



Forces Motrices de la Gougra SA

MINI-HYDRAULIQUE EN ANNIVIERS

Projet Ayer - Nava

Etude de variantes et avant-projet

Auteurs:

Groupement Anniviers Hydro

p.a. TELSA SA

Ch. St-Hubert 28

1950 Sion

Tél. 41 27 324 48 40

Fax : +41 27 324 48 58

E-mail : info@telsa.ch



Date: 09.04.2008

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: Rapport No K09261-03

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

Résumé

Ce projet a pour objectif d'exploiter le potentiel énergétique du torrent de la Nava, tout en conservant, à l'aval, les fonctions de la prise d'eau de la Nava (alt. 1620m) :

- Irrigation par aspersion de la région d'Ayer et de Mission,
- Adduction du reliquat vers la galerie Mottec-Vissoie.

Les deux variantes principales concernent l'altitude de la prise d'eau, qui peut avoir lieu à la cote 2'070m ou 2'220m, respectivement à l'aval et à l'amont de la zone de captage du village d'Ayer.

Voir rapport complet.



Forces Motrices de la Gougra



Mini hydraulique en Anniviers

Centrale de Ayer-Nava

Etude de variantes et Avant-projet

Table des matières	Page
1. Contexte _____	5
2. Revue des documents de base _____	6
3. Caractéristiques des aménagements projetés _____	7
3.1 Variante 1	7
3.1.1..... Généralités _	7
3.1.2..... Description des ouvrages _	7
3.2 Variante 1+	9
3.3 Variante 2	9
3.3.1..... Généralités _	9
3.3.2..... Description des ouvrages	10
4. Hydrologie _____	11
4.1 Méthodologie	11
4.2 Courbes des débits classés	11
4.3 Débit résiduel et débit d'irrigation	13
5. Géologie et hydrogéologie _____	15
5.1 Contexte géologique	15
5.2 Observations géologiques et hydrogéologiques	16
5.2.1..... Géologie	16
5.2.2..... Hydrogéologie	16
5.3 Conséquences pratiques	18
5.3.1..... Géologie	18
5.3.2..... Hydrogéologie	18
6. Aspects constructifs _____	19
6.1.1..... Implantation	19
6.1.2..... Accès et logistique	19
7. Incidence sur les aménagements existants _____	20
8. Incidences sur l'irrigation, l'enneigement et l'eau potable _____	20
9. Dimensionnement préliminaire des équipements _____	21
9.1 Caractéristiques hydrauliques de la conduite forcée et choix du débit d'équipement	21
9.1.1..... Profil en long	21
9.1.2..... Choix du débit d'équipement et caractéristique de la conduite	21
9.2 Dimensionnement préliminaire	22
9.2.1..... Choix du type et du nombre de machines	22
9.2.2..... Principe de fonctionnement des installations de turbinage	23
9.2.3..... Turbines	24

9.2.4.....	Vanne de garde et de sécurité	25
9.2.5.....	Alternateur	25
9.2.6.....	Connexion au réseau et transformateur	26
9.2.7.....	Contrôle commande	26
9.3	Calculs de production	26
9.3.1.....	Production sans irrigation	28
9.3.2.....	Production avec irrigation maximale	28
10.	Analyse économique comparative des variantes	28
10.1	Investissements	29
10.2	Chiffre d'affaire annuel	30
10.2.1	Sans irrigation	30
10.2.2	Avec irrigation maximale	31
10.3	Calcul du prix de revient et de la marge	31
10.3.1	Sans irrigation	31
10.3.2	Avec irrigation maximale	32
10.4	Choix de la variante retenue	32
11.	Avant-projet de la variante retenue	33
11.1	Description technique des ouvrages de génie civil.....	33
11.1.1	Prise d'eau	33
11.1.2.....	Prise d'eau secondaire	34
11.1.3.....	Dessableur	34
11.1.4.....	Chambre de mise en charge	35
11.1.5.....	Conduite forcée	36
11.1.6.....	Centrale et restitution	36
11.2	Description technique de la partie électromécanique	37
11.2.1	Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	37
11.2.2.....	Turbine	37
11.2.3.....	Vanne de garde	39
11.2.4.....	Alternateur	39
11.2.5.....	Raccordement électrique / TFO 16KV	41
11.2.6.....	Contrôle commande	41
11.2.7.....	Alimentation de secours	43
11.2.8.....	Sécurité des équipements	43
11.2.9.....	Maintenance	43
11.2.10	Garanties	43
11.3	Terrains et servitudes	44
11.4	Calculs économiques.....	44

11.4.1	Investissements	45
11.4.2	Chiffre d'affaire annuel	46
11.4.3	Calcul du prix de revient et de la marge selon OEne	46
11.4.4	Calcul du prix de revient avec amortissement classique	47
12. Notice préliminaire d'impact		48
12.1 Introduction.....		48
12.2 Concessions et procédures.....		48
12.2.1	Concessions	48
12.2.2	Procédures	48
12.3 Projet technique.....		49
12.3.1	Aménagements	49
12.3.2	Débits de dotations	49
12.4 Diagnostic environnemental		50
12.4.1	Etat actuel	50
12.4.2	Impacts attendus	50
12.4.3	Etudes nécessaires	50
12.5 Protection de la flore		50
12.5.1	Etat actuel	50
12.5.2	Impacts attendus	51
12.5.3	Etudes nécessaires	51
12.6 Protection du paysage / tourisme		51
12.6.1	Etat actuel	51
12.6.2	Impacts attendus	51
12.6.3	Mesures	52
12.7 Faune		52
12.7.1	Etat actuel	52
12.7.2	Impacts attendus	52
12.7.3	Mesures	52
12.8 Protection contre le bruit		52
12.8.1	Etat actuel	52
12.8.2	Impact attendus et études nécessaires	53
12.9 Eaux de surfaces		53
12.9.1	Etat actuel	53
12.9.2	Impacts attendus	53
12.9.3	Mesures	53
12.10 Protection des sols.....		54
12.10.1	Etat actuel	54

12.10.2	Impacts attendus	54
12.10.3	Mesures	54
12.11 Protection de la forêt		54
12.11.1	Etat actuel	54
12.11.2	Impacts attendus	54
12.11.3	Etudes nécessaires	56
12.12 Dangers naturels		56
12.12.1	Etat actuel	56
12.12.2	Etudes nécessaires	56
12.13 Synthèse		57
13. Calendrier prévisionnel/Suite des démarches		58
14. Remarques et recommandations		58

Contexte

Ce projet a pour objectif d'exploiter le potentiel énergétique du torrent de la Nava, tout en conservant, à l'aval, les fonctions de la prise d'eau de la Nava (alt. 1620m) :

- Irrigation par aspersion de la région d'Ayer et de Mission,
- Adduction du reliquat vers la galerie Mottec-Vissoie.

Les deux variantes principales concernent l'altitude de la prise d'eau, qui peut avoir lieu à la cote 2'070m ou 2'220m, respectivement à l'aval et à l'amont de la zone de captage du village d'Ayer.

Concernant l'implantation de la centrale, la solution la plus évidente consiste à restituer les eaux à l'amont de la prise d'eau existante, à l'altitude 1620 m. On s'affranchit ainsi à la fois du problème de l'irrigation et de l'adduction vers la galerie Mottec-Vissoie.

Une autre variante exploite la possibilité d'installer la centrale 48 m plus bas, à l'altitude 1572 m, soit 2 m au dessus de la cote maximale de l'eau dans la cheminée d'équilibre de Vissoie. La liaison avec la galerie Mottec-Vissoie est alors maintenue, toutefois l'irrigation n'est plus possible. Les deux solutions suivantes peuvent alors être envisagées:

- Réaliser un piquage sous pression à la cote 1620 m dans la nouvelle conduite forcée au moyen d'une vanne de type Clayton.
- Détourner les eaux du torrent d'Ayer en substitution de celle de la Nava.

D'un point de vue hydrologique, les deux implantations possibles de la prise d'eau n'ont pas une importance prépondérante sur le débit d'équipement. La différence réside plutôt dans l'impact que peuvent avoir les prises sur les captages d'eau potables des villages d'Ayer et de Mission.

Revue des documents de base

Deux documents ont été remis au Groupement au début du projet, servant de base à cette étude :

- [1] : IDEALP, Mini-hydraulique, Evaluation des potentiels hydrologiques et énergétiques de nouveaux captages dans le val d'Anniviers, Rapport technique, Sion, 24 avril 2007
- [2] : HES SO Valais (M. Dubas, Y. Pigueron), Val d'Anniviers : mini-hydraulique, Mandat No 19075, 19 juillet 2007.

Lors de la visite sur site du 1^{er} octobre 2007, le géologue a confirmé les craintes émises par HES dans l'étude [2] vis-à-vis des captages d'eau potable effectués en rive gauche à proximité des deux variantes de prise. L'étude hydrogéologique présentée dans ce rapport (cf. chapitre 0) a donc été orientée tout particulièrement sur ces interactions potentielles entre le système d'adduction d'eau potable existant et ce projet de mini hydroélectricité.

De même, la possibilité évoquée rapidement dans l'étude [2] de capter le torrent passant à proximité du lieu dit « Le Chiesso » a été reprise, donnant même lieu à une variante additionnelle.

La solution consistant à détourner le torrent d'Ayer pour subvenir à l'irrigation semble en revanche moins évidente à mettre en œuvre car son débit était quasi nul lors de la visite sur site. Une campagne de mesure du débit a été lancée afin de vérifier cette observation ponctuelle, en vue de tirer le meilleur profit du torrent d'Ayer, même partiellement.

Les autres points ayant fait l'objet de réévaluations sont les suivant :

- le diamètre de la conduite forcé a été légèrement augmenté par rapport à l'étude initiale afin de limiter les pertes de charge et d'obtenir un rendement de conduite du même ordre de grandeur que celui du rendement des équipements que le futur exploitant est en droit d'exiger. Cette mesure permettra d'accroître la rentabilité du projet à long terme,
- le choix du débit d'équipement a été fait sur la base de courbes des débits classés journaliers et non pas mensuel, ceci de manière à éviter l'effet de lissage des crues et des étiages,
- les coûts unitaires des ouvrages de génie civil ont été revus à la hausse.

En contrepartie de l'augmentation des coûts unitaires de construction, il sera peut-être possible de simplifier l'aménagement en supprimant le dessableur. Cette éventualité est conditionnée par une étude plus poussée du charriage, qui, en première approximation paraît faible.



Caractéristiques des aménagements projetés

VARIANTE 1

Généralités

La prise d'eau est positionnée à l'aval de la zone de captage en altitude qui alimente le village d'Ayer, à la cote 2070m. La conduite chemine en bordure du torrent de la Nava, jusqu'à la centrale implantée à l'amont de la prise d'eau vers la galerie d'amenée de Mottec-Vissoie (altitude 1620m).

Description des ouvrages

Prise d'eau et dessableur

La prise d'eau est préférentiellement implantée en rive droite, pour se placer d'emblée du côté le plus favorable pour le cheminement de la conduite forcée, et pour éviter de devoir traverser la rivière par la suite. La prise préconisée est assurément de type « tyrolien », au vu de la forte déclivité du terrain.

Le dessableur présente une surface de 19 m^2 , avec 1.5 m de largeur pour 13 m de longueur, pour un débit d'équipement de l'ordre de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$.



Photo 0.1 : Site pour implantation des ouvrages de prise – Variante 1

Chambre de mise en charge

La chambre de mise en charge intervient aussitôt après le dessableur (un canal d'amenée n'apporterait pas de réduction significative de la longueur de la conduite forcée). En regroup-

pant ainsi tous les organes de prise, on réduit les coûts d'aménagement d'accès.

Conduite forcée

La conduite forcée chemine entièrement en rive droite, en terrain arboré et pentu.

La rive gauche offre une seconde alternative grâce à une combe dégagée localisée à une centaine de mètres de la rivière. Mais avant de rejoindre ce site préférentiel, la conduite doit traverser un épi rocheux dont le passage s'annonce coûteux. Cette solution amènerait de surcroît à retraverser la rivière plus en aval pour se placer du côté pressenti pour l'implantation de la centrale.

Centrale hydroélectrique et restitution

Le positionnement de la centrale est sujet à variantes, soit pour optimiser la hauteur de chute, soit pour en faciliter la construction :

- Variante A : la centrale est construite sur la rive droite, en amont de la prise de la Nava permettant de répartir les eaux entre la galerie de Mottec-Vissoie et le réseau d'irrigation (voir Photo 0.2). On profite ainsi des ouvrages existants ; en particulier, on conserve le dessableur souterrain existant vers la liaison vers Mottec-Vissoie, pour avoir la possibilité de revenir au fonctionnement actuel en cas d'avarie.



Photo 0.2 : Site pour l'implantation de la centrale – Variante A

- Variante B : la centrale est exploitée 48m plus bas, à l'altitude 1572m, soit 2m au dessus de la cote maximale de l'eau dans la cheminée d'équilibre de Vissoie. Cette option nécessite une nouvelle liaison en galerie vers la galerie Mottec-Vissoie. L'irrigation est réalisée par piquage sous pression au moyen d'une vanne de type Clayton (ou éventuellement, possibilité de détourner les eaux du torrent d'Ayer, à vérifier en fonction des résultats de la campagne de mesure en cours).
- Variante C : pour bénéficier d'un terrain plus propice, on implante la centrale sur le terrain adjacent à la galerie d'accès à la Galerie Motec Vissoie. Cette variante a toutefois été abandonnée car elle nécessite l'installation d'une turbine en contre-pression.



Remarque : une variation technique de la variante A consiste à construire la centrale par-dessus le génie civil de la prise existante ; mais une telle hauteur de bâtiment obstruerait davantage encore le lit de la rivière, ce qui pourrait se révéler dangereux en cas de crue.

Dans tous les cas, la turbine est de type Pelton.

Equipement électrique

Une ligne 16KV d'une longueur d'environ 350 m doit être installée pour permettre d'injecter cette énergie dans le réseau SIESA

VARIANTE 1+

Cette option consiste à détourner les eaux d'un torrent passant à proximité du lieu dit « Le Chiesso » en direction de la prise principale sur la Nava. L'aménagement ne présente qu'une prise tyrolienne à l'altitude 2105 m environ, le dessablage et la mise en charge ayant lieu à la prise principale

L'acheminement jusqu'à la prise de la Nava se fait en écoulement libre, alternant les portions de canal et de conduite sous route. Pour ne pas passer en charge, le canal (respectivement la conduite) doit avoir une pente régulière, avec des pertes de charge par changement de section les plus faibles possibles.

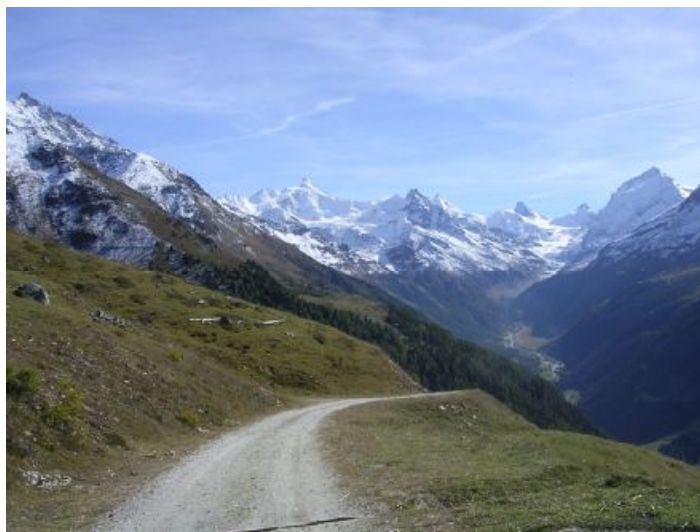


Photo 0.3 : Route entre Le Chiesso et la Nava, croisée par le futur canal/conduite

La restitution du canal a lieu directement dans le torrent de la Nava, suffisamment en amont de la prise principale.

VARIANTE 2

Généralités

La prise d'eau est positionnée à la cote 2220 m, en amont de la zone de captage qui alimente le village d'Ayer. Le cheminement de la conduite est similaire ; la centrale est implan-

tée au même endroit, à l'amont de la prise d'eau vers la galerie de Mottec-Vissoie (altitude 1620 m).

Description des ouvrages

Prise d'eau, dessableur, chambre de mise en charge

Même aménagement que pour la variante 1.

Conduite forcée

La conduite forcée chemine en rive droite, jusqu'à la prise de la variante précédente ; puis elle reprend le même tracé jusqu'à la centrale.

Centrale hydroélectrique et restitution

Même aménagement que pour la variante 1.



Hydrologie

METHODOLOGIE

La méthode utilisée pour déterminer les courbes de débits classés se base sur une hypothèse de similitude entre l'hydrologie du bassin versant pour lequel on ne dispose pas de mesures et celle d'un bassin versant de référence, ayant des caractéristiques similaires. Les paramètres de comparaison des bassins versants sont l'altitude moyenne et la surface.

Cette démarche permet de découpler la forme de la courbe de débit classé et le calcul de la lame ruisselée annuelle moyenne :

- La courbe de débits classés du bassin de référence est normalisée¹ de façon à n'en conserver que la forme (caractéristique de la catégorie de bassin versant recherchée : glaciaire, nival, pluvial,...etc.)
- La lame de ruissellement propre au site étudié est déterminée sur la base d'informations géographiques calculées pour toute la suisse par l'OFEV (couche Raster) croisée avec la situation topographique du bassin versant (établie sur la carte nationale au 1:25'000)

Finalement, la courbe des débits classés de référence est ajustée de manière à avoir un volume ruisselé par intégration identique à celui calculé sur la base de la lame ruisselée moyenne annuelle et de la surface du bassin versant.

Pour chaque bassin versant et chaque variante d'implantation de la prise d'eau, on définit ainsi une courbe des débits classés au pas de temps journalier.

Le bassin versant de référence utilisé ici est celui de Krummbach-Klusmatten, issu de l'Atlas hydrologique de la Suisse. Son altitude moyenne est de 2276 m et sa surface de 19.8 km². Son hydrologie est totalement naturelle (pas de captage du cours d'eau).

COURBES DES DEBITS CLASSES

Trois variantes de bassins versants sont envisagées pour le Torrent de Nava. Elles sont présentées sur la carte de l'annexe 2.

Les variantes 1 et 2 correspondent respectivement aux bassins versants alimentant les prises d'eau 8.2 et 8.2 bis.

Afin d'augmenter la surface du bassin versant de la variante 1, une troisième prise d'eau est placée à proximité du village de Nava, à 2105 m d'altitude sur le cours d'eau provenant du lieu dit « Le Chiesso ». L'eau captée est ensuite acheminée en amont de la prise d'eau numéro 8.2. L'ensemble constitue la variante 1+.

¹La normalisation consiste à ramener toutes les courbes des débits classés à une courbe de forme identique, qui présente un débit moyen annuel de 1 m³/s, c'est-à-dire un volume annuel ruisselé de 31.5 mio m³ (365 jours × 24 heures × 3600 secondes).

Le tableau 4.1 résume les principales caractéristiques des variantes de bassins versants et indique le volume d'eau disponible par an. La figure 4.1 présente les courbes de débits classés des trois variantes de bassins versants.

Nom	Surface [km ²]	Volume disponible [mio m ³ /an]	Définition
Variante 1	3.9	4.1	BV alimentant la prise d'eau N°8.2 (2070 m)
Variante 1+	4.3	4.5	BV alimentant les prises d'eau N°8.2 (2070 m) et N°8.2+ (2105 m)
Variante 2	3.0	3.3	BV alimentant la prise d'eau N°8.2 bis (2220 m)

Table 0-1 : Définition des variantes des bassins versants

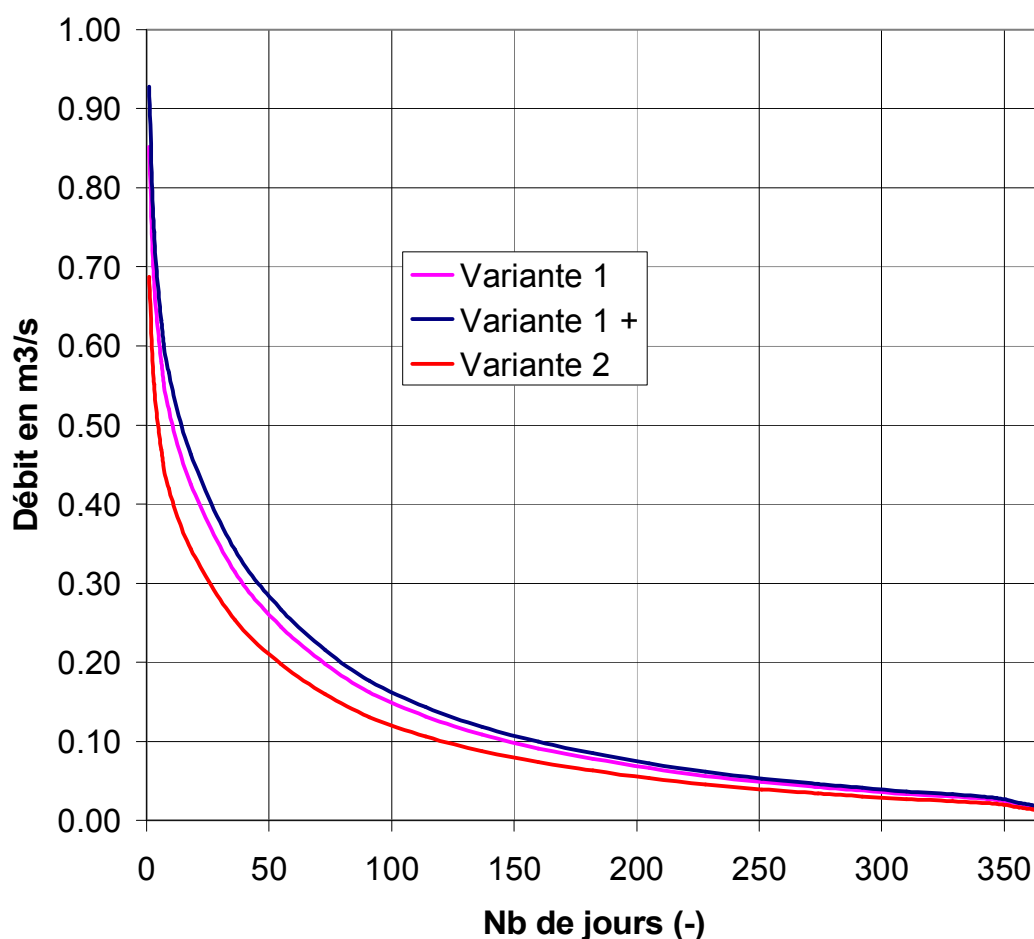


Figure 0-1 : Courbes des débits classés de la Nava pour les trois variantes de bassin versant

Ces débits classés ne tiennent pas compte des débits de dotation. Ils ne tiennent pas non plus compte du débit prélevé pour alimenter le réservoir situé à proximité de la prise d'eau numéro 8.2 (données de M Viaccoz).

L'Alpage du Chiesso est alimenté en électricité par une petite turbine. Selon les indications



fournies par FMG SA, sa puissance et le débit nécessaire à son fonctionnement sont faibles, ce que confirme l'observation de son exutoire. Il n'a donc pas été tenu compte d'une éventuelle influence de ce micro-turbinage sur l'hydrologie de la variante 1+.

DEBIT RESIDUEL ET DEBIT D'IRRIGATION

Les courbes de débits classés déterminées au paragraphe précédent ne représentent pas le débit turbinable, puisqu'elles ne tiennent compte ni des débits de dotation, ni de l'influence de l'irrigation dans le cas de la variante B d'implantation de la centrale.

La Nava faisant partie de la concession en faveur des FMG SA valable jusqu'en 2039, l'art. 31 de la LEaux ne s'applique en principe pas. Le débit de dotation est ainsi soumis à décision de l'autorité compétente en la matière, selon l'art. 83 de ladite loi. Ainsi, le débit de dotation considéré dans l'étude est de 10 l/s.

Le chapitre 12.3.2 donne de plus amples renseignements sur la détermination de ce débit.

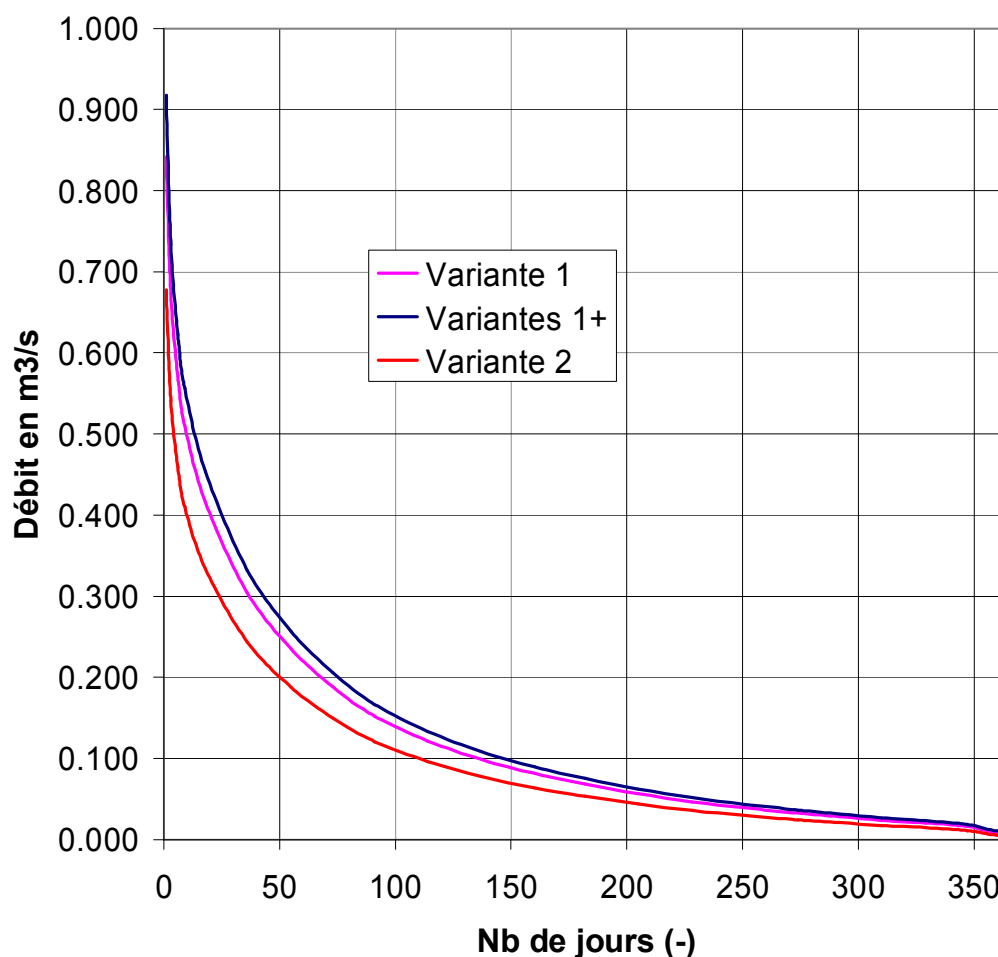


Figure 0.2 : Courbes des débits classés de la Nava disponibles pour l'irrigation et le turbinage pour les trois variantes de bassin versant

Par ailleurs, le bisse a droit à une dotation de 110 l/s entre le 15 mai et le 15 septembre. En émettant l'hypothèse, basée sur la courbe des débits moyens mensuels du rapport de la HES, que l'ensemble des hauts débits journaliers se concentrent sur la période mai-

septembre, il est dès lors possible de déterminer les courbes des débits classés à disposition de la turbine pour la variante d'implantation B de la centrale, située en aval de la prise pour l'irrigation (voir Figure 0.3).

En réalité, le débit réellement disponible pour la turbine se situera certainement entre ces deux extrêmes, étant entendu qu'il est rare que les besoins de l'irrigation soient permanents et à débit maximal durant toute la période considérée.

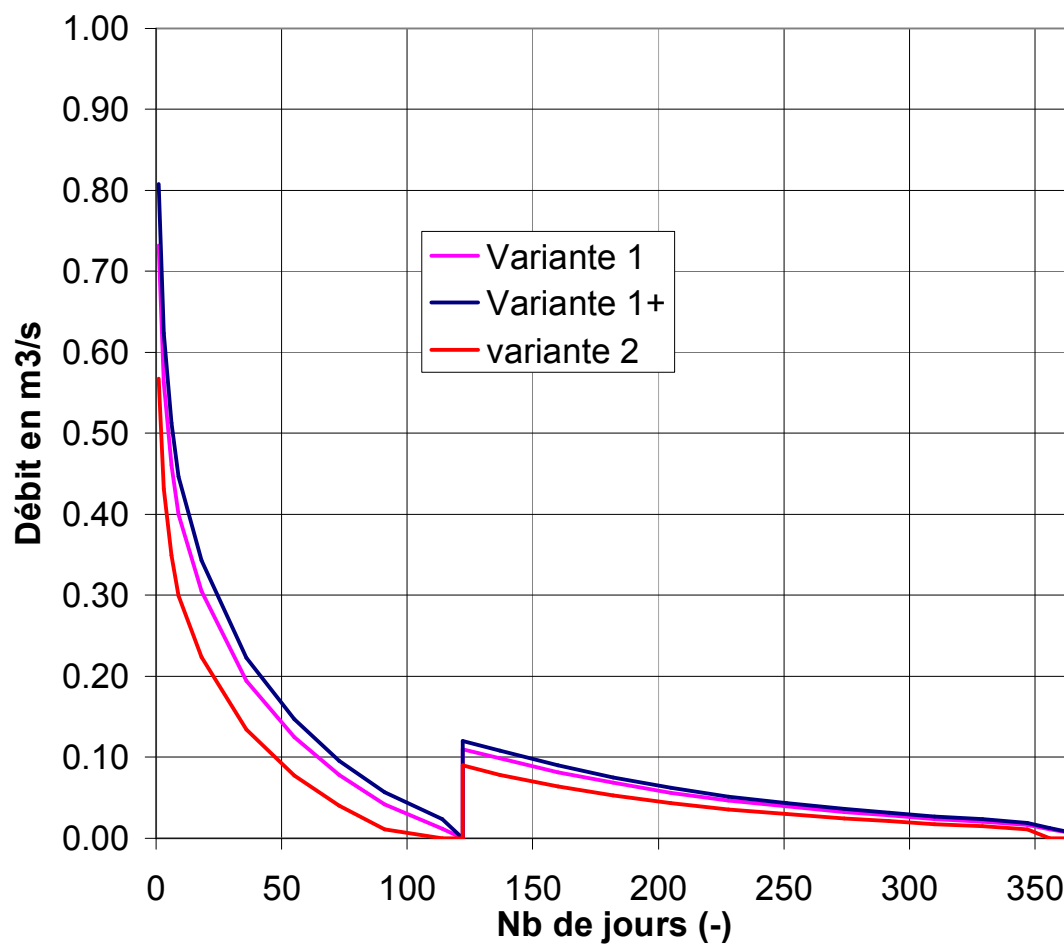


Figure 0.3 : Courbes des débits classés de la Nava disponibles pour le turbinage pour les trois variantes de bassin versant, compte tenu de l'irrigation pour la variante d'implantation de la centrale B.

Au final, l'incidence de la dotation est minime sur les courbes des débits classés.



Géologie et hydrogéologie

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le site du projet se situe dans un terrain relativement escarpé constitué de moraine ancienne dans sa partie sommitale et d'affleurements rocheux de gneiss amphibolitiques et de prasinites (Complexe rubané) dans sa partie inférieure. Ces roches appartiennent au socle cristallin anté-permien de la Nappe de Siviez-Mischabel (cf. Figure 1).

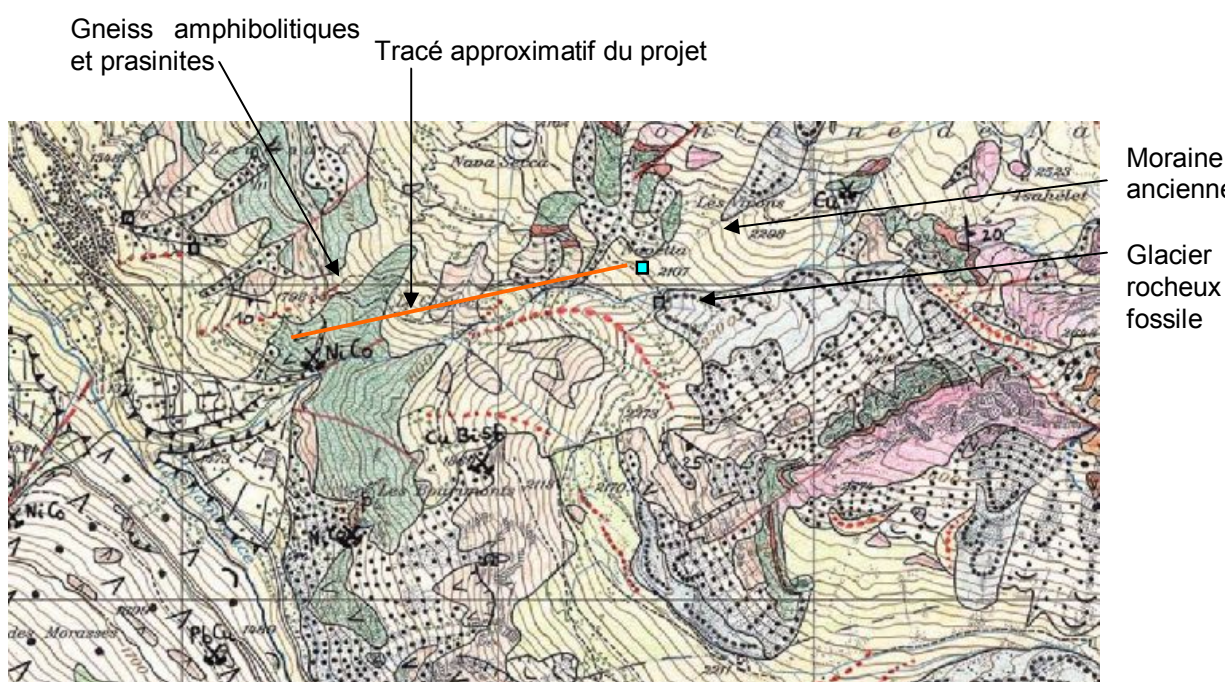


Figure 0-1 : Extrait de la feuille 1307 Vissoie – Atlas géol. Suisse 1 :25'000, carte 122 (Marthaler, M., Sartori, M., Escher, A., en prép.) avec indication approximative du tracé.

D'un point de vue hydrogéologique, on notera la présence d'une source captée avec zone de protection (cf. Figures 1 et 2). Ce captage se situe au dessus de la prise d'eau d'une des variantes. Il existe cependant une seconde variante qui propose de capter le torrent plus en amont.

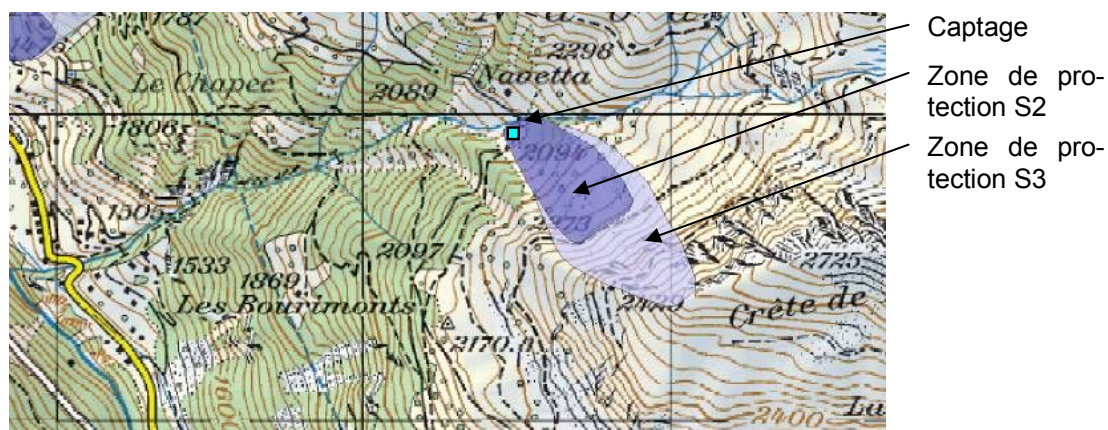


Figure 0-2 : Carte des Zones de protection

OBSERVATIONS GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES

Géologie

Aucun indice de glissement actif n'a été observé dans les matériaux morainiques, lors de la visite de terrain.

Dans le secteur du bas, des dièdres rocheux ont pu être observés dans la falaise. Il existe donc un danger de chute de blocs.



Photo 0.1 : Falaise et présence de compartiments potentiellement instables

Hydrogéologie

La source captée est alimentée par des écoulements souterrains peu profonds au sein de dépôts grossiers situés en amont. Il s'agit de dépôts d'un glacier rocheux (dans le cas présent : fluage par la déformation de glace interstitielle de dépôts rocheux éboulés) aujourd'hui fossile. L'alimentation en eau provient de l'infiltration des eaux météoriques au sein de ces matériaux (cf. Figures 5.1 et 5.2 ainsi que la photo 5.2). La délimitation des zones de protection a été établie sur la base d'une interprétation similaire (cf. Figure 5.2).

Les températures relativement élevées des eaux souterraines (3.6°C, le 22 octobre 2007) indiquent qu'il est peu probable qu'il y ait encore de la glace interstitielle.





Photo 0.2 : Manteau de blocs à la surface du glacier rocheux fossile

Les observations de terrain montrent cependant une deuxième alimentation possible provenant de l'infiltration du torrent dans lequel il prévu de placer la prise d'eau. Le torrent longe effectivement le front du glacier rocheux et pourrait s'infiltrer dans ces matériaux grossiers (cf. Photo 3).

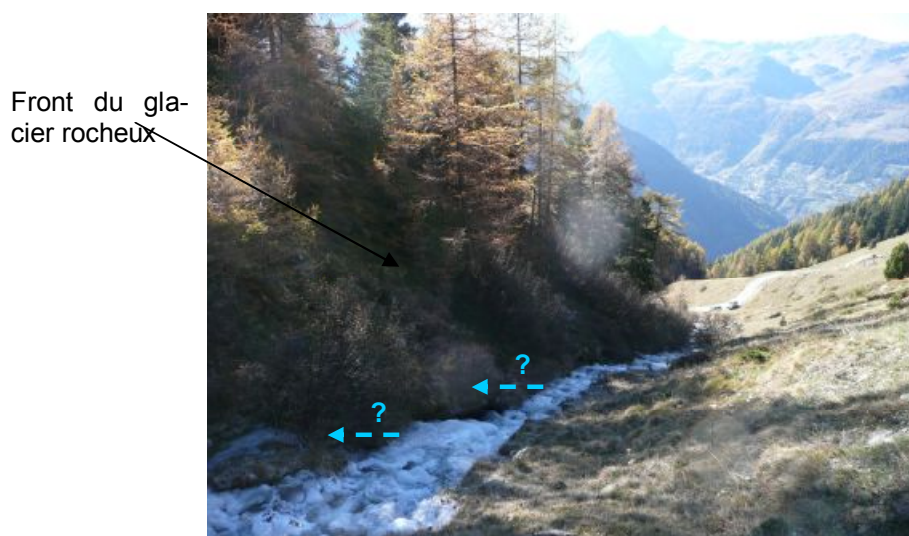


Photo 0.3 : Infiltration possible du torrent dans le front du glacier rocheux fossile en amont du captage.

Des mesures de la conductivité électrique et de la température ont été effectuées dans le torrent ($223\mu\text{S}/\text{cm}$ et 0.4°C) et dans les eaux souterraines ($286\mu\text{S}/\text{cm}$ et 3.6°C). La minéralisation des eaux souterraines, bien que plus élevée que celle des eaux de surface, reste toutefois faible et ne permet pas d'exclure une alimentation par l'infiltration du torrent.

CONSÉQUENCES PRATIQUES

Géologie

L'implantation de la conduite dans le secteur rocheux du bas ne sera pas aisée compte tenu de la topographie irrégulière et pentue.

Des protections appropriées devront être prévues pour protéger le secteur de la mini-centrale en raison des dangers de chute de blocs (filet de protection, etc).

Hydrogéologie

L'implantation d'une prise d'eau en aval de la source captée ne poserait aucun problème quant aux eaux souterraines captées.

L'implantation d'une prise d'eau en amont du captage pourrait en revanche affecter le débit de ce dernier. Si l'on admet effectivement que le torrent participe à l'alimentation du captage par son infiltration, une diminution de son débit entraînera une diminution de son infiltration et ainsi du débit de la source.

Le programme suivant pourrait être envisagé pour estimer la contribution du torrent à l'alimentation du captage.

- 1) Dans un premier temps déterminer si le torrent s'infiltre au moyen de jaugeages en plusieurs points le long du cours d'eau.
- 2) Si l'on constate une diminution du débit du torrent d'amont en aval, l'apport du torrent au captage pourra être déterminé par un essai de traçage dans le torrent (injection d'uranine) et des analyses au captage de façon à obtenir la courbe de restitution du traceur. Le taux de restitution ainsi que la mesure du débit au point d'injection et au captage permettra de déterminer la contribution du torrent.
- 3) L'opération devra être répétée en conditions différentes (périodes de basses et hautes eaux) afin d'évaluer les fluctuations de la contribution du torrent.

Dans le cas où le torrent participerait à l'alimentation du captage, un accord devra être trouvé avec les propriétaires du captage pour implanter la prise d'eau en amont (recherche de nouvelles ressources, etc.).

Les terrains du site étudié sont essentiellement constitués de moraine ancienne et présentent une topographie moyennement escarpée (cf. *Figure 0-1*).

Le soubassement rocheux est formé par des gneiss amphibolitiques (Formation de Lirec) et des gneiss chloriteux (Complexe de l'Ergischhorn) – Socle cristallin anté-permien de la Nappe de Siviez-Mischabel. Ces roches n'affleurent que très localement dans le cours du torrent ; elles ne devraient donc pas être rencontrées le long du projet en raison de l'épaisseur importante de moraine.



Aspects constructifs

Implantation

Les principaux écueils de ce projet sont relatifs à la forte déclivité du terrain sur l'ensemble de la zone d'aménagement. :

- dans les variantes de prise 1 et 2, le dessableur doit être construit parallèlement aux lignes de niveau afin de limiter les volumes de terrassement. Cette solution implique un éloignement à la rivière des organes de purge. Pour la stabilité du terrain, cette purge ne peut se faire dans un simple lit d'enrochement ; le retour à la rivière devra se faire par une rigole en perré maçonné, ou par un canal couvert.
- pour passer les parois rocheuses, des tronçons de conduite à l'air libre sont à prévoir, avec renforcement par des ancrages en béton dans les angles. La conduite doit alors être protégée par des filets, lorsque le terrain amont est instable (cf. conclusion de étude géologique 0).
- la construction de la centrale en surplomb de la prise vers la conduite Mottec-Vissoie (variante A) nécessitera de gros travaux de terrassement. La variante B est plus favorable sur ce point.

En dépit de ces complications, on peut noter que la conduite ne traverse pas de terrain particulièrement instable ou de glissement en rive droite (on évite au moins le surcoût consistant à renforcer le lit de fouille par un « U » en béton armé sur toute la longueur).

Un autre point positif est de déjà connaître la géologie dans le cas où l'on opterait pour la variante B de la centrale, dans la mesure où la roche a déjà été éprouvée lors du percement de la galerie existante.

Accès et logistique

Pour la pose de la conduite forcée, l'héliportage des éléments de conduite et des matériaux de remblai est à prévoir. L'excavation de la fouille elle-même nécessitera des engins de chantier de type « araignée » étant donné la difficulté du terrain.

L'idéal serait que les travaux soient réalisés simultanément par deux équipes compte tenu de la fenêtre de temps réduite (au mieux de mai à octobre). En outre, la partie la plus en amont prendra vraisemblablement un à deux mois de retard pour cause de fonte différée en haute altitude.

La réalisation de la centrale en surplomb de la prise existante de Mottec-Vissoie constitue l'autre point d'achoppement de ce projet. Des équipes séparées devront donc travailler simultanément sur chacun des organes pour tenir les délais.

Incidence sur les aménagements existants

L'implantation de la centrale à la cote 1620m selon la variante 1 ne nécessite pas de travaux majeurs vis-à-vis de la galerie de Mottec-Vissoie, ni du réseau d'irrigation.

En revanche, son positionnement en amont des ouvrages existants n'est pas sans difficultés techniques. En l'occurrence, le seul emplacement possible est en surplomb de la paroi rocheuse visible à gauche sur la *Photo 0.2*.

La variante d'implantation B est plus aisée en ce qui concerne la construction de la centrale mais le maintien des fonctionnalités requises (irrigation et alimentation de la galerie Mottec-Vissoie) entraîne également d'importants travaux.

Incidences sur l'irrigation, l'enneigement et l'eau potable

D'après l'étude hydrogéologique (*cf. chapitre 0*), la variante 2 présente un risque d'abaissement de la nappe approvisionnant les captages du village d'Ayer. De par leur positionnement, les variantes 1 et 1+ n'auront par contre pas d'influence sur les captages d'eau potable.

Selon les observations faites lors des visites de sites, il semble peu probable que l'éventuelle captation du torrent d'Ayer permette de maintenir un débit suffisant pour l'irrigation. En l'absence de mesures de débits sur ce cours d'eau durant la période d'irrigation, l'étude de variantes prend donc en compte une solution avec piquage intermédiaire sur la conduite forcée. Cette solution n'est bien entendu pas sans poser divers problèmes techniques, si l'on pense par exemple au fait qu'il conviendrait de dissiper une pression de 45 bar environ au droit du piquage.

La variante A d'implantation de la centrale n'aura quant à elle aucune influence sur l'irrigation, puisque son exutoire serait situé en amont immédiat de la prise actuelle de FMG SA.

Selon les informations reçues de FMG et de la commune d'Ayer (Président), il n'existe aucune interaction avec un quelconque projet d'enneigement artificiel.



Dimensionnement préliminaire des équipements

CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA CONDUITE FORCEE ET CHOIX DU DEBIT D'EQUIPEMENT

Profil en long

Un tracé des conduites forcées a été fait sur la base de la carte nationale au 1:25'000, agrandie au 1:10'000. Bien que cette information ne soit pas suffisante pour lancer des travaux, elle permet toutefois d'estimer les longueurs nécessaires avec suffisamment de précision.

Pour l'implantation de la centrale en amont de la prise d'eau de la galerie Motec-Vissoie (Variante A), la longueur totale des conduites forcées est ainsi de l'ordre de 1'030 m pour les Variantes 1 et 1+, de 1'755 m pour la Variante 2.

Pour l'implantation de la centrale en aval de la prise d'eau de la galerie Motec-Vissoie (Variante B), la longueur totale des conduites forcées est ainsi de l'ordre de 1'155 m pour les Variantes 1 et 1+, de 1'880 m pour la Variante 2.

Choix du débit d'équipement et caractéristique de la conduite

Les calculs de perte de charge dans les conduites ont été effectués avec la formule de Colebrook en fonction des longueurs estimées et d'une rugosité de 0.1 mm, hypothèse conservative pour une conduite en acier ou fonte, correspondant à une conduite en fonction depuis quelques années.

Pour chaque variante hydrologique, un débit d'équipement a été choisi sur la base d'un calcul itératif prenant en compte le diamètre de la conduite forcée et la production attendue.

D'un point de vue qualitatif, nous avons exclu tout diamètre de conduite conduisant à un rendement de conduite inférieur à 90%, celui-ci étant défini comme le rapport entre la chute nette à débit nominal et la dénivellation exploitable. Il est en effet judicieux de considérer un niveau de performance du même ordre de grandeur que celui exigé pour les turbines, générateurs et transformateurs. De plus, la perte de charge étant inversement proportionnelle à la puissance 5 du diamètre de la conduite, une faible augmentation de diamètre a des effets importants sur la production tout en ayant un impact limité sur le coût.

Enfin, la nature des courbes de débits classés, présentant une forte tendance torrentielle a conduit à choisir des débits d'équipement autour de Q_{50} . C'est en effet dans le haut de la courbe des débits classés que des gains de productivité importants peuvent être faits.

Les résultats de ce processus sont donnés dans le Tableau 0.1.

Numéro de variante	A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
Dénivellation en m	450	450	600	500	500	650
Longueur de la conduite en m	1'030	1'030	1'755	1'155	1'155	1'880
Diamètre de la conduite en mm	300	300	300	300	300	300
Débit d'équipement en l/s	240	270	200	240	270	200
Perte de charge en m à $Q_{\max}$	33.1	41.2	39.7	37.1	46.2	42.4
Rendement conduite à $Q_{\max}$ en %	92.6	90.8	93.4	92.6	90.8	93.5

Tableau 0.1 : Choix des diamètres de conduite

DIMENSIONNEMENT PRELIMINAIRE

Choix du type et du nombre de machines

La dénivellation et les débits en jeu imposent de choisir une turbine Pelton. On relèvera en outre que ce type permet de répondre de manière idéale à des courbes de débits classés de type torrentiel, comme c'est le cas dans le présent projet.

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

- Nature de la courbe des débits classés (variations de débits et écarts entre le débit maximum et le débit minimum), étant entendu que plus on veut conserver une bonne caractéristique de rendement à charge partielle, plus il faut d'injecteurs,
- Taille des équipements, le but recherché étant d'avoir les dimensions les plus compactes pour limiter les coûts du 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) supérieure à 3.0.

Il s'agit dès lors de déterminer un compromis satisfaisant aussi bien du point de vue technique qu'économique.

En considérant une limite inférieure à 428.57 t/min, en dessous de laquelle il devient difficile de trouver des alternateurs "standard", l'optimisation effectuée donne les résultats suivants :



Numéro de variante	A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
Débit d'équipement Q_n en l/s	240	270	200	240	270	200
Nb de jours où Q_n est atteint (sans irrig.)	53	51	50	53	51	50
Nb de jours où Q_n est atteint (avec irrig.)	53	51	50	28	28	23
Dénivellation en m	450	450	600	500	500	650
Chute nette au débit d'équipement en m	416.9	408.8	560.3	462.9	453.8	607.6
Nombre de machines	1	1	1	1	1	1
Nombre d'injecteurs par machine	2	2	2	2	2	2
Vitesse de rotation en t/min	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Vitesse spécifique	4.01	3.69	4.40	6.18	4.02	6.75
Débit minimum turbinable en l/s	24	27	20	24	27	20
Nb de jours d'exploitation (sans irrig.)	310	310	310	310	310	310
Nb de jours d'exploitation (avec irrig.)	310	310	310	291	291	273

Tableau 0.2 : Choix du débit d'équipement**Principe de fonctionnement des installations de turbinage**

Le principe de régulation est identique pour l'ensemble des variantes, à savoir un asservissement à la mesure de niveau amont effectuée dans la chambre de mise en charge de la conduite forcée. Le fonctionnement prévu est le suivant :

- Tant que le débit disponible est inférieur au débit minimum de fonctionnement de la turbine, 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 hydroélectrique.
- Dès que le débit disponible est supérieur au débit maximum d'équipement, le surplus est déversé à la prise d'eau.

Turbines

De manière générale, les indications suivantes sont fournies à titre indicatif et peuvent varier en fonction du constructeur choisi. En effet, les dimensions et 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 calcul fondé sur l'énergie massique, la vitesse de rotation et le débit maximum permettent de calculer les caractéristiques et dimensions suivantes des turbines :

Numéro de la variante		A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
Débit d'équipement	l/s	240	270	200	240	270	200
Dénivellation	m	450	450	600	500	500	650
Chute nette au débit d'équipement	m	416.9	408.8	560.3	462.9	453.8	607.6
Energie massique à débit maximal	J/kg	4088	4009	5494	4539	4450	5958
Nombre de machines	-	1	1	1	1	1	1
Type de turbine	-	Pelton à axe vertical avec roue en porte à faux sur l'arbre de l'alternateur					
Nombre d'injecteurs	-	2	2	2	2	2	2
Puissance mécanique totale à débit maximal	kW	877	968	982	974	1'074	1'065
Vitesse de rotation	t/min	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Vitesse d'emballement	t/min	2'850	2'850	2'850	2'850	2'850	2'850
Diamètre d'injection	mm	546	540	575	639	569	668
Largeur d'auget	mm	136	147	131	103	142	99
Diamètre bâti	mm	1690	1670	1740	1810	1720	1860
Diamètre des injecteurs	mm	143	153	122	140	149	119

Tableau 0.3 : Caractéristiques principales des turbines



Vanne de garde et de sécurité

La turbine possédera une vanne de garde et de sécurité DN 300 PN 64, en fonction de la variante, permettant d'assurer la sécurité en cas de révision de la turbine et en cas de non fermeture des injecteurs. Elle sera de type sphérique, à passage intégral laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite.

Alternateur

Les alternateurs de cette catégorie de puissance sont généralement proposés en standard à des tensions de 400 V ou 690 V. La solution à 400 V étant cependant la plus répandue, nous ne considérerons que celle-ci dans cette étude de variantes.

Numéro de variante		A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
Type	-	Synchrone triphasé					
Axe	-	Vertical avec roue de turbine en porte à faux					
Fréquence	Hz	50					
Puissance	kVA	877	968	982	974	1'074	1'065
Cos φ	-	0.90					
Surcharge	-	110% de S_n pendant 2h (Echauffement selon classe F)					
Tension de service	V	400					
Vitesse de rotation	t/min	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Vitesse d'emballement	t/min	2'850	2'850	2'850	2'850	2'850	2'850
Ventilation	-	Naturelle avec ventilateur couplé sur l'arbre de la machine					
Paliers	-	Palier et palier butée à roulements, graissés.					
Durée de vie des paliers	h	> 100'000 h					
Protection	-	IP23					
Isolation		Classe F, exploité en classe B					

Tableau 0.4 : Caractéristiques principales des alternateurs

Connexion au réseau et transformateur

L'alternateur sera connecté au réseau du distributeur local (SIESA) via un transformateur permettant d'élever la tension de sortie de l'alternateur à 16 kV. Le type de transformateur sera déterminé de manière précise en phase de projet d'exécution.

Contrôle commande

La centrale étant prévue pour fonctionner de manière entièrement automatique. La régulation sera asservie au niveau d'eau amont de la chambre de mise en charge.

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 paramètre spécifiera le nombre de démarrages ratés autorisé, à savoir que lorsque ce nombre est atteint, il n'y aura plus de redémarrage.

CALCULS DE PRODUCTION

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 $[\text{kWh/an}]$

ρ = masse volumique de l'eau, soit ici 1000.2 ($T_{\text{eau}} = 10^\circ\text{C}$) $[\text{kg/m}^3]$

g = constante de gravité, soit ici 9.804 $[\text{m/s}^2]$

$\eta(Q_t)$ = 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 $[\text{m}]$

La formule suivante permet le calcul de la chute nette:

$$H(Q_t) = \Delta Z - K_{\text{Hr}} \cdot Q_t^2 \quad [\text{J/kg}]$$

avec ΔZ = dénivellation $[\text{m}]$

Les rendements de turbine utilisés sont issus des mesures effectuées en laboratoire sur des turbines MHyLab à quatre injecteurs et axe vertical.

Le rendement de l'alternateur, donné selon des débits relatifs au débit d'équipement, est issu des caractéristiques de machines standard similaires, disponibles sur le marché, comme montré sur la Figure 0.1.



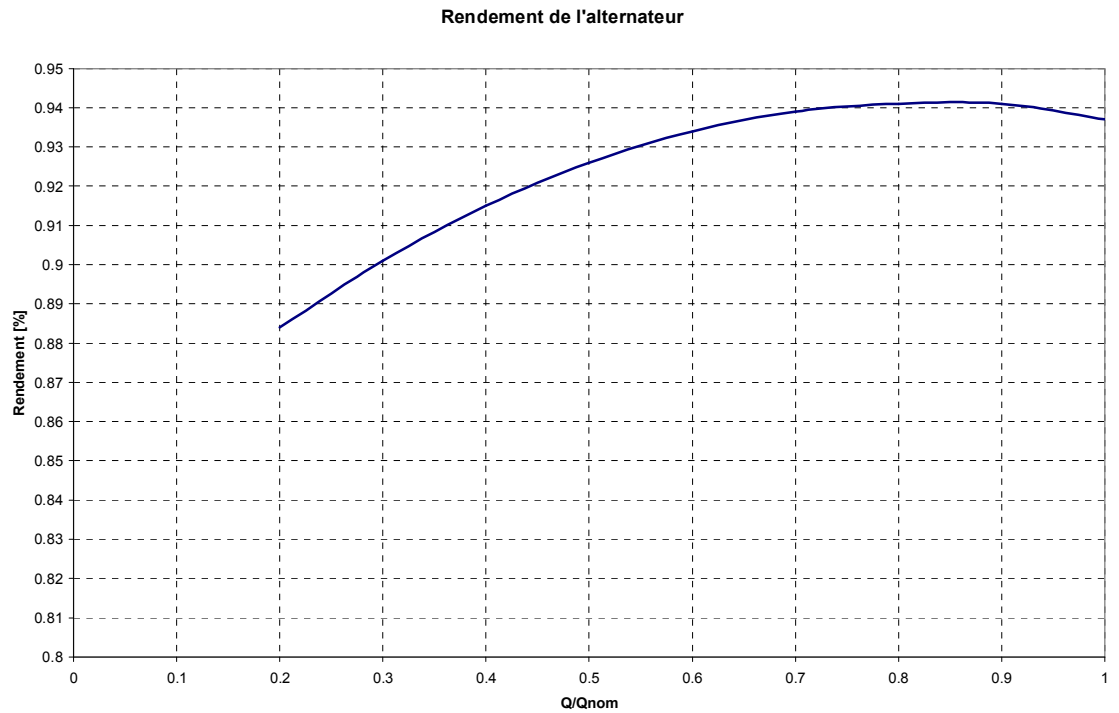


Figure 0.1 : Courbe-type de rendement de la génératrice

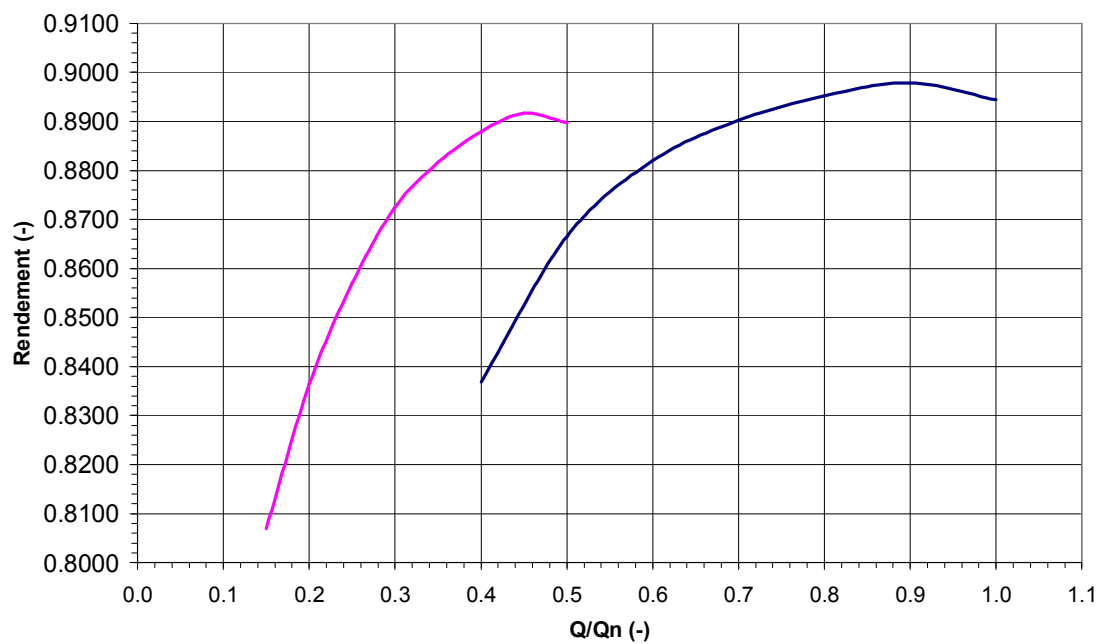


Figure 0.2 : Courbes-type de rendement d'une turbine Pelton à 2 injecteurs

Production sans irrigation

Numéro de variante	A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
<i>Débit d'équipement en l/s</i>	240	270	200	240	270	200
<i>Dénivellation en m</i>	450	450	600	500	500	650
<i>Chute nette au débit d'équipement en m</i>	416.9	408.8	560.3	462.9	453.8	607.6
<i>Puissance électrique en kW</i>	826	911	925	917	1'011	1'003
<i>Production annuelle moyenne en MWh</i>	2'870	3'143	3'078	3'189	3'491	3'335
<i>Débit moyen annuel turbiné en l/s</i>	95	105	76	95	105	76
Ratio débit moyen annuel/Débit d'équipement en %	39.53	38.90	38.01	39.53	38.90	38.01

Tableau 0.5 : Production annuelle moyenne sans irrigation pour chaque variante

Production avec irrigation maximale

Numéro de variante	B.1	B.1+	B.2
<i>Débit d'équipement en l/s</i>	240	270	200
<i>Dénivellation en m</i>	500	500	650
<i>Chute nette au débit d'équipement en m</i>	462.9	453.8	607.6
<i>Puissance électrique en kW</i>	917	1'011	1'003
<i>Production annuelle moyenne en MWh</i>	2'302	2'593	2'159
<i>Débit moyen annuel turbiné en l/s</i>	24	27	20
Ratio débit moyen annuel/débit d'équipement	28.71	29.00	24.91

Tableau 0.6 : Production annuelle moyenne avec irrigation pour chaque variante de l'implantation B

Analyse 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 30%**. Elle prend en compte les points suivants:

- L'estimation des coûts a été faite en se basant sur des réalisations comparables. S'agissant d'une analyse préliminaire, les prix sont donnés de manière globale par rubrique.
- Les frais d'ingénierie sont estimés à 10% de l'investissement.
- Les divers et imprévus sont estimés à 10% de l'investissement. Ils sont inclus dans les montants annoncés.
- Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de 5%.
- L'analyse économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.
- Le calcul a été effectué pour une durée de 25 ans pour l'ensemble des composants. La durée de 25 ans est donnée par la nouvelle Ordonnance sur l'énergie (non encore entrée en vigueur).
- Le taux d'annuité correspondant à ces données est de 7.1%.
- 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 sur la base de courbes statistiques.
- S'agissant d'une étude de variante et la perception de la redevance hydraulique, au titre de la Loi sur les forces hydrauliques de 1916, étant encore en discussion, celle-ci n'est pas prise en compte dans les calculs.
- Le prix de vente est déterminé sur la base du projet d'Ordonnance sur l'énergie, OEne, de juin 2007.

INVESTISSEMENTS

L'électromécanique comprend la turbine, sa vanne de garde, l'alternateur et les pièces de liaison à la conduite forcée. Le raccordement au réseau comprend le devis du distributeur local, les cellules 16 kV et le transformateur. Les coûts de transport, montage et mise en service sont compris.

Les montants sont exprimés en CHF, TVA 7.6 % incluse.

Numéro de variante	A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
Electromécanique	750'000	750'000	750'000	750'000	750'000	750'000
Raccordement au réseau	80'000	80'000	80'000	80'000	80'000	80'000
Contrôle commande, armoires électriques, alim. de secours	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000
Prise d'eau	100'000	100'000	150'000	100'000	100'000	150'000
Ecoulement libre	-	330'000	-	-	330'000	-
Conduite forcée	1'030'000	1'030'000	1'470'000	1'210'000	1'210'000	1'630'000
Conduite de restitution	-	-	-	70'000	70'000	70'000
Piquage irrigation	-	-	-	50'000	50'000	50'000
Centrale	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000
Total des Investissements y c. divers et imprévus	2'210'000	2'540'000	2'700'000	2'510'000	2'840'000	2'980'000
Ingénierie (10%)	221'000	254'000	270'000	251'000	284'000	298'000
Total général	2'431'000	2'794'000	2'970'000	2'761'000	3'124'000	3'278'000

Tableau 0.1 : Investissement pour chaque variante

CHIFFRE D'AFFAIRE ANNUEL

Sans irrigation

Numéro de variante	A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
<i>Puissance électrique en kW</i>	826	911	925	917	1'011	1'003
<i>Production annuelle moyenne en MWh</i>	2'870	3'143	3'078	3'189	3'491	3'335
Prix de vente du kWh selon OEne en cts/kWh	17.6	17.0	17.0	16.9	16.3	16.5
Revenu annuel selon OEne en CHF	503'972	534'310	523'568	537'665	570'429	550'275

Tableau 0.2 : Chiffre d'affaire annuel sans irrigation pour chaque variante



Avec irrigation maximale

Numéro de variante	B.1	B.1+	B.2
Puissance électrique en kW	917	1'011	1'003
Production annuelle moyenne en MWh	2'302	2'593	2'159
Prix de vente du kWh selon OEne en cts/kWh	18.4	18.2	18.4
Revenu annuel selon OEne en CHF	422'417	471'667	396'824

Tableau 0.3 : Chiffre d'affaire annuel avec irrigation maximale pour chaque variante de l'implantation B

CALCUL DU PRIX DE REVIENT ET DE LA MARGE**Sans irrigation**

Numéro de variante	A.1	A.1+	A.2	B.1	B.1+	B.2
Revenu annuel selon OEne en CHF	503'972	534'310	523'568	537'665	570'429	550'275
Production annuelle moyenne en MWh	2'870	3'143	3'078	3'189	3'491	3'335
Annuité constante en CHF	172'485	198'241	210'729	195'900	221'655	232'582
Frais d'exploitation en CHF	92'195	99'612	100'832	100'135	108'325	107'629
Total des frais annuels en CHF	264'681	297'853	311'561	296'035	329'981	340'211
Prix de revient du kWh en cts	9.22	9.48	10.12	9.28	9.45	10.20
Marge annuelle en CHF	239'291	236'457	212'007	241'630	240'448	210'064

Tableau 0.4 : Prix de revient du kWh et marge annuelle sans irrigation pour chaque variante

Avec irrigation maximale

Numéro de variante	B.1	B.1+	B.2
Revenu annuel selon OEne en CHF	422'417	471'667	396'824
<i>Production annuelle moyenne en MWh</i>	2'302	2'593	2'159
Annuité constante en CHF	195'900	221'655	232'582
Frais d'exploitation en CHF	100'135	108'325	107'629
Total des frais annuels en CHF	296'035	329'981	340'211
Prix de revient du kWh en cts	12.86	12.73	15.76
Marge annuelle en CHF	126'382	141'686	56'613

Tableau 0.5 : Prix de revient du kWh et marge annuelle avec irrigation maximale pour chaque variante de l'implantation B

CHOIX DE LA VARIANTE RETENUE

La variante hydrologique la plus rentable est sans conteste la No 2+ présentant le meilleurs couple surface du bassin versant – dénivellation exploitable. C'est elle qui présente le prix de revient le plus bas ainsi que la marge la plus haute en fonction des données économiques actuelles.

Par ailleurs, la variante d'implantation la plus avantageuse est la A qui est également celle qui présente le moins de difficultés pour sa réalisation.

Ces divers éléments nous amènent à recommander aux Forces Motrices de la Gougra SA d'étudier en Avant-projet la **Variante A.2+**.



Avant-projet de la variante retenue

DESCRIPTION TECHNIQUE DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

Prise d'eau

La prise d'eau est effectuée par-dessous (seuil tyrolien), compte tenu de la forte pente du cours d'eau. Les dimensions longueur*largeur de la grille sont données par la formule de Frank. Le débit de prise correspond au débit d'équipement + 10% pour les besoins du dessableur de type Dufour (cf. paragraphe associé ci-dessous).

Il en résulte une prise de faible dimension, puisque le débit d'équipement + 10% est de l'ordre de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$. Aussi, le batardeau de purge attenant au seuil (tel que conseillé sur la prise Mission-Gougra) est ici superflu. La purge du bassin de stabilisation amont excavé pourra se faire manuellement chaque année en fin d'été/début d'automne, lorsque le débit arrivant est faible.

La pente de la grille doit être de 30° pour permettre la chute des pierres. Le charriage étant vraisemblablement faible, un tel angle est suffisant sur ce projet.

La profondeur de la prise est définie par les éléments suivants:

- la hauteur de la grille (relation entre la longueur obtenue précédemment et la pente de la grille)
- la hauteur de l'ouverture vers la zone de transition avant dessableur (seuil noyé dimensionné pour le débit d'équipement + 10%)
- la hauteur de submersion des orifices de dotation et de purge
- le diamètre de l'orifice de dotation, négligeable ici
- la hauteur de sécurité en cas d'engravement (réduit ici à 30cm sous l'orifice de dotation)

Les hauteurs de submersion des différents orifices de l'ouvrage (conduite de dotation, purge sous la grille tyrolienne, purge du dessableur, conduite forcée) doivent être compatibles avec les hauteurs minimales définies par les formules de Knauss, et Rohan pour éviter la formation de vortex. Les paramètres en entrée de ces formules sont le diamètre et la vitesse de l'écoulement. On obtient une submersion minimale à comparer avec les niveaux d'eau minimaux suivants:

- H_{min} pour tous les organes situés à l'amont du seuil régulateur (en fin de dessableur), dont la largeur importante permet de réduire les fluctuations de niveau $H_{max}-H_{min}$ dans tout l'ouvrage.
- $H_{min} - 50\text{cm}$ dans la chambre de mise en charge, en tenant compte du fait que le débit d'équipement n'est atteint que lorsque le seuil régulateur est suffisamment dénoyé.

Le fond de la prise ainsi que le radier sont effectués en perré maçonné pour une meilleure résistance à l'abrasivité. La pente minimale du fond de la prise doit être 18% de manière à permettre la purge. L'orifice de purge, vanné, est dimensionné pour le débit d'équipement. La purge s'effectue ensuite par une conduite enterrée avant de rejoindre le lit de la rivière.

La conduite de dotation passant sous le radier est dimensionnée pour faire passer le débit de dotation. Lorsque le dessableur Dufour est en « mode automatique » (avec rejet de 10% du débit en rivière), on ferme cette restitution au moyen d'un bouchon à l'amont. Son très faible diamètre facilite cette opération.

Une ouverture à la cote H_{max} * permet de déverser le trop-plein sur un perré maçonné grossier en direction du lit de rivière. Elle est placée avant la vanne de commande motorisée, pour permettre le déversement du débit refoulé lorsque la prise est isolée du reste du circuit. Cette vanne motorisée est elle-même asservie au système de contrôle commande de la centrale par une connexion fibre optique.

**La hauteur H_{max} est définie par l'écoulement du débit d'équipement au dessus du seuil en fin de dessableur (formule du seuil standard dénoyé).*

Prise d'eau secondaire

La prise d'eau à proximité du lieu dit « Le Chiesso », sur le cours d'eau en provenant du village de Nava, ne comporte qu'un seuil tyrolien. Ses dimensions sont très réduites, mais sa conception est similaire à la prise principale (sans dessableur, ni chambre de mise en charge bien sûr).

La prise débouche ensuite directement dans un canal en béton couvert, de pente 2/1000 au minimum pour permettre l'auto-curage. Lorsque le canal croise la route, il passe en conduite, toujours à écoulement libre. Si le profil de la route est suffisamment régulier, il est préférable de la suivre le plus longtemps possible.

La restitution dans la Nava s'effectue quelques mètres à l'amont de la prise principale, dimensionnée pour la somme des débits des deux branches.

Dessableur

Le dessableur est dimensionné pour traiter les particules de 0.3 mm, dans la mesure où le charriage semble faible. Il peut être intéressant de mener une étude plus poussée à ce sujet, notamment s'il existe une zone de dépôt plus en amont. Si le charriage est effectivement faible on peut raccourcir le dessableur, voire s'en affranchir totalement.

Outre l'économie substantielle réalisée sur le génie civil, l'opération permet de rapprocher l'exutoire de purge de la rivière. En compensation, on peut envisager l'application sur les augets de la turbine d'un revêtement à base de carbure de tungstène.

Comme évoqué précédemment, le dessableur doit être implanté quasi perpendiculairement à la rivière, avec un léger angle pour suivre les courbes de niveau. Il est primordial de bien choisir cet angle car le volume de terrassement peut rapidement sortir de l'enveloppe prévue.

Par ailleurs, l'élargissement de la zone de transition entre la prise et le dessableur doit



s'effectuer avec un angle modéré (inférieur à 15°). Sa longueur doit être de l'ordre du double de la largeur du dessableur. Une grille fine permet de retenir les feuilles, et de ralentir l'écoulement. Cette dernière est visible et accessible pour nettoyage, grâce à un caillebotis amovible donnant sur une échelle murale.

La zone de décantation correspond uniquement à la zone supérieure à parois verticales. La zone en « entonnoir » sert à la récupération des sables, et doit avoir une pente minimale de 5/4. Des ailettes en bois provoquent un resserrement des lignes de courant, et donc une augmentation de la vitesse vers le chenal de purge, au fond. Ce dernier présente une pente de 2% afin d'assurer l'auto-curage.

La purge se fait de manière continue, selon le principe du dessableur Dufour, qui évite d'avoir à effectuer l'opération manuellement. En fonctionnement normal, la vanne en bout de chenal de purge est maintenue partiellement ouverte, de manière à emporter les sédiments. Environ 10% du débit capté est perdu dans l'opération, puisque cette eau chargée en sédiment retourne à la rivière. Ce principe amène à sur-dimensionner l'ouvrage ; en contrepartie il est autonome et les 10% peuvent être comptabilisés dans le débit de dotation. La difficulté est ici de restituer ce débit à la rivière, dans la mesure où le dessableur suit les lignes de niveau en s'éloignant perpendiculairement au lit de la rivière.

Enfin, l'ouverture totale de la vanne de purge permet de faire passer le débit d'équipement pour isoler la chambre de mise en charge, ou encore de provoquer un effet de chasse dans le chenal de purge.

Chambre de mise en charge

La chambre de mise en charge est placée en prolongement du dessableur, toujours pour limiter les coûts de terrassement.

Le volume de la chambre de mise en charge est déterminé de façon à assurer l'alimentation de la conduite au débit d'équipement pendant 40 secondes. Cette durée est légèrement supérieure au temps de fermeture des injecteurs en cas de problème (par exemple black out), mais c'est une sécurité supplémentaire vis à vis des oscillations sur coup de béliet plus importantes pour une conduite de faible diamètre. Un trop-plein, dimensionné au débit d'équipement, absorbe ces oscillations en cas d'arrêt brusque. La capacité de l'ensemble des trop-pleins de l'ouvrage atteint finalement deux fois le débit d'équipement.

Comme pour l'orifice de dotation, une hauteur de submersion minimale de la conduite est définie à partir des formules de Knauss et Rohan en fonction du diamètre de conduite et de la vitesse d'écoulement.

Le fond de la chambre de mise en charge est en pente pour diriger l'écoulement vers la conduite. Un trou d'homme et une échelle sont prévus pour l'accès (on n'utilise pas de caillebotis ici, pour éviter la chute de corps étrangers, dommageables pour la turbine).

La possibilité de purger la chambre de mise en charge est optionnelle : bien souvent, la purge de la conduite se fait simplement par la conduite elle-même. Par conséquent, si sa réalisation pose des problèmes, notamment en termes d'encombrement, on peut la supprimer.

Il n'a pas été prévu de chambre des vannes après la chambre de mise en charge car il est préférable de commander directement la vanne d'entrée de la prise, ceci afin de soulager les trop-pleins éloignés du lit de la rivière.

Enfin, la conduite part directement dans la pente forte, ce qui permet de faire affleurer la cheminée d'aération au dessus de la fouille ; son rôle est d'éliminer les poches d'air, néfastes aussi bien en cas de coup de bélier, que pour la turbine en fonctionnement normal.

Conduite forcée

La conduite forcée est enterrée à 80 cm minimum en terrain meuble. Dans les zones rocheuses, elle passe en aérien (pour limiter les coûts d'excavation), posée sur des sellettes en béton espacées tous les 5m. Dans les angles, des ancrages en béton armé reprennent les efforts à la place du terrain.

Le matériau retenu est la fonte, pour sa résistance à la pression et sa longévité. Il est à noter que ce projet est celui qui présente la plus importante dénivelée (de l'ordre de 500 m), aussi la résistance à la pression est primordiale ici. La seule alternative serait une conduite en acier soudé.

Conformément à l'usage en mini-hydraulique, on peut s'affranchir d'une cheminée d'équilibre, car :

- le débit est faible ($0.27 \text{ m}^3/\text{s}$),
- les turbines Pelton sont équipées de déflecteurs. Il est donc possible de fermer les injecteurs lentement en cas d'arrêt d'urgence, sans mettre en danger la turbine. Les surpressions par coups de bélier sont ainsi considérablement limitées.

Il faut donc prévoir des conduites supportant des pressions nominales de 20% supérieure à celle correspondant à la chute brute, mais le surcoût associé est bien moins important que celui d'une cheminée d'équilibre. Dans le pire des cas, si l'on veut une sécurité supplémentaire, on peut également ajouter un disque de rupture sur la conduite.

Une gaine (inclue dans le prix de fouille) est posée en parallèle de la conduite forcée, pour l'alimentation et l'asservissement centrale-prise par fibre optique.

Enfin, on pourra profiter de la fouille pour poser une canalisation d'eau potable de la commune le long de la conduite forcée, ainsi qu'une gaine pour la transmission d'informations (avec ensuite possibilité de prolonger cette canalisation jusqu'au réservoir au-dessus du village d'Ayer pour turbinage).

Centrale et restitution

La centrale est prévue sans moyen de levage permanent. En cas de révision complète nécessitant le démontage de l'alternateur, celui-ci sera sorti de la centrale par une trappe dans le toit au moyen d'une grue mobile.

Un ou deux rails DIN seront installés pour permettre la pose de palans durant les opérations de montage sur site, ou de démontage partiel à fin d'entretien.

Situation

Parcelle : Bourgeoisie Ayer

Coordonnées : 613 440 / 113 750



Bâtiment

Ouvrage en béton armé : radier – mur – dalle

Surface : env. 65m²

Volume SIA : env. 420 m³

Hauteur d'espace libre intérieur : 4.80 m

Porte d'accès permettant le passage
d'un véhicule de service : 2.40 x 2.10 m

Ouverture en façade frontale pour
installation et remplacement de la turbine
au moyen d'un palan fixé sous dalle : 2.90 x 3.40 m

Fenêtres en façades frontales et latérales
pour assurer un éclairage naturel

Remblayage sur façade arrière complet jusqu'au niveau de la dalle de manière à laisser passer l'avalanche sur la dalle de la toiture

Canal de fuite

L'eau turbinée est récupérée dans la cuve sous la turbine et évacuée dans la galerie de Gougria via la prise d'eau actuelle.

DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA PARTIE ELECTROMECANIQUE**Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage**

Se reporter au paragraphe 9.2.2

Turbine

Dans l'optique de la politique nationale en matière d'énergies renouvelables, il est important de réaliser une installation qui permette une utilisation optimale des ressources en eau, ceci aussi bien d'un point de vue technique qu'écologique et économique.

Le choix du matériel hydromécanique est dès lors essentiel, puisqu'il convient de maximiser la production pour une quantité d'eau disponible définie, ceci tout en assurant une rentabilité optimale.

Des solutions économiques doivent être recherchées, sans pour autant réduire les performances et la fiabilité des équipements.

Dans cette optique, il est recommandé de choisir des turbines faites sur mesure (c'est-à-dire correspondant parfaitement aux caractéristiques du site), mais faisant appel à un maximum

d'éléments standard partout où cela est possible. Ainsi, l'on privilégiera des solutions proposant par exemple un répartiteur réalisé avec des coudes, tubes et bifurcations du commerce, tout comme par exemple une commande des injecteurs par vérins électriques largement diffusés. Par contre on accordera une grande attention à la conception du profil hydraulique de la machine et tout particulièrement à la roue de la turbine.

Enfin, nous recommandons au futur exploitant d'être très attentif à la provenance des garanties avancées par les fournisseurs potentiels, celles-ci devant impérativement provenir de laboratoires travaillant en conformité avec les normes de la branche. Il en va de la performance et de la fiabilité de l'aménagement conditionnant directement sa rentabilité.

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

Débit d'installation	$Q_{\max}$	l/s	270
Dénivellation	ΔZ	m	450
Chute nette au débit d'équipement	H	m	408.8
Energie massique à $Q_{\max}$	gH	J/kg	4'009
Type de turbine	-	Pelton à axe vertical	
Nombre d'injecteurs	Z_i		2
Puissance mécanique	$P_{\text{méc}}$	kW	968
Vitesse de rotation	N	t/min	1500
Vitesse d'emballement	N_e	t/min	2'850
Diamètre d'injection	D_1	mm	540
Largeur d'auget	B_2	mm	147
Nombre d'augets	Z_a		21
Diamètre du cuvelage	D_c	mm	1670
Diamètre des injecteurs	D_i	mm	153
Hauteur de dénoyage minimale	H_a	mm	520
Poussée hydraulique max. sur les pointeaux (début d'ouverture, sans les frottements)	F_p	N	7'100
Poussée hydraulique sur la roue au démarrage	F_R	N	12'900
Type d'injecteur	-	Avec déflecteur, commande électrique 48 V CC secouru	

Tableau 0.1 : Principales caractéristiques de la turbine

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



On utilisera de préférence une construction de la roue à augets rapportés, usinés en CNC, 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. Une solution avec usinage CNC dans un disque forgé est également envisageable.

Un revêtement par projection de carbure de tungstène est possible en cas d'usure par abrasion trop rapide de la roue.

Une commande des injecteurs par vérin électrique, en 48 V CC secourus est recommandée. Cette manière de faire permet d'utiliser du matériel standard du commerce. Ces vérins de commande disposeront d'une possibilité de manœuvre manuelle, permettant de couper le débit en cas de défaut électrique.

Ce choix permet également de se passer d'une centrale de commande oléo hydraulique comportant de nombreuses électrovannes, pièces mobiles, et joints. On réduit ainsi la complexité du système et l'on augmente par conséquent sa fiabilité. Par ailleurs, cela supprime une source potentielle de pollution de l'eau par des fuites d'huile minérale.

Les injecteurs comporteront des déflecteurs afin d'assurer la sécurité en cas de déclenchement du à un black out.

Peu courante dans le domaine de la grande hydraulique, la vitesse de 1'500 t/min n'est de loin pas une exception en petite hydraulique. Il serait toutefois possible, si désiré par FMG SA de choisir une solution à 1'000 t/min. laquelle serait plus volumineuse et donc plus coûteuse.

Vanne de garde

La turbine possédera une vanne de garde DN 300 PN 64 permettant d'assurer la sécurité en cas de révision de la turbine et en cas de non fermeture des injecteurs. Elle sera de type sphérique, à passage intégral laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite. Elle sera équipée d'un by-pass à commande électrique, permettant l'équilibrage des pressions amont et aval avant manœuvre. Son dispositif de manœuvre sera secouru en 48 V DC et elle devra pouvoir fermer en eaux vives.

Alternateur

Les principales caractéristiques de l'alternateur sont données ci-dessous :

Type	-	Synchrone triphasé
Axe	-	Vertical
Fréquence	Hz	50
Puissance	kVA	1'012
Cos φ	-	0.9

Surcharge	-	110% de S_{nominale} pendant 2h (échauffement selon classe F)
Tension de service	V	400
Facteur de service	-	marche en continu, S1 / 100%
Vitesse de rotation	t/min	1'500
Vitesse d'emballlement	t/min	2'850
Ventilation	-	naturelle avec ventilateur couplé sur l'arbre de la machine



Paliers	-	Paliers et palier buttée à roulement, graissés. <u>Roue de turbine en porte-à-faux.</u>
Durée de vie des paliers	h	min. 100'000 h
Protection	-	IP23
Isolation		classe F, exploité en classe B

Tableau 0.2 : Principales caractéristiques de l'alternateur

L'excitation triphasée sera à diodes tournantes, sans bague, avec si possible réglage de tension et de $\cos \varphi$ incorporé à la machine.

Raccordement électrique / TFO 16KV

L'alternateur sera connecté à un transformateur BT/MT (d'une puissance de 1250KVA) permettant d'élever la tension de sortie de l'alternateur à 16 kV. Par principe, le transformateur de couplage sera installé dans le local TFO. Un bloc de cellules 16KV (arrivée groupe, départ réseau) sera également installé. Ces équipements seront définis selon les standards du marché.

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 de la chambre de mise en charge. La connexion entre la mesure de niveau et la prise de pression se fera en principe par fibre optique posée le long de la conduite.

La turbine devra pouvoir fonctionner en automatique ou en manuel (mise en route, réglage d'ouverture des pointeaux et de tension à fin de tests).

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 paramètre spécifiera le nombre de démarrages ratés autorisés, à savoir que lorsque ce nombre est atteint, il n'y aura plus de redémarrage.

Les tableaux électriques comprendront en outre les éléments suivants : Commande des injecteurs et de la vanne de garde avec affichage de l'ouverture, réglage de $\cos \varphi$, de tension et de fréquence (si non inclus dans l'alternateur).

Les indicateurs suivants seront également compris : voltmètres réseau et alternateur, wattmètre, fréquencemètre, mesure du $\cos \varphi$, synchroscope, compte tour, indicateur de niveau amont, compteur d'heures, compteur de démarrages, températures des roulements et du bobinage de l'alternateur, arrêt d'urgence.

Les alarmes suivantes seront à considérer : Niveau amont insuffisant, pression amont insuffisante, surcharges alternateur, survitesse, arrêt d'urgence, défaut de mise en marche, défaut roulement, défauts bobinages, retour de courant.

Le contrôle commande comportera en outre un système de surveillance des vibrations.



Alimentation de secours

Une alimentation de secours en 48 V CC comprenant les batteries, les onduleurs, les indicateurs de charge, les protections, etc., permettra d'assurer la sécurité en cas de perte de réseau. Les alarmes défaut batteries et surcharge batterie devront être relayée dans le contrôle commande.

Les servomoteurs des injecteurs et la vanne de garde seront secourus par ce dispositif.

Sécurité des équipements

La sécurité sera assurée par les déflecteurs de la turbine et par sa vanne de garde en cas de non-fermeture des injecteurs. En cas d'arrêt d'urgence ou de découplage, les déflecteurs entreront en action, empêchant l'emballement de la turbine, les pointeaux se fermeront lentement afin d'éviter tout risque de coup de bélier dans la conduite.

La sécurité devra être assurée en cas d'absence de courant. A cette fin, les déflecteurs seront actionnés par ressorts, les vérins de commande des injecteurs seront alimentés en 48 V DC secourus, de même que le système de commande de la vanne de garde et de sécurité.

La vanne de garde à commande électrique sera également secourue et devra pouvoir se fermer en eaux vives pour palier à un éventuel défaut de fermeture des injecteurs.

On pourra également intégrer des protections et une surveillance de vibrations.

Maintenance

Le type de turbine retenu, pour autant que la machine soit bien conçue, correspond à une maintenance minimale, se composant essentiellement d'opérations de nettoyage, d'un contrôle de la roue et des injecteurs, et d'un éventuel graissage des paliers de l'alternateur.

Grâce à l'axe vertical et à la roue en porte-à-faux sur l'arbre de l'alternateur, les travaux de maintenance pourront être réalisés relativement rapidement, avec notamment des opérations de démontage et de remontage (nul besoin d'aligner les paliers entre la turbine et l'alternateur) simplifiant les interventions humaines. Un accès par le canal de fuite sera aussi possible, permettant ainsi une inspection visuelle de la roue et des injecteurs sans démontage.

Le planning de maintenance nécessitera d'être adapté en fonction des premières expériences de fonctionnement et de l'usure par abrasion constatée. Des mesures préventives telles que revêtements spéciaux des roues, pointeaux et tuyères pourront également être prises si nécessaire.

Garanties

En phase de réalisation, les garanties suivantes devront être demandées :

- Garantie générale contre les défauts de fabrication d'au moins 2 ans
- Garanties relativement à la fissuration de la roue de turbine

- Garanties de cavitation
- Garanties de performances de la turbine (provenance et niveau)
- Garanties de performances de l'alternateur (essais en usine)
- Garantie d'échauffement
- Garantie de bruit
- Garantie de vibration

Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive, mais constitue un minimum que l'exploitant est en droit d'exiger. En outre, il conviendra de prévoir une phase d'acceptation des plans de construction des équipements, ainsi que des essais de réception en atelier et sur site. Les clauses de refus devront être clairement identifiées.

TERRAINS ET SERVITUDES

Le projet dans son ensemble touche des terrains appartenant à des privés ainsi qu'à la Bourgeoisie d'Ayer (voir la liste des propriétaires en annexe). Des demandes de servitudes ou des achats de parcelles devront être réalisés. A ce stade de l'étude nous nous sommes arrêtés à lister les parcelles touchées par le projet.

CALCULS ECONOMIQUES

L'étude économique de la variante retenue, a pour but d'approcher les coûts de construction et le prix de revient du kWh électrique à **plus ou moins 15%**. Elle prend en compte les points suivants:

- L'estimation des coûts a été faite en se basant sur des réalisations comparables. Les prix sont basés sur des données correspondant au marché actuel. Des vérifications ont en outre été faites auprès de fournisseurs potentiels d'équipements.
- Les frais d'ingénierie sont estimés à 10% de l'investissement.
- Les divers et imprévus sont estimés à 10% de l'investissement. Ils sont inclus dans les montants annoncés.
- Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de 5%.
- L'analyse économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.
- Un premier calcul a été effectué pour une durée de 25 ans pour l'ensemble des composants. La durée de 25 ans est donnée par la nouvelle Ordonnance sur l'énergie (non encore entrée en vigueur). Le taux d'annuité correspondant à ces données est de 7.1%.
- Un second calcul a été réalisé sur la base d'une durée d'amortissement de 40 ans pour les ouvrages de génie civil, de 25 ans pour le matériel hydro et électromécanique et de 15 ans pour le matériel électronique. Ces durées d'amortissement sont standard pour les petites centrales hydroélectriques. Le coefficient d'annuité utilisé est une valeur pondérée en fonction de la répartition 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 sur la base de courbes statistiques.



- Bien que la soumission de ce projet à la redevance hydraulique, au titre de la Loi sur les forces hydrauliques de 1916, soit encore en discussion, elle a été prise en compte dans les calculs. De manière générale, elle représente environ 10% du budget annuel.
- Les montants prévus pour les servitudes, les achats de terrains et les mesures de compensation écologiques sont indiqués pour mémoire. Ils ne résultent pas d'une analyse fine, mais correspondent à des ordres de grandeur réalistes.
- Le prix de vente est déterminé sur la base du projet d'Ordonnance sur l'énergie, OEne, de juin 2007 qui s'applique à toutes les petites centrales hydraulique dont la puissance est inférieure ou égale à 10 MW selon la loi de 1916.

Investissements

Electromécanique	750'000
Raccordement au réseau	156'000
Contrôle commande, armoires électriques, alim de secours	180'000
Prise d'eau	140'000
Conduite forcée	1'020'000
Conduite torrent du Chiesso	270'000
Centrale	150'000
<i>Servitudes de passage</i>	<i>20'000</i>
<i>Achats de terrains</i>	<i>40'000</i>
<i>Mesures environnementales</i>	<i>20'000</i>
Total des investissements	2'746'000
Ingénierie et honoraires (10%)	274'600
Total Général hors incertitude	3'020'600
Marge d'incertitude ± 15%	± 453'000

Tableau 0.3 : Investissement en CHF

Chiffre d'affaire annuel

Puissance électrique maximale en kW	911
Production annuelle moyenne en MWh	3'143
Puissance équivalente (Production en kWh/8760h)	359
Dénivellation en m	450
Part du génie civil dans l'investissement total	> 30%
Rémunération de base en cts.	13.38
Bonus de niveau de pression en cts.	0.52
Bonus de niveau de pression en cts.	3.10
Prix de vente du kWh selon OEne en cts/kWh	17.0
Revenu annuel selon OEne en CHF	534'624

Tableau 0.4 : Chiffre d'affaire annuel

Calcul du prix de revient et de la marge selon OEne

Revenu annuel selon OEne en CHF	534'624
<i>Production annuelle moyenne en MWh</i>	3'143
Annuité constante en CHF	214'319
Frais d'exploitation en CHF	99'612
Redevance hydraulique éventuelle en CHF	37'810
Total des frais annuels en CHF	351'741
Prix de revient du kWh en cts	11.19
Marge annuelle en CHF	182'883

Calcul <u>avec</u> les redevances	
Prix de revient du kWh en cts	11.19
Marge annuelle en CHF	182'883



Calcul <u>sans</u> les redevances	
Prix de revient du kWh en cts	9.99
Marge annuelle en CHF	220'693

Tableau 0.5 : Prix de revient et marge avec amortissement et revenu selon OEne**Calcul du prix de revient avec amortissement classique**

Taux d'annuité pondéré	6.50 %
<i>Production annuelle moyenne en MWh</i>	3'143
Annuité constante en CHF	196'203
Frais d'exploitation en CHF	99'612
Redevance hydraulique éventuelle en CHF	37'810
Total des frais annuels en CHF	333'625

Calcul <u>avec</u> les redevances	
Prix de revient du kWh en cts	10.61
Marge annuelle en CHF	Dépendante du prix du marché

Calcul <u>sans</u> les redevances	
Prix de revient du kWh en cts	9.41
Marge annuelle en CHF	Dépendante du prix du marché

Tableau 0.6 : Prix de revient et marge avec amortissement "classique"

L'utilisation de durées d'amortissement "classiques" sous entend la commercialisation de la production hors OEne.

Notice préliminaire d'impact

INTRODUCTION

Afin d'intégrer au stade de cet avant projet la problématique environnementale, une notice d'impact préliminaire est proposée (réalisée par Nivalp SA). Le projet n'étant pas définitivement arrêté, la notice qui suit se trouve donc à mi chemin entre une notice d'impact préliminaire et un cahier des charges."

Celle-ci a pour but de :

- décrire les procédures à suivre en matière environnementale avant la réalisation des travaux;
- décrire les impacts attendus du projet et les études complémentaires nécessaires dans le cadre de la suite de la procédure;
- proposer des mesures de réduction des impacts;
- servir de base de décision aux FMG.

CONCESSIONS ET PROCÉDURES

Concessions

La société des Forces Motrices de la Gougra SA (FMG) est au bénéfice des concessions de droits d'eau pour l'exploitation des forces hydrauliques du torrent de Nava (concessions de la Navisence supérieure). Les concessions prendront fin le 31.12.2039.

Procédures

Les aménagements prévus s'inscrivent dans le cadre de la concession citée au chapitre précédent. Aucune nouvelle concession n'est donc requise.

Selon l'annexe 1 de l'ordonnance relative à l'étude de l'impact sur l'environnement (OEIE, annexe 1 point 21.3), seules les centrales à accumulation et centrales au fil de l'eau ainsi que les centrales à pompage turbinage d'une puissance supérieure à 3 MW nécessitent une étude d'impact sur l'environnement. La puissance projetée étant inférieure à 3 MW (911 kW, cf. chapitre 12.3.1), le projet ne requiert pas d'EIE.

L'article 43 LFH-VS précise toutefois que "*lors de la construction de nouvelles installations hydrauliques [...], les dispositions applicables sur la protection de l'environnement, sur la protection de la nature et du paysage, sur la protection des eaux, sur la police des forêts et sur la pêche doivent être prises en compte*". Le projet devra donc être accompagné d'une notice d'impact sur l'environnement.



La procédure d'approbation d'un aménagement inférieur à 3 MW dans un secteur déjà concédé est réglée par le Canton du Valais de la manière suivante :

1. Contacts préliminaires : examen du projet et définition de la procédure des autorisations spéciales (défrichement, captage,...), du contenu exact du dossier et des services à consulter;
2. Autorisation de construire par le DSSE : mise à l'enquête publique (30 jours), décision d'autorisation par le DSEE.

La notice d'impact accompagnant le projet de détail sera ainsi fournie au niveau de l'autorisation de construire.

On notera que le projet s'inscrivant dans le cadre d'une concession antérieure à l'entrée en vigueur de la loi sur la protection des eaux (LEaux, 1992), les dispositions sur les débits résiduels ne s'appliquent pas.

PROJET TECHNIQUE

Aménagements

Le projet prévoit le captage des eaux de la branche nord du torrent de Nava, en aval de Nava Secca. Ces eaux seront ensuite dirigées par écoulement libre (conduite enterrée sous la route d'alpage) vers Navetta. Là, une deuxième prise d'eau (avec dessableur et chambre de mise en charge) captera les eaux du torrent de Nava. La conduite forcée, d'une longueur de 960 m environ sera construite à proximité du torrent, sur des pentes raides et boisées. La centrale de turbinage est projetée à 1'620 msm, à côté du torrent, légèrement en amont de la prise d'eau actuelle du torrent de Nava (turbinée à Vissoie). La puissance électrique projetée sera de 911 kW. Les eaux seront ensuite restituées au torrent.

L'électricité produite sera connectée au réseau en amont des Grands Praz par une ligne enterrée (env. 300 m').

Débits de dotations

Comme énoncé au chapitre 12.2.2, les dispositions relatives aux débits résiduels ne s'appliquent pas. Le projet est soumis à l'article 83 LEaux (concessions accordées sous l'empire de l'ancien droit). Cet article précise que *"la protection des cours d'eau doit être assurées par des mesures conformes à la présente loi, en évitant, dans la mesure du possible, que les droits d'utilisation existants soient atteints d'une manière qui justifierait un dédommagement"*. Selon la pratique cantonale, le débit perdu acceptable sans dédommagement est d'environ 3-5% du volume total.

Selon l'étude hydrologique, le volume total annuel des 2 captages se monte à 4'500'000 m³. Le 3-5% de ce volume, exprimé en l/s équivaut à 4-7 l/s. Pour l'étude de cet avant-projet, le débit de dotation choisi se monte à 10 l/s. On notera qu'il correspond au débit résiduel avec dérogation selon l'art. 32 b LEaux (35% du Q₃₄₇ dans les cours d'eau non piscicoles), le Q₃₄₇ de la somme des 2 captages se montant à 28 l/s.

Le dossier d'autorisation de construire précisera de quelle manière la dotation de 10 l/s sera répartie sur les 2 captages.

DIAGNOSTIQUE ENVIRONNEMENTAL

Les chapitres suivants traitent des aspects "écomorphologie", "hydrobiologie" et "milieux riverains". Le tracé du torrent n'a pas été parcouru en totalité. Ces chapitres se basent sur 3 pointages. Ils devront être détaillés dans le cadre de la suite de la procédure.

Etat actuel

Ecomorphologie

Le torrent est naturel sur l'entier du tracé concerné. Seules les berges présentent un caractère lié aux activités humaines (pâturages) sur environ 100 m' en aval des 2 prises d'eau.

Hydrobiologie / poissons

Le torrent de Nava n'est pas piscicole. Aucun empoissonnement ne s'y fait.

Milieux riverains :

Mise à part la présence de pâturages en aval des 2 prises d'eau, les milieux riverains sont naturels. Etant donné le profil marqué du torrent, la forêt est directement adjacente au cours d'eau. Il s'agit de mélézins et de pessières.

Impacts attendus

Le débit de dotation proposé ne devrait pas modifier sensiblement les aspects décrits ci-dessus :

- ÿ écomorphologie : le projet exercera un impact probable léger sur la variabilité de l'écoulement et du lit mouillé;
- ÿ hydrobiologie : le projet n'aura aucun impact;
- ÿ milieux riverains : ceux-ci ne devraient pas se voir perturbés par le projet.

Etudes nécessaires

Un parcours du torrent devra être effectué et un diagnostic environnement détaillé sera proposé.

PROTECTION DE LA FLORE

Etat actuel

Aucune zone de protection de la nature n'est touchée par le projet. Aucun relevé floristique n'a été effectué dans le cadre de cette notice préliminaire. Un parcours du tracé a toutefois permis de caractériser les milieux naturels suivants:



Pessière / mélézin (*Vaccinio-Piceion*)

La conduite forcée touchera essentiellement la forêt. Il s'agit de pessières et de mélézins. La conduite électrique traversera également ce milieu. Il ne s'agit pas d'un milieu digne de protection selon l'OPN.

Pâturage maigre acide (*Nardion*)

Les pâturages traversés par la conduite en écoulement libre et la conduite forcée sont des pâturages maigres acides. Il ne s'agit pas d'un milieu digne de protection selon l'OPN.

Impacts attendus

Les milieux touchés ne présentent en général pas de valeurs naturelles élevées. L'impact du projet sur les milieux sera modéré, la conduite étant enterrée. Les mottes seront récupérées et disposées sur les terrassements en fin de chantier. L'utilité d'un éventuel semi sera précisée dans la notice d'impact.

Une description détaillée des impacts devra être réalisée dans le cadre de la notice d'impact accompagnant le dossier de mise à l'enquête.

Etudes nécessaires

La notice d'impact devra présenter les éléments suivants :

- ÿ cartes d'association végétales touchées et listes floristiques;
- ÿ surfaces touchées par le projet pour chaque milieu rencontré;
- ÿ évaluation des impacts;
- ÿ mesures intégrées au projet.

PROTECTION DU PAYSAGE / TOURISME**Etat actuel**

Aucune zone de protection du paysage fédérale ou cantonale n'est touchée par le projet.

Le projet est situé entre les forêts raides du bassin versant du torrent de Nava et les alpages à la limite supérieure de la forêt.

Le projet touchera deux chemins pédestres secondaires. L'un reliant le Chapec aux mayens de Barneusa et l'autre reliant ces mêmes mayens à Nava Secca. Le sentier Sierre-Zinal n'est pas touché par le projet.

Impacts attendus

L'impact paysager des travaux sera rapidement atténué par la récupération des mottes et leurs dispositions sur les terrassements en fin de chantier. En forêt, la tranchée nécessaire à la pose de la conduite sera visible à court et moyen terme. Cependant, le secteur étant situé

dans une pente raide et relativement escarpée, cette tranchée sera cachée des regards. Elle ne s'apercevra que partiellement depuis l'autre versant de la vallée (route Zinal-Grimentz).

Du point de vue tourisme pédestre, deux sentiers pédestres homologués seront touchés par les travaux. L'un sera traversé, l'autre (route forestière) sera longé sur 350 m environ (conduite à écoulement libre).

Mesures

Les mesures d'intégration suivantes seront prises en compte dans le cadre de l'élaboration du projet de détail:

- ÿ limitation des emprises au strict minimum nécessaire;
- ÿ aucune piste de chanter ne sera ouverte;
- ÿ les zones terrassées seront remises en état et on laissera faire la recolonisation naturelle. Les mottes seront disposées sur les terrassements en fin de chantier;
- ÿ un accès sécurisé aux sentiers sera assuré en tout temps. Lorsque les travaux le nécessiteront, des itinéraires de déviation seront signalés.

FAUNE

Etat actuel

Le district franc cantonal n° 97 est situé directement au sud du torrent de Nava.

Le chevreuil, le cerf ainsi que le chamois sont recensés dans le secteur du projet.

Impacts attendus

Les impacts sur la faune se limiteront à la période de chantier. Les zones refuge étant suffisamment vastes dans le secteur, l'impact du projet en phase de travaux sera faible. En phase d'exploitation, l'impact sera nul.

Mesures

Les coupes d'arbres pour la pose de la conduite seront réalisées hors période de nidification de l'avifaune (mars – juillet)

PROTECTION CONTRE LE BRUIT

Etat actuel

Dans le cadre de projets de mini-centrale hydraulique, les sources de bruit en phase d'exploitation se limitent au turbinage des eaux au niveau de la centrale.

Celle-ci sera située en forêt selon le plan de zone communal.



Impact attendus et études nécessaires

L'exploitation de la centrale sera source de bruit.

L'impact en matière de bruit devra être étudié dans le cadre de la notice d'impact accompagnant le dossier de la mise à l'enquête.

S'agissant d'une nouvelle installation au sens de l'article 2 OPB, les immissions provenant de cette installation devront respecter les valeurs de planification (VP) des degrés de sensibilité au bruit attribués aux zones avoisinantes. Si tel ne devait pas être le cas, le projet devra être adapté en conséquence (déplacement de la centrale, mesures antibruit,...).

En outre, le respect de la directive sur le bruit des chantiers doit être garanti.

EAUX DE SURFACES

Les aspects relatifs aux protections des sources sont traités dans le chapitre 5 du présent avant-projet.

Etat actuel

Les eaux de surface situées à proximité du projet sont le torrent de Nava (prise d'eau, conduite et centrale).

Impacts attendus

En phase de chantier, les risques se limiteront aux déversements potentiels d'hydrocarbures par les machines ainsi qu'aux pertes d'huile.

Le projet n'aura aucun impact direct sur la qualité des eaux de surface en phase d'exploitation.

Mesures

- dériver provisoirement des eaux du torrent de Nava au moyen de tuyaux durant les travaux de terrassement;
- les fûts et bidons d'hydrocarbures, huile ou tout autre liquide pouvant polluer les eaux seront entreposés dans des bacs étanches pouvant contenir 100% du liquide ou stockés dans des récipients à double paroi; ces derniers seront placés à bonne distance des cours d'eau;
- utilisation pour les machines d'huiles hydrauliques biodégradables rapidement;
- les systèmes hydrauliques des machines de chantier doivent être en parfait état et régulièrement contrôlés;
- une quantité de produits absorbants (Terraperl / Ecoperl) correspondant à la quantité d'huile minérale présente se trouvera en permanence sur le chantier.

PROTECTION DES SOLS

Etat actuel

Les sols touchés par les terrassements nécessaires à l'implantation de la conduite sont situés en forêt ainsi que sur des pâturages. Il s'agit probablement de podzols et de sols bruns acides.

Impacts attendus

Les fouilles nécessiteront l'ouverture de tranchées. Les déblais seront entreposés de part et d'autre de la fouille. Les travaux seront entrepris à l'aide d'une pelle araignée et l'emprise totale nécessaire est d'une largeur d'environ 5.0 m. Après les travaux, si le sol est reconstitué suivant sa structure originelle et les travaux exécutés soigneusement, la fertilité du sol se reconstituera rapidement.

Mesures

On notera qu'il est essentiel d'entreposer séparément chaque horizon du sol de manière à ne pas mélanger les horizons C stériles avec le sous-sol B fertile ou l'horizon A_h humique.

Le sol se forme en effet à partir de l'érosion de la roche mère, des végétaux et animaux, de l'activité de décomposition par les insectes et les microorganismes, ainsi que les bioturbation des vers de terre. Les mesures exigées sont donc :

- entreposer l'horizon Ah, B et C séparément;
- rouler et stationner sur l'horizon C;
- remettre en place les horizons dans l'ordre, soit C d'abord, B ensuite et Ah en dernier;
- récupérer les mottes et les disposer sur les terrassements en fin de chantier.

PROTECTION DE LA FORÊT

Etat actuel

La conduite forcée sera construite en forêt sur une distance approximative de 900 m'. La liaison au réseau électrique nécessitera également une conduite en forêt de 300 m'.

Les associations forestières touchées sont des pessières / mélézins à canche flexueuse.

Selon la carte des fonctions forestières, les peuplements touchés exercent une fonction de protection. Selon la cartographie des enjeux et aléas effectuée dans le cadre du projet efor2, les massifs forestiers en bordure du torrent de Nava exercent une protection contre les avalanches.

Impacts attendus

L'impact sur la forêt sera important, 1'200 m' de conduites étant construits en forêt.





Etudes nécessaires

Le projet de détail devra limiter au strict minimum nécessaire l'emprise sur les forêts.

Pour être conforme à la législation sur les forêts, le projet nécessitera une demande de création de servitude forestière. Notons également qu'en cas de mise à ciel ouvert de cette conduite, une demande de défrichement devra être fournie avec le dossier de mise à l'enquête.

DANGERS NATURELS

Etat actuel

Selon le cadastre cantonal des avalanches, tout le secteur des montagnes de Nava est en zone d'avalanches (avalanche cadastrée no 4'185). La carte des dangers d'avalanches ne distingue cependant que l'avalanche provenant du couloir situé au sud de la prise d'eau du torrent de Nava. Cette avalanche aboutit dans le torrent de Nava et le suit jusqu'à la route cantonale Ayer-Zinal.

Etudes nécessaires

Les 2 prises d'eau, la conduite ainsi que la centrale de turbinage seront situées partiellement en zone de danger d'avalanche. Lors de l'établissement du projet définitif, une expertise avalanche devra étudier les pressions avalancheuses sur la centrale de turbinage afin de la dimensionner en conséquence. D'éventuelles mesures constructives pourraient être ordonnées (butte de protection, centrale enterrée,...).

La prise d'eau, le décanteur, la chambre de mise en charge ainsi que la conduite ne seront pas menacés, car entièrement enterrés.



SYNTHÈSE

La matrice de pertinence suivante fait état de l'importance des domaines environnementaux aux différents stades de réalisation du projet :

	Etat actuel	Phase de chantier	Phase d'exploitation
Ecomorphologie	—	—	—
Hydrobiologie	—	—	—
Milieux riverains	—	—	—
Flore	—	—	—
Paysage / tourisme	—	—	—
Faune	—	—	—
Bruit	—	—	—
Eaux de surface	—	—	—
Protection des sols	—	—	—
Forêt	—	—	—

Importance des domaines : — Elevée

— Moyenne

— Faible

Tableau 0.1 : Matrice de pertinence des impacts environnementaux"

L'ensemble des points traités dans les chapitres précédents peut être repris et détaillé dans le cadre de la notice d'impact accompagnant le projet d'autorisation de construire. Un accent particulier devra être donné aux chapitres traitant de la flore et de la forêt. Les aspects de dangers d'avalanches devront également être pris en compte (expertise avalanche).

Outre la notice d'impact, le dossier de mise à l'enquête devra fournir les dossiers suivants, afin de respecter les procédures connexes :

• demande de création de servitude forestière;

• demande de défrichement (à déterminer);

Les aspects de protection des sources, non traités dans cette notice d'impact préliminaire mais décrits précédemment dans ce dossier, seront intégrés à la notice d'impact.

Calendrier prévisionnel/Suite des démarches

En cas de décision de poursuivre la réalisation du projet, les étapes indiquées dans notre planning en annexe sont à entreprendre. Les délais relatifs aux procédures sont donnés de manière indicative, il est clair que les délais des procédures sont toujours très difficiles à définir. On peut également relever que le chemin critique pour le projet en phase de réalisation est l'approvisionnement du groupe turbine-alternateur (18 mois). Dans le cas le plus favorable, la fin des travaux est prévue pour fin 2010.

Remarques et recommandations

L'étude de variantes a permis de sélectionner un projet optimal d'un point de vue technique, économique et environnemental.

L'analyse d'avant-projet démontre que le choix arrêté est techniquement réalisable, combien même des études complémentaires devront être menées en cas de réalisation. On pense en particulier à la problématique de la propriété des terrains, des servitudes et des mesures environnementales qui devront également être abordée en détail dans une étape ultérieure.

La variante retenue aboutit à un prix de revient se situant entre 10.6 cts/kWh et 11,2 cts/kWh selon le mode d'amortissement considéré. Ce niveau de prix est intéressant, si l'on considère d'une part la tendance à la hausse de prix de l'électricité sur le marché européen, et, d'autre part, les possibilités offertes par la nouvelle ordonnance sur l'énergie, bien que celle-ci ne soit pas encore adoptée dans sa version finale.

Nous ne pouvons par conséquent que recommander aux Forces Motrices de la Gougria de poursuivre l'étude de ce projet en vue de sa réalisation.



Liste des Tableaux de valeurs

<i>Tableau 9.1 : Choix des diamètres de conduite.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 9.2 : Choix du débit d'équipement.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 9.3 : Caractéristiques principales des turbines.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 9.4 : Caractéristiques principales des alternateurs.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 9.5 : Production annuelle moyenne sans irrigation pour chaque variante.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 9.6 : Production annuelle moyenne avec irrigation pour chaque variante de l'implantation B.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 10.1 : Investissement pour chaque variante.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 10.2 : Chiffre d'affaire annuel sans irrigation pour chaque variante.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 10.3 : Chiffre d'affaire annuel avec irrigation maximale pour chaque variante de l'implantation B.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 10.4 : Prix de revient du kWh et marge annuelle sans irrigation pour chaque variante.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 10.5 : Prix de revient du kWh et marge annuelle avec irrigation maximale pour chaque variante de l'implantation B.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 11.1 : Principales caractéristiques de la turbine.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 11.2 : Principales caractéristiques de l'alternateur.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 11.3 : Investissement en CHF.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 11.4 : Chiffre d'affaire annuel.....</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 11.5 : Prix de revient et marge avec amortissement et revenu selon OEne.....</i>	<i>47</i>
<i>Tableau 11.6 : Prix de revient et marge avec amortissement "classique".....</i>	<i>47</i>
<i>Tableau 12.1 : Matrice de pertinence des impacts environnementaux".....</i>	<i>57</i>

