Toutefois, l'année 2007 n'est pas prise en compte faute de relevés durant 2 mois.

Une période de 8 années étant suffisamment représentative, la courbe des débits classés considérée pour cette étude sera la moyenne des courbes des débits classés sur les années 2000 à 2008 (sauf 2007).

Les débits à disposition ont été fournis par SIESA et comprennent trois mesures différentes :

- 1 : le débit capté aux sources de Mollens,
- 2 : le débit repris depuis les sources de Mollens pour la commune de Venthône en cas de manque de l'adduction principale,
- 3 : le débit du trop plein du réservoir de Venthône,

Des trois premières mesures est déduit le débit arrivant à la future turbine de Zerni.



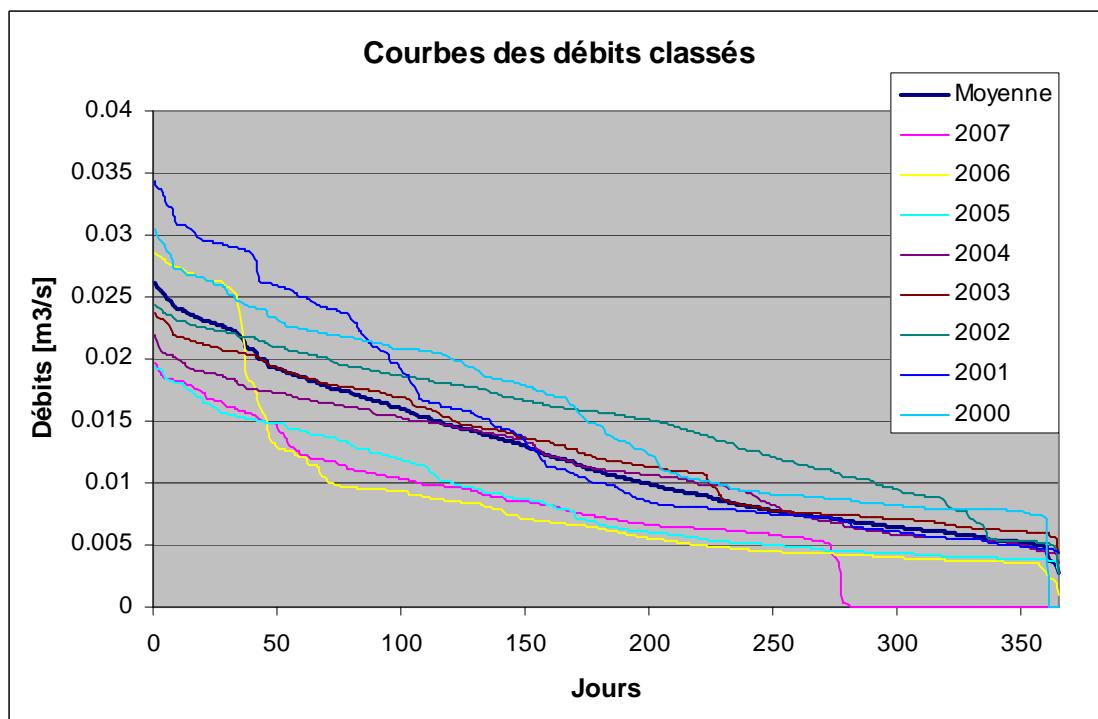


Figure 2. Courbes des débits classés

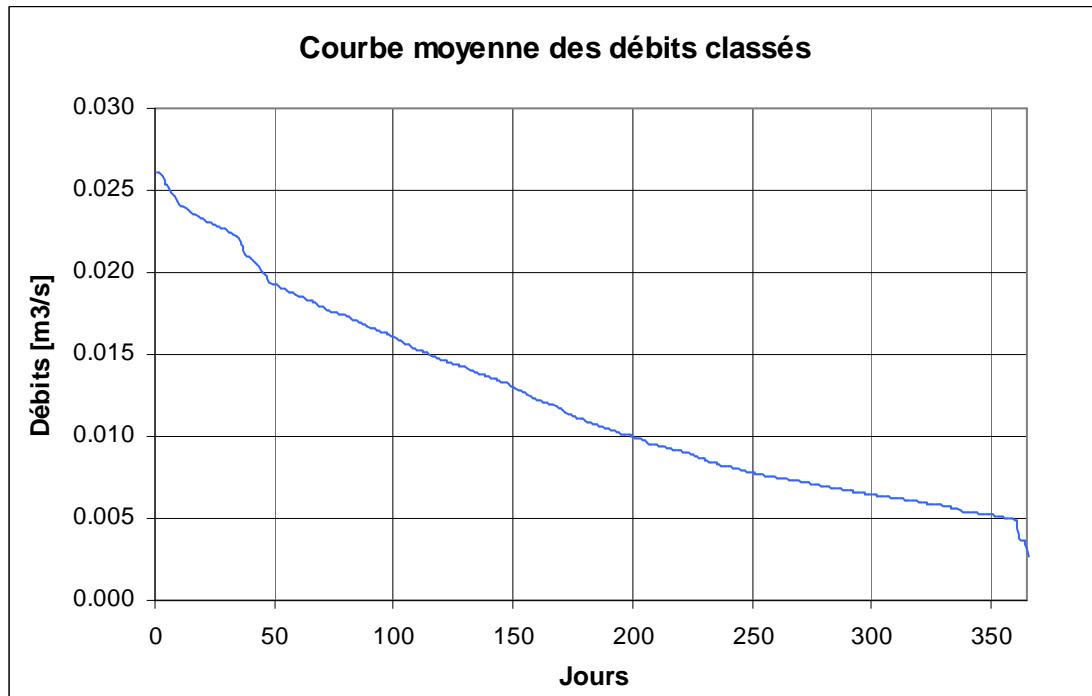


Figure 3. Courbe moyenne des débits classés sur 8 années

3.2.3 Débit de restitution

S'agissant de turbinage d'eau potable, aucun débit de restitution n'est considéré.



3.2.4 Débit d'équipement

L'expérience acquise en petite hydraulique démontre que, pour ce type de centrale, il est raisonnable de choisir un débit d'équipement compris entre les débits à 40 et à 80 jours en fonction de la forme de la courbe des débits classés.

Toutefois, étant donné que tout ce qui est capté à Zerni ne devra pas être pompé pour alimenter la commune de Sierre, l'entièreté du débit capté à la source doit impérativement parvenir au réservoir de Zerni. Il paraît donc intéressant d'étudier une première variante de débit d'équipement au maximum de la courbe des débits classés, ceci d'autant plus que les années 2000, 2001 et 2006 présentent des débits maximaux supérieurs.

Nous étudierons trois variantes de débit d'équipement :

- au maximum de la courbe des débits classés, soit à 26 l/s
- au débit disponible durant 40 jours, soit 21 l/s
- au débit disponible durant 80 jours, soit 17 l/s

Des débits d'équipement plus faibles ne se justifient pas dans la mesure où le débit minimum observé est supérieur à 10% du débit maximum de la courbe des débits classés et qu'une turbine Pelton, adéquate pour ce type de projet, peut fonctionner jusqu'à 10% du débit maximal par injecteur. Le choix d'un débit d'équipement plus faible n'entraînerait pas un turbinage de plus petits débits mais supprimerait le turbinage des plus grands débits.

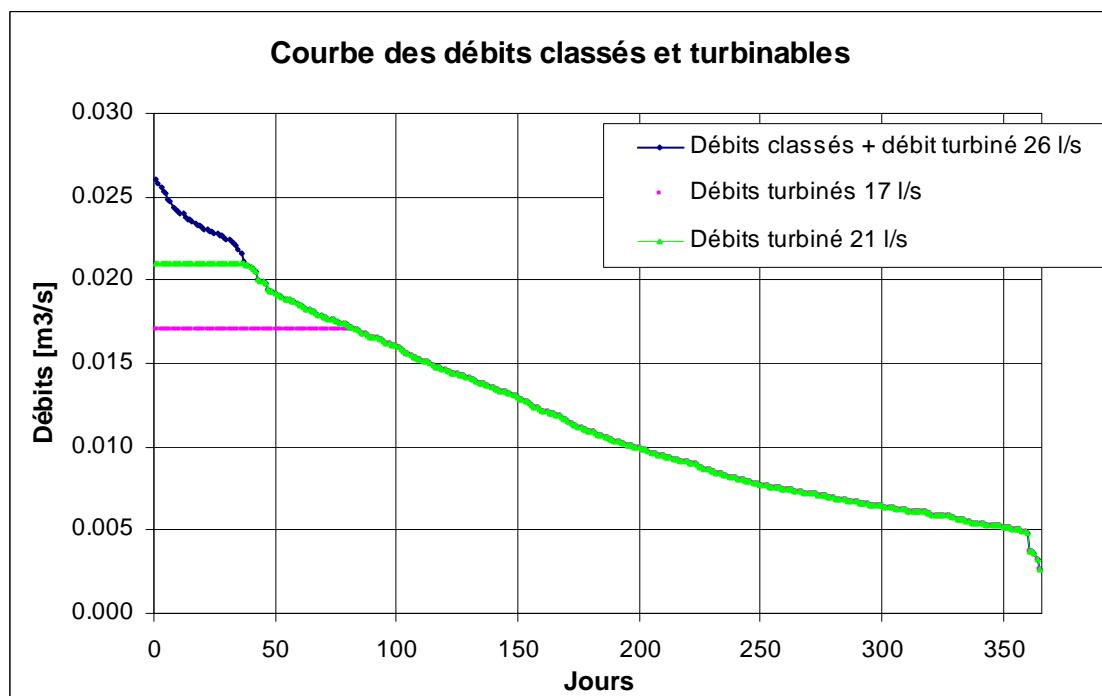


Figure 4. Courbes des débits classés turbinés finales pour les 3 débits d'équipement



4 Conduite forcée et perte de charge

Une nouvelle conduite d'eau potable va être placée entre la chambre de mise en charge située sur la commune de Mollens et le réservoir de Muraz situé sur la commune de Sierre en passant par le réservoir de Zerni en amont duquel sera implantée la petite centrale électrique. Entre la chambre de mise en charge et la centrale, cette conduite comportera deux tronçons :

1. PE sur 529 m de longueur
2. Fonte ductile sur 658 m de longueur

Le calcul de la perte de charge dans la conduite, basé sur la formule de Colebrook, permet de déterminer l'équation de perte de charge 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 la fonte et 0.05 mm pour le PE, ce qui correspond à une conduite en fonctionnement depuis quelques années.

Nous recherchons ici un rendement de conduite minimum de 90%. Deux variantes de conduites sont à étudier l'une en diamètre 200 mm (fonte et PE) et l'autre en diamètre 150 mm (fonte) et 160 mm (PE).

Les variantes retenues sont donc les suivantes :

Variante		1	2	3	4	5
Débit d'équipement	l/s	26	26	21	17	21
Diamètre interne conduite PE	mm	163.6	130.8	130.8	130.8	163.6
Diamètre interne conduite fonte	mm	200	150	150	150	200
Dénivellation	m	252	252	252	252	252
Débit max	l/s	26	26	26	26	26
Perte de charge au débit max	m	7	24	24	24	7
Chute nette au débit max	m	245	228	228	228	245
Rendement de conduite au débit max	-	0.97	0.91	0.91	0.91	0.97

Tableau 1. Caractéristiques des conduites, débits et pertes de charges des 5 variantes.

Comme remarqué plus haut, tout le débit disponible doit être acheminé au réservoir et transite par la conduite forcée, indépendamment du débit nominal de la turbine. De ce fait les pertes de charge considérées sont identiques pour les variantes de même diamètre.

Par ailleurs, un by-pass dissipateur de Carnot est nécessaire afin de dévier vers le réservoir l'excédent de débit par rapport au débit nominal de la turbine.

La régulation de cette installation sera de ce fait particulière et conçue comme décrit ci-après. Elle sera asservie à la mesure de niveau amont qui sera effectuée dans la future chambre de mise en charge des sources de Mollens.

Le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le débit disponible est inférieur au débit minimum de fonctionnement de la turbine, la turbine est à l'arrêt. Les faibles débits sont déversés dans le réservoir de Zerni



via le dissipateur de Carnot. Celui-ci étant réglé, comme l'injecteur de la turbine, de façon à maintenir constant le niveau de la chambre de mise en charge.

- Lorsque le niveau d'eau atteint celui de consigne, la turbine démarre.
- Tant que le débit disponible est compris entre les débits minimum et maximum de la turbine, toute l'eau passe par l'installation hydroélectrique qui ouvre ou ferme l'injecteur de la turbine de manière à maintenir le niveau d'eau amont relativement constant.
- Dès que le débit disponible dépasse le débit maximum de la turbine, le surplus est déversé dans le réservoir de Zerni au moyen du by-pass dissipateur de Carnot. Celui-ci étant réglé comme l'injecteur de la turbine.
- En cas d'arrêt de la turbine pour révision ou en cas de débits insuffisants, toute l'eau transite par le by-pass dissipateur qui reprend alors la consigne et fonctionne sur le même mode.

5 Principales dimensions de la turbine pour les 5 variantes envisagées

La dénivellation disponible impose d'installer une turbine de type Pelton.

Le choix de la vitesse de rotation, du nombre de machines et du nombre d'injecteurs résulte d'un calcul itératif prenant essentiellement en compte les éléments suivants :

- Nature de la courbe des débits classés (Variation des débits et écarts entre le débit max et le débit minimum), étant entendu que plus on désire conserver une bonne caractéristique de rendement à charge partielle, plus il faut d'injecteurs.
- Taille et masse des équipements, le but recherché étant d'avoir les dimensions les plus compactes pour limiter les coûts de matériel et de la centrale, étant entendu que plus la vitesse de rotation est élevée, plus la taille est réduite.
- Nécessité d'avoir une vitesse spécifique (caractérisant le fonctionnement hydrodynamique de la turbine) correspondant au rapport du diamètre Pelton (directement influencé par la vitesse de rotation) et de la largeur d'auget (directement influencée par le nombre d'injecteurs répartissant le débit) supérieurs à 3.0.

Il s'agit dès lors de déterminer un compromis satisfaisant aussi bien du point de vue technique qu'économique. Dans les deux cas, le couple dénivellation/débit total envisagé conduit à des machines à haute vitesse de rotation. Il sera donc facile de trouver des alternateurs "standard".

Les indications suivantes correspondent à une turbine développée en laboratoire. Elles 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 issu de développement en laboratoire.

Le nombre d'injecteurs est ici choisi égal à 1. En effet, un injecteur peut fonctionner correctement jusqu'à un débit minimum de 0,1 fois son débit d'équipement, or dans ce cas, le débit minimum est toujours supérieur à 0,1 fois le débit d'équipement. De plus, s'agissant d'une machine de faible puissance, le gain de l'ajout d'un injecteur sera très faible en comparaison de son coût.



Le tableau ci-dessous donne les principales caractéristiques de la turbine pour les différentes variantes retenues précédemment.

Variantes		1	2	3	4	5
Débit d'équipement, Q_N	l/s	26	26	21	17	21
Diamètre de la conduite	mm	DN200	DN150	DN150	DN150	DN200
Type de turbine		Pelton	Pelton	Pelton	Pelton	Pelton
Nombre d'injecteurs		1	1	1	1	1
Vitesse de rotation	t/min	1500	1500	1500	1500	1500
Diamètre externe de roue	mm	492	479	481	480	490
Diamètre du cuvelage	mm	1180	1150	1160	1160	1180
Largeur d'auget, B2	mm	63	66	56	50	55
Diamètre d'injection, D1	mm	424	407	419	427	429
Nombre d'augets		25	24	25	27	26
Puissance mécanique maximale	kW	55	52	43	36	46

Tableau 2. Principales caractéristiques de la petite turbine Pelton pour les 5 variantes

La Figure 5 illustre les courbes de rendement mécanique à l'accouplement pour les 5 variantes qu'il est possible d'obtenir en acquérant une petite turbine dont les caractéristiques sont garanties par des essais en laboratoire.

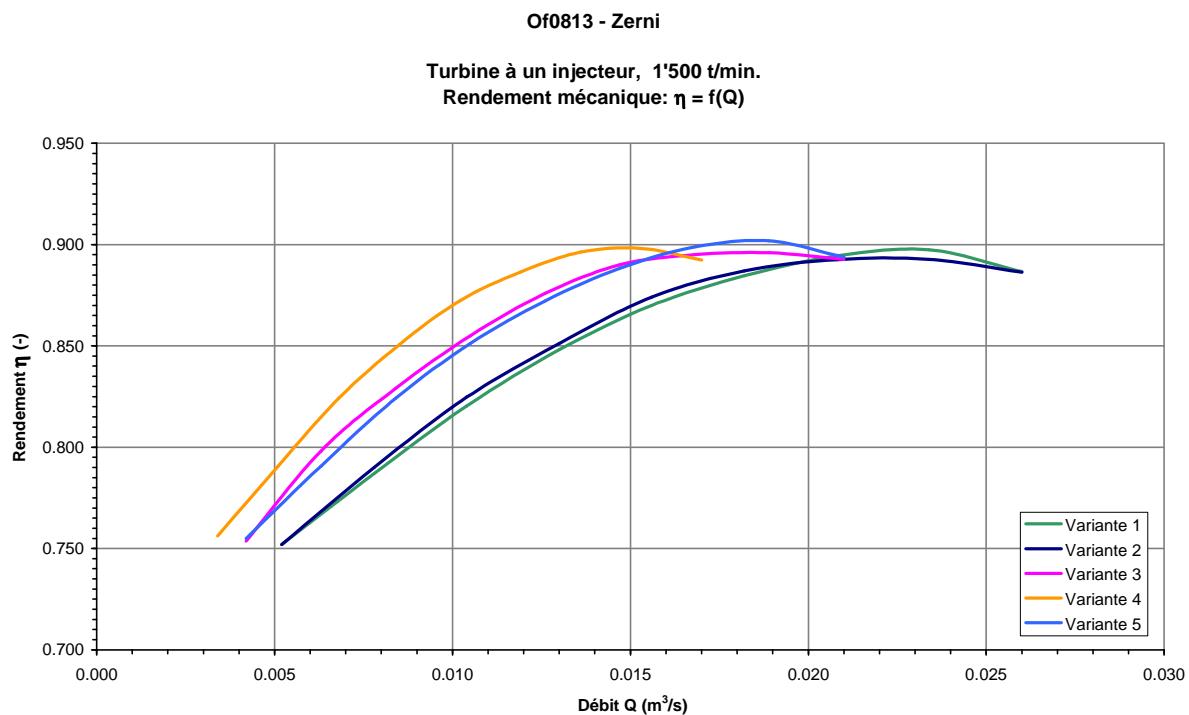


Figure 5. Rendement mécanique à l'accouplement en fonction du débit turbiné pour les 5 variantes



6 Production électrique annuelle

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

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

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

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

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

Le rendement de l'alternateur est donné par la figure suivante. Il correspond à celui d'un alternateur standard disponible sur le marché.

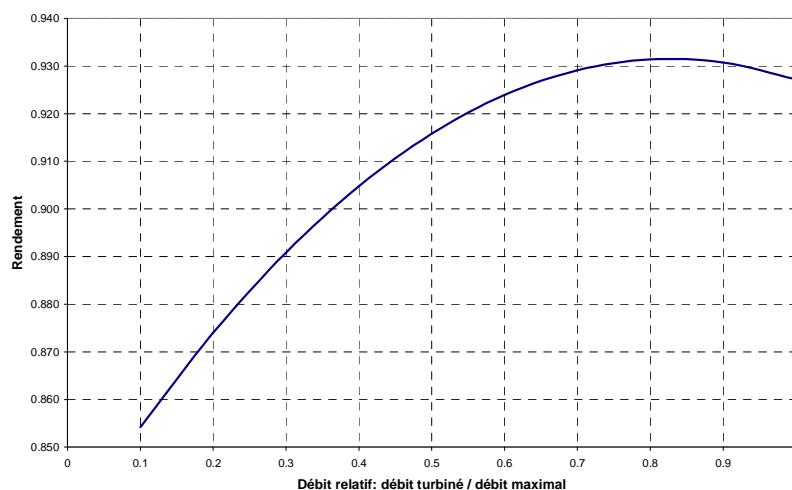


Figure 6. Courbe- type de rendement de la génératrice

Variante	1	2	3	4	5	
Débit d'équipement	l/s	26	26	21	17	21
Débit max conduite	l/s	26	26	26	26	26
Diamètre de la conduite	mm	200	150	150	150	200
Chute nette à Q_{max}	m	245	228	228	228	245
Puissance hydraulique	kW	62	58	47	38	50
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	55	52	43	36	46
Puissance électrique max	kW	51	47	40	33	42
Production annuelle	kWh	198'300	193'300	196'400	189'200	201'600

Tableau 3. Production électrique pour chaque variante

La variante 2 n'est pas retenue. En effet, elle ne présente pas d'intérêt en comparaison avec la variante 3 qui a un débit d'équipement plus petit et une production plus importante.



7 Analyse économique des 4 variantes retenues

Cette étude économique a pour objectif d'approcher le prix de revient du kWh électrique **à plus ou moins 25%**, afin de déterminer la variante finale.

7.1 Investissements

Les points suivants sont pris en compte:

- Les investissements sont donnés hors taxes.
- L'estimation des coûts pour le turbogroupe a été faite en se basant sur des réalisations comparables.
- L'estimation des coûts pour le contrôle commande a été effectuée en se basant sur des réalisations similaires.
- Le coût du raccordement (estimation SIESA) est estimé à **50'000 CHF**, quelle que soit la variante.
- Le coût du local de turbinage est estimé à 98'000 CHF par SIESA.
- Les coûts de la nouvelle conduite (décrise au paragraphe 10.1), sont estimés par SIESA.
- Ceux-ci étant imputables en partie au projet de turbinage et au projet d'adduction d'eau pour la commune de Sierre, une part de 10 % est attribuée au projet de turbinage. En effet, celui-ci implique un choix de diamètre et épaisseurs de conduite plus important, ce qui entraîne également une mise en œuvre plus coûteuse.
- Les frais d'ingénierie sont estimés à 10 % de l'investissement total, tandis que les divers et imprévus sont estimés à 5 %.

Variante		1	3	4	5
Turbine et installation électromécanique	CHF	235'000	222'000	218'000	222'000
By-pass dissipateur de Carnot	CHF	25'000	25'000	25'000	25'000
Raccordement au réseau	CHF	50'000	50'000	50'000	50'000
Contrôle commande, armoires électriques, alim de secours	CHF	70'000	70'000	70'000	70'000
Génie civil centrale et canal de fuite	CHF	98'000	98'000	98'000	98'000
Chambre de mise en charge	CHF	30'000	30'000	30'000	30'000
Conduite forcée	CHF	46'500	38'500	38'500	46'500
Ingénierie (10%)	CHF	55'450	53'350	52'950	54'150
Divers et imprévus (5%)	CHF	27'725	26'675	26'475	27'075
Total	CHF	637'675	613'525	608'925	622'725

Tableau 4. Résumé des investissements, suivant les variantes retenues



7.2 **Frais d'exploitation**

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, soit une moyenne de **CHF 6'000.- /an** pour toutes les variantes.

7.3 **Calcul de rentabilité**

Ce calcul prend en compte les éléments suivants:

- La nouvelle installation pourra bénéficier du tarif de rétribution à prix coûtant pour la production d'électricité renouvelable de l'Office Fédéral de l'Energie. Les fonds disponibles sont tous attribués actuellement, toutefois, la tendance politique est marquée pour une suppression des plafonds initialement déterminés.
- Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de 4.0 %, taux que l'on peut considérer comme prudent sur le moyen terme, les taux offerts aux collectivités publiques étant en général inférieurs.
- Le modèle 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:
 - 15 ans pour le contrôle commande,
 - 25 ans pour le reste.
- 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 moyenne.

Variante		1	3	4	5
Production électrique annuelle	kWh/an	198'300	196'400	189'200	201'600
Tarif RPC hors taxes	cts/kWh	24.33	24.35	24.49	24.41
Revenu annuel	CHF	48'255	47'822	46'343	49'215
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.73%	6.74%	6.74%	6.74%
Annuité	CHF	42'906	41'360	41'066	41'949
Frais d'entretien et charges d'exploitation	CHF	6'000	6'000	6'000	6'000
Marge annuelle	CHF	-651	461	-723	1'266
Prix de revient	Cts /kWh	24.66	24.11	24.88	23.78
Montant maximal possible d'investissement	CHF	627'996	620'370	598'206	641'521

Tableau 5. Données économiques pour les différentes variantes

La Figure 7 compare ces différents prix de revient et de vente (RPC).

Finalement, il apparaît que la **variante 5 à 21 l/s avec une conduite en DN 200 en fonte et PE** est la plus intéressante d'un point de vue technique et économique, associant un prix de



revient le plus bas, une production élevée et un tarif de revente plus élevé que le prix de revient au kWh.

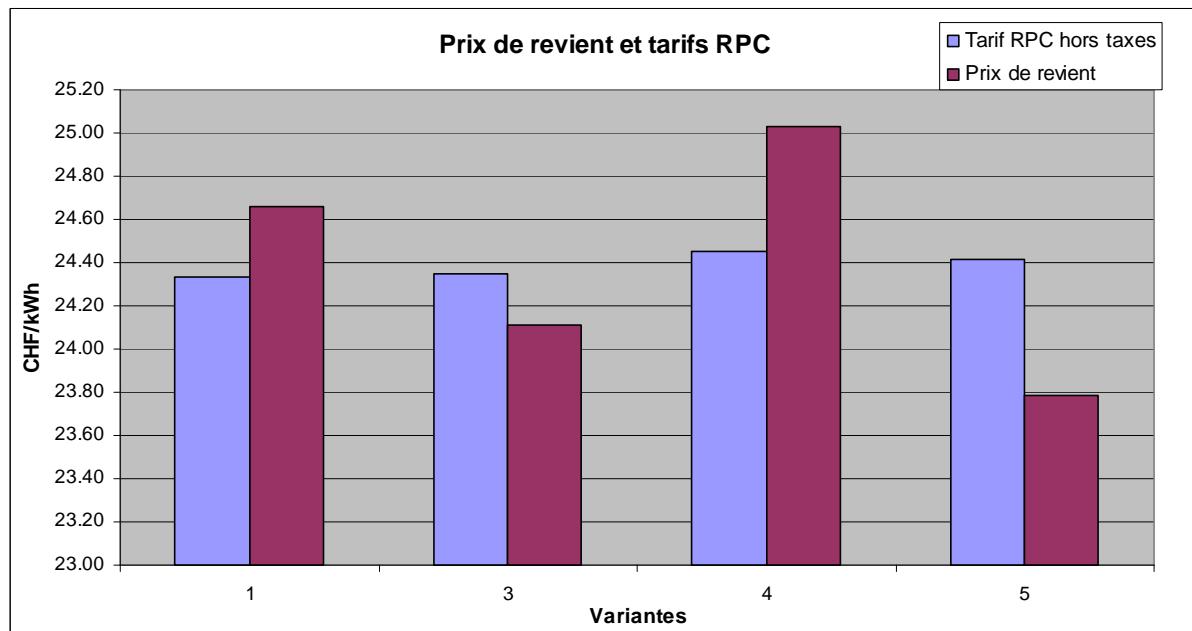


Figure 7. Prix de revient et tarifs RPC pour les différentes variantes retenues



Principales caractéristiques de la variante retenue

Variante			5
Débit nominal de l'installation	Q_{\max}	m^3/s	0.021
Dénivellation	ΔZ	m	252
Coefficient de perte de charge	KHr	s^2/m^5	10'200
Chute nette (à Q_{\max})	H_n	m	245
Vitesse de rotation	n	t/min	1500
Vitesse d'emballement		t/min	2850
Nombre d'injecteurs	z_i	-	1
Axe	-		vertical
Diamètre d'injection	D_1	mm	429
Largeur d'auget	B_2	mm	55
Vitesse spécifique	D_1/B_2	-	7.8
Diamètre extérieur de la roue	D_{ex}	mm	490
Type d'auget		-	E
Nombre d'augets	z_a	-	26
Diamètre cuvelage	D_c	mm	1180
Diamètre embouchures inj.	D_e	mm	24.4
Diamètre injecteur	$D_{\text{inj.}}$	mm	69
Hauteur de dénouage	H_a	mm	200
Hauteur plafond-axe de la roue	H_b	mm	120
Diamètre coude d'injecteur	$D_{\text{coude inj.}}$	mm	3' 10 S
Poussée sur la roue (env.)	F_r	N	2'000
Poussée sur le pointeau (env.)	F_p	N	1'000
Débit minimal turbiné	Q_{\min}	m^3/s	0.002
Puissance hydraulique brute	P_{hb}	kW	52
Puissance hydraulique nette	P_{hn}	kW	51
Puissance mécanique	P_m	kW	46

Tableau 6. Principales caractéristiques de la variante retenue

Le tableau 7 ci-dessous présente le récapitulatif économique pour la variante retenue.



Variante		5
Turbine et installation électromécanique	CHF	222'000
By-pass dissipateur de Carnot	CHF	25'000
Raccordement au réseau	CHF	50'000
Contrôle commande, armoires électriques, alim de secours	CHF	70'000
Génie civil centrale et canal de fuite	CHF	98'000
Chambre de mise en charge	CHF	30'000
Conduite forcée	CHF	46'500
Ingénierie (10%)	CHF	54'150
Divers et imprévus (5%)	CHF	27'075
Total	CHF	622'725
Production électrique annuelle	kWh/an	201'600
Tarif RPC hors taxes	cts/kWh	24.41
Revenu annuel	CHF	49'215
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.7%
Frais d'entretien et charges d'exploitation	CHF	6'000
Tarif RPC hors taxes	cts/kWh	24.41
Marge annuelle	CHF	1'266
Prix de revient	Cts /kWh	23.78

Tableau 7. Calcul économique pour la variante retenue

8 Description des équipements électromécaniques pour la variante retenue

8.1 Turbine

La Figure 8 donne l'évolution du rendement de la turbine à l'accouplement en fonction des débits turbinés pour la variante retenue.

La turbine sera à axe vertical, pour une meilleure évacuation de l'eau, un moindre encombrement, et un démontage-remontage plus aisé.

On utilisera autant que possible de l'acier inoxydable pour la construction de la turbine (acier 13/4 pour la roue).

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, fixés entre deux flasques. Cette méthode 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.

Une solution avec usinage CNC dans un disque forgé est également envisageable.



Of0813 - Zerni
 Q = 21 l/s - Hn = 245 m
 Turbine à un injecteur, 1'500 t/min.
 Rendement mécanique: $\eta = f(Q)$

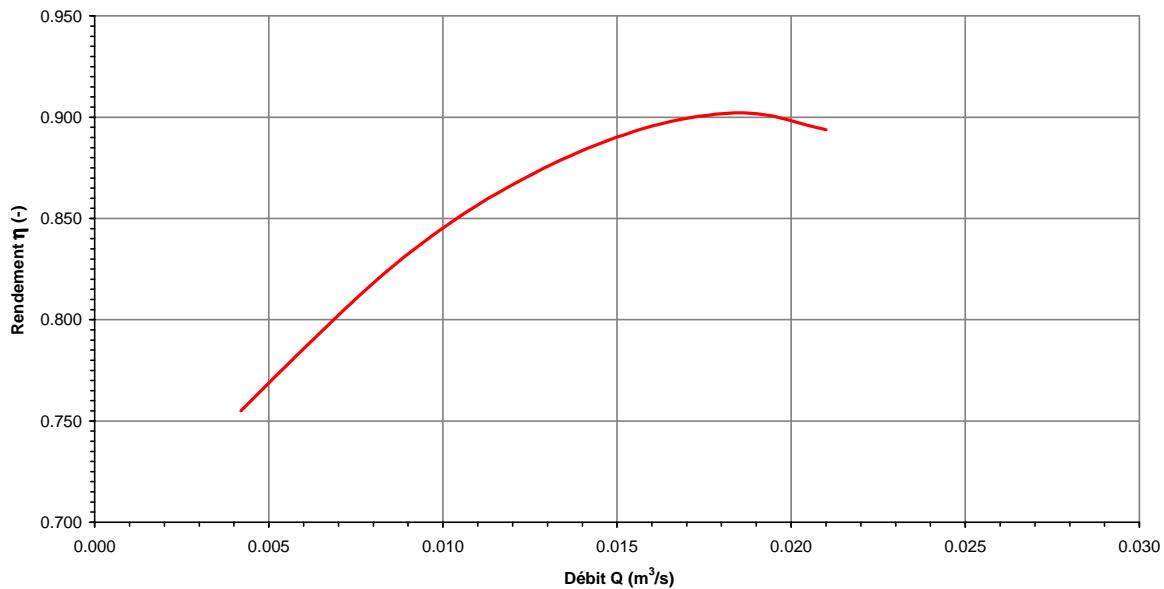


Figure 8. Rendement de la turbine à l'accouplement en fonction des débits turbinés pour la variante 5

En outre, nous recommandons une commande d'injecteur par vérin électrique, ceci afin d'éviter tout système oléo-hydraulique coûteux, et tout risque de pollution.

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

L'eau en sortie de turbine s'écoulera dans le futur réservoir de Zerni.

8.2 Vannes

Une vanne de révision sera installée en amont du turbogroupe. Elle sera de type sphérique (DN 100, PN 40), laissant le passage totalement libre dans la conduite. Sa manœuvre sera manuelle. Cette vanne permettra d'isoler le turbogroupe de la conduite forcée en cas de révision de celui-ci.

Un by-pass de cette vanne de garde est à prévoir en 1" afin de réaliser une mise en charge progressive du répartiteur de la turbine.

Une vanne de garde du by-pass de Carnot sera installée directement après la bifurcation. Elle sera également de type sphérique à passage intégral.

8.3 Alimentation de secours

Pour chacune des centrales, une alimentation de secours en 24 V CC comprenant les batteries, les onduleurs, les indicateurs de charge, les protections, etc., est prévue pour assurer la sécurité en cas de perte de réseau. Les alarmes défaut batterie et surcharge batterie devront être relayées dans le contrôle commande.



8.4 Sécurité d'alimentation en eau potable

L'alimentation en eau de la collectivité doit être assurée en tout temps. De plus, en cas de débit capté plus important que le débit d'équipement de la turbine, il est également nécessaire de dévier une partie du débit vers le réservoir de Zerni.

La centrale devra donc disposer d'un by-pass régulé de la turbine. Celui-ci sera asservi au même contrôle de niveau que la turbine et alimenté par le système de secours en 24 V CC.

En cas d'arrêt d'urgence, le contrôle commande donnera un ordre d'ouverture du by-pass en même temps qu'un ordre de fermeture des injecteurs de la turbine. En cas d'arrêt prolongé pour une révision, par exemple, le by-pass fonctionnera selon le même principe que la turbine.

Lors du redémarrage de la turbine, le by-pass se fermera progressivement tandis que les pointeaux des injecteurs s'ouvriront.

En cas de dépassement du débit d'équipement de la turbine, l'injecteur de la turbine sera ouvert au maximum tandis que l'injecteur du by-pass sera régulé sur le niveau d'eau amont.

8.5 Sécurité de la centrale

La sécurité de la centrale est assurée par le déflecteur de la turbine. En cas d'arrêt d'urgence ou de découplage, le déflecteur entrera en action, empêchant l'emballement de la turbine, le pointeau se fermera lentement afin d'éviter tout risque de coup de bâlier.

La sécurité devra être assurée en cas d'absence de courant. A cette fin :

- le pointeau aura une tendance à la fermeture (autoclave),
- le déflecteur sera actionné par ressort,
- le vérin de commande de l'injecteur sera alimenté en 24 V CC secourus,

Il est possible de prévoir un système de surveillance des vibrations, permettant de déceler toute avarie mécanique sur les parties tournantes de l'installation.

Il est également suggéré d'installer un pressostat en amont direct de la turbine. Cette surveillance de pression permettra de détecter tout problème de fuite sur la conduite, d'obturation partielle de la conduite ou de défaut du système de régulation de niveau conduisant à un début de vidange de la conduite.

8.6 Contrôle-commande

La petite 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. Le signal devrait être fourni en 4 – 20 mA.

La turbine devra pouvoir fonctionner en automatique ou en manuel.

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.

Un système de télé-information sera également installé afin de gérer et de collecter les données de la petite centrale à distance.

Les tableaux comprendront en outre les éléments suivants :



- Commande de l'injecteur avec affichage de l'ouverture,
- Commande d'ouverture du by-pass de secours,
- Réglage de $\text{Cos } \varphi$.

Les indicateurs suivants seront à fournir :

- Voltmètre, wattmètre, fréquencemètre, mesure du $\text{Cos } \varphi$, synchroscope, compte tour,
- Indicateur d'ouverture du pointeau,
- Indicateur de niveau amont,
- Indicateur de charges des batteries de secours,
- Compteur d'heures, compteur de démarrages,
- Températures des roulements et du bobinage de l'alternateur,
- Arrêt d'urgence.

Les alarmes suivantes devront être traitées :

- Niveau amont insuffisant,
- Surcharges alternateur,
- Survitesse,
- 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 et secouru par des batteries.

8.7 Alternateur

Variante		5
Type		Synchrone
		Alternateur sans balai avec excitatrice
Fréquence	Hz	50
Tension triphasée aux bornes	V	400
Vitesse nominale	t/min^{-1}	1500
Rendement maximal	%	93
Puissance active	kW	45
$\text{Cos } \varphi$	-	0.9
Puissance apparente	kVA	50

Tableau 10. Principales caractéristiques de l'alternateur



Les paliers seront à roulements graissés à vie, d'une durée de vie de 100'000 heures. Il sera nécessaire de 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 $\text{Cos } \varphi$ incorporé à la machine.

8.8 Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage

Comme expliqué plus haut, la particularité du site est que toute l'eau transitant captée aux sources doit être acheminée au réservoir de Zerni. Ceci implique la régulation décrite au paragraphe 4.

9 Raccordement électrique

La mini centrale étant de faible puissance, son raccordement au réseau électrique ne nécessite pas la construction d'une station transformatrice 16/0.4kV. Elle sera raccordée au réseau électrique existant basse tension dont le point de raccordement se trouve à une distance d'environ 550m. Un câble souterrain sera posé à cet effet.

10 Génie civil

10.1 Conduite forcée

Les caractéristiques retenues de la conduite sont :

Variantes		Variante 5
Diamètre interne tronçon 1 PE	mm	163.6
Diamètre interne tronçon 2 Fonte	mm	200
Longueur tronçon en fonte	m	528.7
Longueur tronçon en PE	m	658.3

10.2 Local de turbinage

La mini centrale fait partie intégrante d'un projet de construction d'un nouveau réservoir d'eau potable. Le local de turbinage sera intégré à cette construction.

11 Conclusions

- La variante à 21 l/s, avec la pose d'une nouvelle conduite en DN 200 s'avère être la variante la plus intéressante en terme de:
 - qualité de la conduite, qui doit assurer à long terme une perte de charge minimale (un rendement de conduite au débit d'équipement d'environ 90 %),
 - rentabilité, avec un prix de revient de **23.78 cts/kWh** et un **tarif RPC de 24.41 cts/kWh**
- Nous vous rendons attentifs au fait que les rendements de turbine utilisés ici sont ceux obtenus par des turbines développées en laboratoire, et nous vous conseillons de demander à tout fournisseur de turbine de justifier les rendements annoncés.
- La production annuelle de cette petite centrale injectée dans le réseau interconnecté européen évite le rejet dans l'atmosphère d'environ 97 tonnes de CO₂ par an et remplit un des objectifs de développement durable fixé par l'Agenda 21 mis en place dans le canton du Valais.



- La réalisation d'une petite centrale, outre cet aspect écologique valorisant pour la Commune, peut également revêtir un intérêt didactique auprès du public ou des écoles. La visite possible de cette installation pourrait devenir un objectif de ballade et une "attraction" supplémentaire pour la Commune de Sierre.

12 Programme de travail

Les prochaines étapes à mettre en œuvre pour pouvoir réaliser le projet de mise en place de la station de turbinage sont les suivants :

- Annoncer le projet à Swissgrid pour l'obtention de la rétribution à prix coûtant.
- Etablir le projet définitif, obtenir les autorisations nécessaires et lancer les consultations d'entreprises spécialisées dans la fourniture de matériel hydroélectrique, ou en génie civil et plus particulièrement dans la fourniture de conduite.
- Effectuer la commande du matériel, installation et mise en service.

13 Annexes

Annexe A: Plan de situation du captage, de la conduite, du réservoir et du local de turbinage.

Annexe B: Croquis d'encombrement de la turbine et du local de turbinage.

