



## AVANT-PROJET

# PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE DE BOUDRY « PONTAREUSE »

Rapport 2007

Auteur

**Michel Hausmann, Turbinor SA**  
Rue des Prés 5, CP 55, 2605 Sonceboz-Sombeval

[mhausmann@turbinor.com](mailto:mhausmann@turbinor.com)  
[www.turbinor.com](http://www.turbinor.com)

Maîtres d'ouvrage

**Reto Kaderli**  
Hafnerweg 31, 5432 Neuenhof

**Michel Hausmann**  
Rue du Soleil 40, 2610 Saint-Imier



Date: 30.05.2007

**Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Adresse postale: CH-3003 Berne

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

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

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

Numéro de projet: 101738

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



## Table des matières

Avant-propos .....	4
Résumé .....	5
Zusammenfassung .....	5
Abstract.....	6
Requérants .....	7
Buts du projet .....	7
Plan de situation .....	7
Hydrologie .....	8
Débits brutes disponibles au turbinage .....	8
Débit résiduel .....	9
Débits disponibles au turbinage .....	10
Statistique des crues .....	10
Etude des variantes.....	11
Concept de l'aménagement hydroélectrique (selon var. II).....	13
Situation foncière.....	14
Dimensionnement hydraulique à la retenue, clapet de seuil.....	14
Crues.....	15
Chute brute.....	18
Choix du débit d'installation .....	18
Dimensionnement de la conduite d'amenée.....	19
Choix préliminaire d'une turbine .....	20
Maison de turbinage.....	22
Ouvrages et équipements à la prise d'eau .....	24
Captage .....	24
Echelle à poissons.....	27
Calcul de la production.....	27
Caractéristiques d'exploitation .....	28
Connexion au réseau électrique .....	28
Protection de la nature, du paysage et des intérêts publics .....	29
Raison et utilité .....	29
Répercussions probables du prélèvement.....	30
Rinçage de la retenue .....	31
Traitement des détritits flottants .....	31
Dispositions préliminaires pour la réalisation des travaux.....	31
Exécution des travaux .....	32



Ouvrages à la prise d'eau et au seuil .....	32
Echelle à poissons .....	34
Conduite d'amenée .....	34
Maison de turbinage .....	34
Calendrier prévisionnel de réalisation .....	35
Rentabilité économique.....	35
Recommandations finales.....	36
Eléments de l'utilisation de l'eau : .....	36
<a href="#">Annexe</a> .....	37

## Avant-propos

Cet avant-projet a été élaboré par Turbinor en coopération avec M. Reto Kaderli en vue de l'octroi ultérieur d'une concession de force hydroélectrique et des permis nécessaires à la réalisation d'une installation sise sur l'Areuse au lieu-dit « Pontareuse » à Boudry (NE).

L'étude effectuée analyse la situation pour présenter une solution optimisée répondant aux exigences imposées dans le cadre d'une réalisation durable.

L'avant-projet sert de base d'évaluation aux autorités impliquées dans les démarches administratives et permettra par la suite d'attribuer un mandat à un bureau spécialisé dans l'élaboration d'une *Notice d'impact sur l'environnement*.



## Résumé

Le projet de petite centrale hydroélectrique, dénommé « PCH Boudry Pontareuse », se situe à la sortie des Gorges de l'Areuse sur la commune de Boudry dans le canton de Neuchâtel. Il prévoit de mettre en valeur le potentiel hydraulique de l'Areuse aux abords d'un seuil artificiel qui a été construit puis restauré dans la rivière au cours de diverses mesures de correction du cours d'eau.

Le prélèvement s'effectuerait immédiatement en amont du seuil par le biais d'un ouvrage de prise d'eau qui comprendrait les équipements nécessaires au bon fonctionnement des installations (prégrilles, batardeaux de purge ou d'isolation, grille fine avec dégrilleur, etc...). Dans le but d'assurer une hauteur d'eau suffisante pour faire passer le débit d'installation et afin de maximiser la production, il est prévu d'installer un clapet de seuil sur la crête déversante actuelle. Celui-ci est construit à l'aide d'un tuyau-gomme commandé avec de l'air comprimé et lève un clapet de seuil métallique. La position du clapet de seuil est commandée avec le débit momentané du cours d'eau, de sorte à ne pas influencer la restitution de l'usine hydroélectrique qui se situe en amont de l'installation prévue, mais en profitant en toutes circonstances d'une hauteur d'eau maximale à la retenue. La caractéristique de déversement du seuil est maintenue identique à la situation présente en cas de crues.

Une échelle à poissons est prévue d'être construite de l'autre côté du prélèvement, remplaçant actuellement une vanne qui déverse dans un canal qui, autrefois, alimentait des fabriques artisanales. Le débit par ce canal est aujourd'hui réservé à une ancienne petite installation de turbinage.

L'eau à disposition dans le cadre du nouveau projet est acheminée par une conduite d'amenée sur une courte distance jusqu'à la maison de turbinage qui loge tous les équipements électromécaniques tels que la turbine Kaplan horizontale « S » à double réglage, le réducteur à engrenages, la génératrice, la commande et les équipements auxiliaires.

Dimensionnée pour atteindre le plein régime durant env. 90 jours par an, l'installation de turbinage fonctionne avec un débit nominal de **13 m<sup>3</sup>/s**. La chute moyenne à disposition est de **4.4 m**, ce qui permettrait d'atteindre une puissance maximale de **391 kW** et une production annuelle de **1.4 GWh**.

Le projet hydroélectrique présente un bilan énergétique avantageux et peut être considéré comme une bonne solution à l'utilisation rationnelle des ressources dans un contexte d'approvisionnement durable en électricité.

La rentabilité économique de la réalisation projetée est faible considérant le tarif actuel de la rétribution de l'énergie injectée dans le réseau. Le projet peut cependant devenir intéressant avec les changements des bonifications qui entreront en vigueur avec la nouvelle loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEI).

## Zusammenfassung

Das Kleinwasserkraftwerksprojekt « PCH Boudry Pontareuse » ist am Ausgang der Gorges de l'Areuse in der Gemeinde Boudry im Kanton Neuenburg vorgesehen. Ziel ist es, das vorhandene Potential der Wasserkraft der Areuse entlang einer bestehenden Schwelle, die während mehreren Korrekturmassnahmen des Gewässers erbaut wurde, auszunutzen.

Die Entnahme ist gleich oberhalb der Schwelle vorgesehen. Diese ist mit allen notwendigen Komponenten bestückt, um eine gute Wasserfassung zu ermöglichen (Grobrechen, Schützen zum Absperren und zum Spühlen, Feinrechen mit Rechenreinigungsmaschine, usw...). Um eine ausreichende Wassertiefe zu gewährleisten, die für die geplante Ausbaumenge nötig ist, wie auch um eine maximale Energieproduktion zu ermöglichen, ist es vorgesehen, eine Wehrklappe einzusetzen. Diese würde am Rande der Schwelle eingebaut werden. Die Wehrklappe, bestehend aus einer Metallplatte, wird mittels einem mit Druckluft gefüllten Gummischlauch gehoben. Die genaue Position der Wehrklappe wird optimal über den Abfluss der Areuse ermittelt. Der Rückstau erfolgt dadurch nur bis unterhalb des bestehenden Wasserkraftwerks, das sich flussaufwärts befindet und hat somit keinen Einfluss auf dieses. Dies erlaubt es jedoch in jeder Abflusssituation den höchsten Wasserpegel bei der Fassung zu regulieren. Die Abflussskennlinie für das Hochwasser am Wehr bleibt unverändert.

Eine Fischtreppe ist auf der gegenüberliegenden Seite der Wasserfassung vorgesehen. Diese ersetzt einen Einlassschützen, der den Kanal anspeist, der früher zur Nutzung von Textilfärbung diente. Der Abfluss durch



diesen Kanal, der heute noch ein altes Kleinwasserkraftwerk anspeist, muss mit einer bestimmten Mindestmenge jederzeit gewährleistet sein.

Das Wasser, das im Rahmen des Neuprojektes gefasst wird, wird in eine kurze Druckrohrleitung bis zum Turbinenhaus geführt. Dort sind alle elektromechanischen Komponenten, die zum Betrieb der Anlage dienen, wie die horizontale doppeltgeregelter Kaplan S-Turbine, das Getriebe, der Generator, die Steuerung und die Hilfssysteme eingebaut.

Ausgelegt, um während ca. 90 Tage pro Jahr auf Vollast fahren zu können, wird die Anlage mit einer Ausbaumenge von **13 m<sup>3</sup>/s** bestimmt. Das mittlere Gefälle beträgt **4.4 m**. Dies erlaubt es eine Maximalleistung von **391 kW** zu erreichen und eine jährliche Energieabgabe von **1.4 GWh** zu sichern.

Das Kleinwasserkraftwerksprojekt weist eine günstige Energiebilanz auf und kann als solches als eine gute und rationelle Lösung betrachtet werden, was die Ressourcennutzung für eine nachhaltige Energieeinspeisung betrifft.

Die Wirtschaftlichkeit des Projekts ist bescheiden, betrachtet man den heutigen Stand der Tarife der Strom-einspeisung. Dieses Projekt könnte jedoch mit den kostendeckenden Vergütungen, die im Rahmen des neuen Stromverordnungs-gesetzes (Strom VG) vorgesehen sind, begünstigt werden.

## Abstract

The small hydropower plant project « PCH Boudry Pontareuse » is planned to be built downstream of the Gorges de l'Areuse in Boudry, canton Neuchâtel. The goal of this project is to take advantage of the hydro power of the Areuse across an existing artificial weir step which has been built and renovated in the frame of several river corrections in the past.

The intake is planned to be located immediately on the side above the weir step and would include components to warrant for a proper operation of the plant (screens, purging gates, isolating gates, fine screens with trash-rack cleaning machine, a.s.o...). In order to grant the necessary water depth in front of the intake for the expected turbine flow and also in order to maximize the production it is planned to install a flap gate on the weir step fall. The flap gate would be controlled by means of compressed air in a rubber bellow lifting a metal gate plate. The position of the flap gate will be regulated according to the actual river flow in order not to influence the tail water level of the hydro plant which is located upstream of the project site but taking advantage of the highest possible intake water level in all circumstances. The flow capacity characteristic of the actual weir in case of flood situations will be maintained identical also with the new project.

A fish stair is planned to be built on the opposite river side of the intake, replacing an existing gate which supplies the flow to a channel that was mainly used for textile craft in the past. Nowadays this channel exclusively leads to a small ancient hydro power plant. Hence, a defined flow has to be guaranteed through this path.

The water which is deviated for the new project enters a short penstock which leads to the powerhouse where all the electro-mechanical equipments are installed for the power generation process, such as a horizontal double-regulated Kaplan S-turbine, a gear box, a generator, the control panels and the balance of plant.

Sized to run at full load during ap. 90 days a year, the turbine design flow is calculated for **13 m<sup>3</sup>/s**. The mean head is **4.4 m**. The maximum plant output is **391 kW** and the annual production is expected to achieve **1.4 GWh**.

The small hydro power plant project is characterized with an attractive overall energy balance and can be considered as a good solution for the rational use of the resources in the context of a sustainable energy supplying process.

The financial profitability of the planned realization is low considering the actual energy tariff system which is applied. The project can however become interesting with the expected tariff changes which will be issued with the new law for the electrical energy supply (StromVG / LAPeI).



## Requérants

Les initiateurs du présent projet et investisseurs sont (conjointement):

Monsieur  
Reto Kaderli  
Hafnerweg 31  
CH-5432 Neuenhof

et

Monsieur  
Michel Hausmann  
Rue du Soleil 40  
CH-2610 Saint-Imier

Les requérants prévoient de créer une société anonyme avec siège à Boudry lorsque tous les permis nécessaires à la réalisation et à l'exploitation de l'aménagement hydroélectrique seront disponibles. Identification préliminaire de la société :

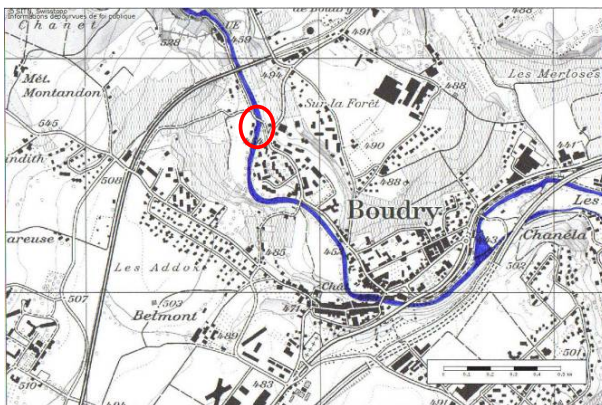


## Buts du projet

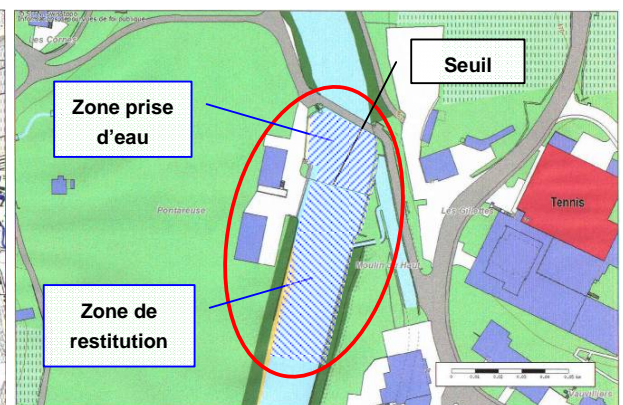
- Exploitation de la force hydraulique à Pontareuse sur un site qui est déjà conçu pour favoriser l'intégration d'un aménagement hydroélectrique (seuil artificiel existant)
- Production indépendante d'électricité en utilisant une ressource renouvelable, sans déchets d'exploitation, sans pollution et sans émission de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)
- Conception de l'installation selon les critères « Green Hydro » visant à solliciter une certification écologique du type « naturemade star » de l'Association pour une électricité respectueuse de l'environnement (VUE)
- Promotion des énergies renouvelables en accord avec les buts fixés par la confédération et le canton
- Alimentation en électricité de la commune de Boudry (réseau local)

## Plan de situation

La zone d'intérêt se situe dans le haut de l'agglomération de Boudry, de part et d'autre d'un seuil artificiel construit dans l'Areuse. La prise d'eau (ou captage pour le turbinage) est prévue en amont du seuil et la restitution après le turbinage s'effectuera à peu de distance en aval.

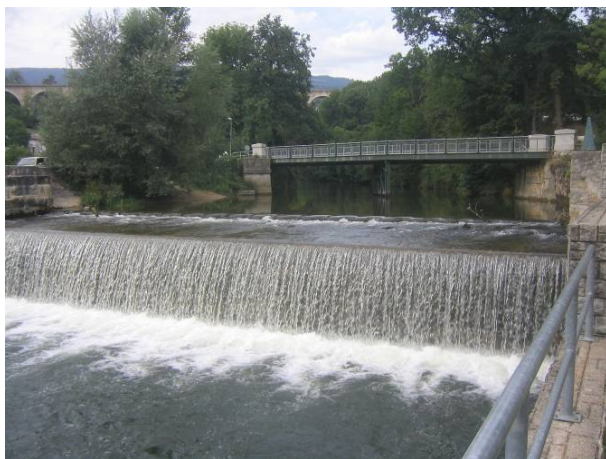


Boudry



Site hydraulique à Pontareuse





Vue sur le seuil artificiel

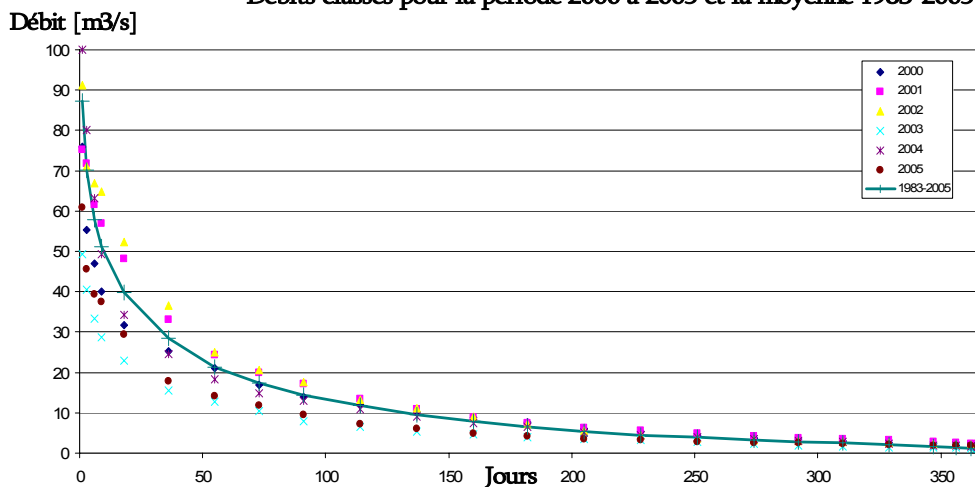


Vue depuis le pont contre l'aval

## Hydrologie

Les débits de l'Areuse à Boudry sont enregistrés à la station de mesure LH 2480 à quelque 1 km en aval du site en étude. Cette station de mesure livre des données fiables depuis 1983, les dernières mesures contrôlées datent de l'année 2005, voir le document 2480Q\_05 en [annexe 1](#).

Débits classés pour la période 2000 à 2005 et la moyenne 1983-2005



Débits de l'Areuse enregistrés à la station de mesure LH2480

## DÉBITS BRUTES DISPONIBLES AU TURBINAGE

Confluents et affluents entre la prise d'eau du projet et la station de mesure LH2480 :

Un canal artificiel (dénommé *canal des Fabriques* ou *Canal des Moulins* ou encore *canal Rossetti*) prélève de l'eau de l'Areuse sur la rive gauche en amont du seuil, en face de la prise d'eau prévue. Celui-ci rejoint le cours d'eau quelque 300 m en aval, bien en amont de la station de mesure.

Le canal des Fabriques alimentait jadis une industrie florissante d'indiennes qui s'était établie en ces lieux au XVIII<sup>e</sup> siècle. De nos jours, il ne subsiste plus d'activités artisanales mais le canal alimente une ancienne petite installation de turbinage (propriétaire : M. Albert Rossetti). Cette dernière a un débit no-

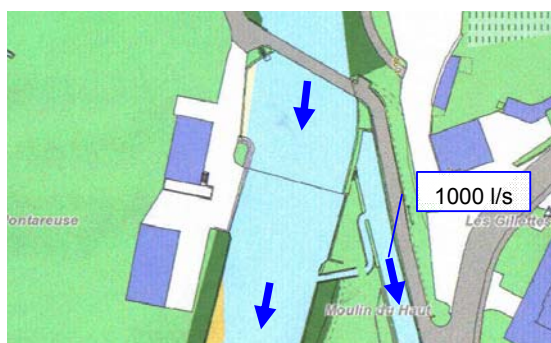


minal d'environ 800 l/s selon l'information reçue par le propriétaire des installations. Compte tenu de l'utilisation des débits dans ce canal, il est, par la présente, proposé de réserver en tout temps un débit minimum de **1000 l/s** dans le canal, ce qui permettra à la petite turbine de fonctionner à plein régime tout en assurant un débit de trop plein de l'amenée par les crêtes déversantes prévues à cet effet.

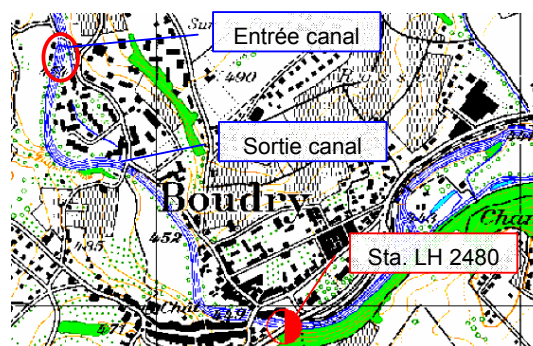
On ne constate d'autres prélèvements ni d'apports entre la zone de la prise d'eau du projet et la station de mesure.

En découle :

> Débits bruts disponibles au turbinage (sans considération du débit résiduel) = $Q_{LH\ 2480} - 1.0\ m^3/s$
--



Débit réservé dans le canal des Fabriques



Carte de la station de mesure

## DÉBIT RÉSIDUEL

La proposition pour le débit résiduel se réfère aux prescriptions des débits résiduels minimaux selon l'art. 31 de la Loi fédérale de la protection des eaux (LEaux).

Dans ce calcul, le débit  $Q_{347}$  (= débit garanti durant 347 jours par an) est déterminant. Comme le tronçon à débit résiduel se situe dans une zone du cours d'eau de débit  $Q_{LH\ 2480} - 0.1\ m^3/s$  il faudrait théoriquement tenir compte du débit du canal des Fabriques pour le  $Q_{347}$  propre au tronçon court-circuité. A titre de simplification et par mesure de sécurité nous considérons cependant que le  $Q_{347}$  de la station de mesure LH 2480 s'applique également à la zone en question.

Nous obtenons la valeur du débit résiduel min. sur la base de la moyenne des  $Q_{347}$  enregistrés entre 1983 – 2005 (données validées par l'OFEV):

Année	Débit $Q_{347}$ [ $m^3/s$ ]
Moyenne 1983 - 2005	1.64

Calcul :

Pour les premiers 500 l/s de  $Q_{347}$ : 280 l/s  
 Pour les l/s de  $Q_{347}$  suivants: plus 31 l/s par tranche de 100 l/s :  $(1640 - 500)*31/100 =$  353.4 l/s

Débit résiduel minimal calculé: 633.4 l/s

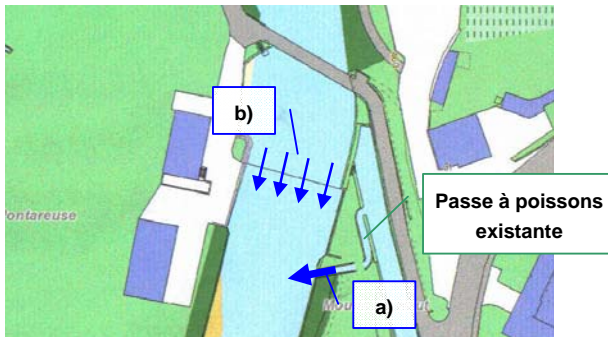
>> Débit résiduel proposé:	<u>650 l/s</u>
----------------------------	----------------



Dotation :

Il est prévu que le débit résiduel s'écoule par :

- a) La passe à poisson existante reliant le canal des Fabriques avec le cours d'eau
- b) Par la crête déversante du seuil



La répartition de ces deux flux du débit est préliminairement proposée comme suit :

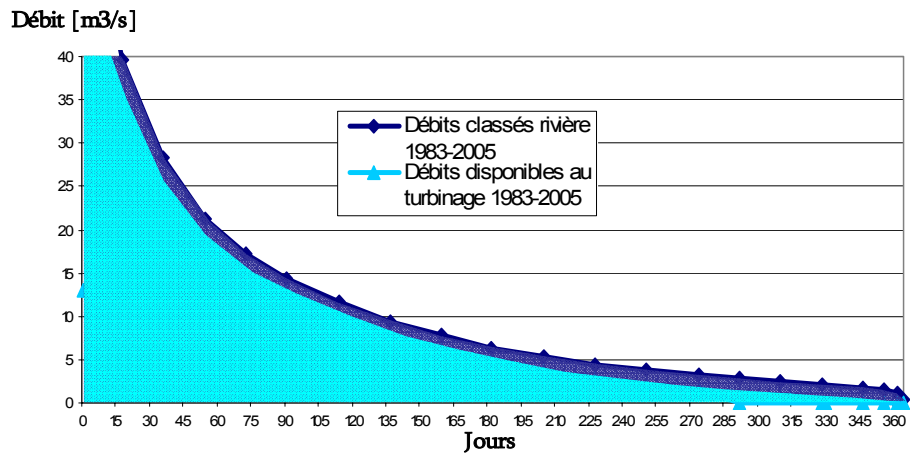
- 50% (325 l/s) par la passe à poissons
- 50% (325 l/s) par le seuil

Répartition des débits qui ne seront pas turbinés

### DÉBITS DISPONIBLES AU TURBINAGE

Les débits disponibles au turbinage se calculent à partir des débits de la station de mesure LH 2480 moins le débit dans le canal des Fabriques moins le débit résiduel :

$$\gg \text{Débits disponibles au turbinage} = Q_{LH\ 2480} - 1.0\ \text{m}^3/\text{s} - 0.65\ \text{m}^3/\text{s}$$



Débits classés de la rivière et débits disponibles au turbinage

### STATISTIQUE DES CRUES

La statistique des crues permet de dimensionner les ouvrages pour qu'ils résistent aux hautes eaux et pour assurer l'évacuation de ces dernières.



Périodicité [années]	Débit [m3/s]
2	98
5	123
10	139
20	154
50	173
100	187
200	201

Table de la statistique des crues LH2480

La statistique des crues établie à la station de mesure LH 2480 peut être considérée sans correction pour la zone en étude (la distance séparant ces deux sites est petite et il n'y a pas d'affluents / confluent à considérer).

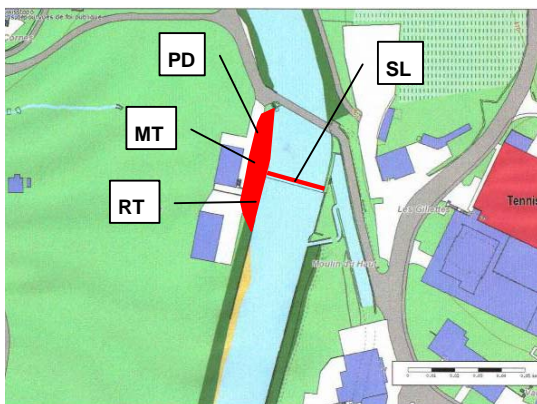
Dans le cadre de l'avant-projet, nous dimensionnons toutes les constructions et les installations afin d'éviter tous problèmes jusqu'à des débits de l'ordre de HQ100.

## Etude des variantes

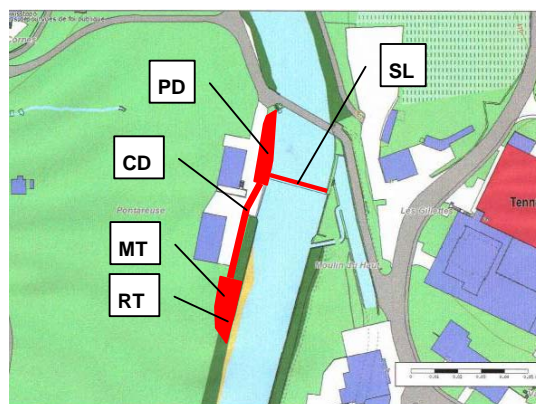
Trois variantes de base sont identifiées et évaluées préliminairement:

- **Variante I:**  
Prise d'eau sur la droite en amont du seuil. Centrale de turbinage. Restitution dans le bassin amortisseur du seuil.
- **Variante II:**  
Prise d'eau sur la droite en amont du seuil. Conduite d'amenée souterraine. Centrale de turbinage. Restitution à quelque 45 m en aval du seuil
- **Variante III:**  
Prise d'eau sur la gauche en amont du seuil, utilisation du canal des Fabriques comme canal d'amenée à ciel ouvert. Centrale de turbinage. Restitution à quelque 40 m en aval du seuil

Note : Pour toutes les variantes l'ouvrage du seuil est à prévoir identique

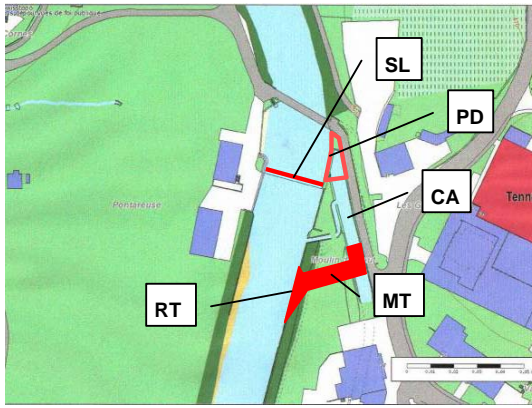


Encombrement Variante I



Encombrement Variante II





Encombrement Variante III

Légende :

PD = Prise d'eau  
 CD = Conduite d'amenée  
 CA = Canal d'amenée  
 MT = Maison de turbinage  
 RT = Restitution turbine

Analyse sommaire des variantes :

Critère d'évaluation	Var. I	Var. II	Var. III
<p><u>Faisabilité technique</u></p> <p>La réalisation de var. I nécessite une relocalisation du chemin d'accès qui conduit aux bâtiments existants de la rive droite (remise pour machines agricoles et dépôt, anciennement porcherie) voire même le démantèlement du dépôt. L'établissement de la var. II permettrait cependant de positionner les ouvrages de manière à pouvoir maintenir le chemin d'accès existant.</p> <p>Pour la réalisation de var. III, le haut du canal des Fabriques est à réaménager de manière conséquente (ouverture à la prise d'eau, élévation des murs du canal, remise en état, etc...) tout en respectant les spécifications propres au débit du canal et de la passe à poissons existante.</p>		+	
<p><u>Production</u></p> <p>La chute brute de var. II et var. III est similaire. Elle surpasse la chute brute de la var. I d'env. 50% (4.4 m contre 2.8 m).</p> <p>Le débit d'installation est choisi identique à toutes les variantes.</p>		++	++
<p><u>Coûts d'installation / unité de production</u></p> <p>Les coûts d'installation en rapport avec la production énergétique prévue sont les plus élevés pour la var. I (l'importante différence de chute ne peut être compensée avec des économies d'investissement).</p> <p>Il est estimé que les coûts du projet sont similaires pour var. II et var. III ; ce n'est qu'une étude de détail (listing des quantités et soumissions) qui permettrait d'analyser plus précisément cette différence mais dans tous les cas elle n'est pas déterminante.</p>		++	++
<p><u>Bilan énergétique</u></p> <p>Le meilleur bilan énergétique est atteint pour une production max. pour des ouvrages de dimension et de composition similaire. Pour le cas de l'analyse des trois variantes sélectionnées, les var. II et III démontrent le bilan énergétique le plus favorable.</p>		++	++
<p><u>Considérations piscicoles</u></p> <p>La var. I qui restitue immédiatement en aval du seuil est une variante qui ne nécessite de débit de dotation (pas de tronçon de rivière court-circuité).</p> <p>Var III restitue dans la zone de la passe à poissons existante, ce qui est favorable aux poissons pour trouver l'entrée de la passe.</p>	++	+	



<u>Impact paysager</u>	+	+	
L'impact visuel des installations est similaire pour toutes les variantes. Cependant, les var. I et II se situent du côté de la rivière qui ne compte pas d'agglomération, alors que la var. III, située sur la rive gauche, est d'avantage susceptible de déranger le voisinage (encombrement, bruit, accès, etc...).			

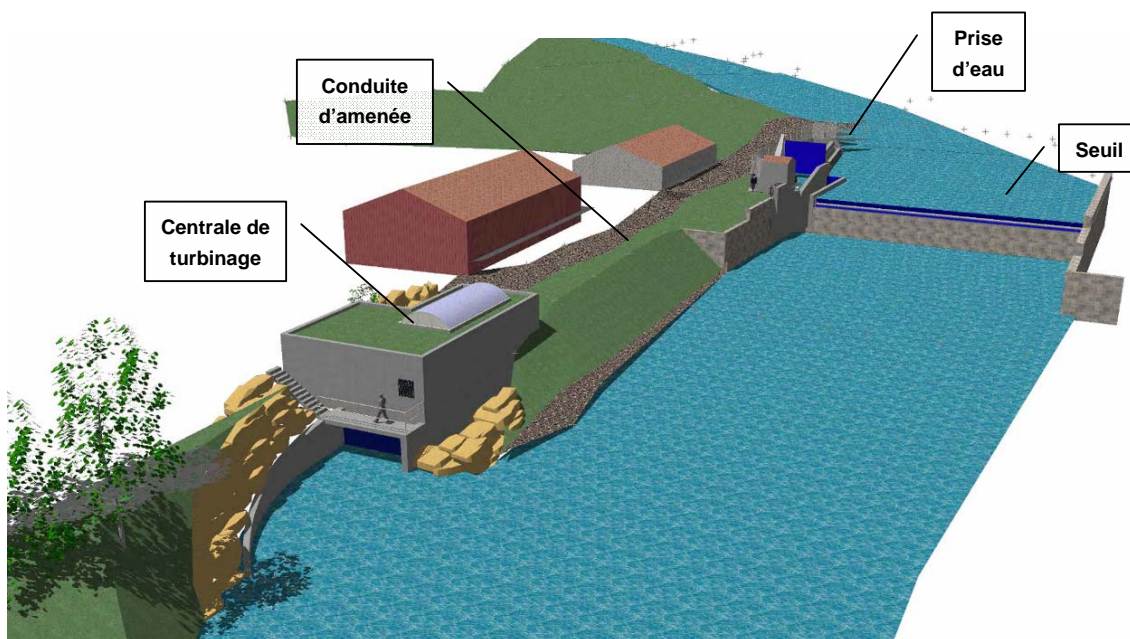
Choix de la variante à développer :

Basé sur l'analyse sommaire l'on préconisera le développement de la variante II, tout en se réservant la possibilité de recourir à la variante III si la *Notice d'impact sur l'environnement*, qui sera établie sur la base de l'avant-projet et de la var. II, devait révéler de sérieux problèmes.

En considération d'une utilisation rationnelle de l'énergie et en conséquence directe avec les résultats obtenus la var. I est abandonnée.

Ainsi, l'avant-projet se poursuit avec le développement de la var. II dans le cadre de cette étude.

### Concept de l'aménagement hydroélectrique (selon var. II)

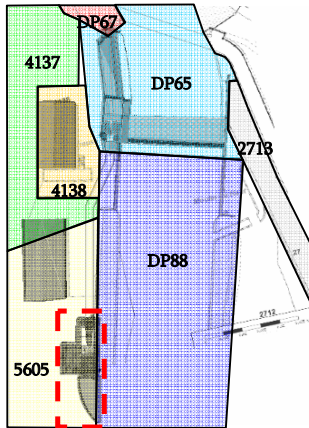


Modélisation selon la variante II



## Situation foncière

La situation foncière est enregistrée comme suit :



### Identification des parcelles et des propriétaires fonciers

DP67 : Commune de Boudry

DP65 : Canton de Neuchâtel

DP88 : Canton de Neuchâtel

4138 : Monsieur Frédéric Meisterhans

4137 : Madame Suzanne Geiser

5605 : Madame Suzanne Geiser

2713 : Canton de Neuchâtel

La mise en œuvre du projet nécessite des droits, des servitudes et la mise à disposition de terrains. Ci-dessous, une proposition préliminaire qui reste encore à négocier avec les ayants droit :

### Projet de droits, de servitudes et d'acquisition de terrain

- Concession hydroélectrique
- Permis de construire
- Droits de superficie (99 ans) sur les parcelles DP67, DP65 et 2713
- Achat de terrain sur la parcelle 5605 (env. 450 m<sup>2</sup>) et DP88 (env. 70 m<sup>2</sup>)
- Droits de passage et de canalisations à la charge de 4138, 4137, 5605, DP88

## Dimensionnement hydraulique à la retenue, clapet de seuil

La prise d'eau s'effectue en amont du seuil à partir de la rive droite. Un rehaussement du seuil existant est prévu en accord avec les spécifications établies comme suit:

Raison et utilité:

- Un rehaussement du seuil est nécessaire pour créer une hauteur d'eau suffisante en amont de la retenue, resp. pour offrir une section d'eau appropriée afin que la vitesse de passage de l'eau déviée ne dépasse 0.5 m/s dans les ouvrages. Ceci permettra de limiter les pertes à la prise d'eau et d'éviter une attirance trop forte des corps en suspensions (bois, feuilles, plastiques, etc...) dans la direction du captage.
- Un rehaussement du seuil permet d'augmenter la chute d'eau et ainsi d'augmenter la puissance et la production des installations

Limites:

- Le rehaussement ne doit pas influencer l'évacuation des crues
- La retenue créée par le rehaussement ne doit pas conduire à des inondations des terrains avoisinants
- La retenue créée par le rehaussement ne doit pas influencer la hauteur d'eau à la sortie des turbines de l'usine du Chanet qui se situe à quelque 380 m en amont

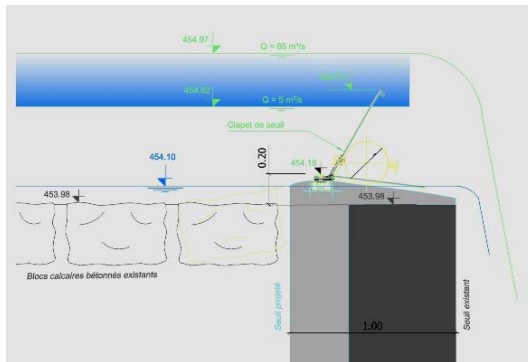
Solution: *Proposition élaborée selon les résultats de simulations des hauteurs d'eau avec les profils de la rivière et des terrains avoisinants*



- i. Le rehaussement s'effectue avec un système mobile (clapet de seuil)
- ii. Rehaussement défini pour que l'influence de la retenue s'étende au max. jusqu'à 15 m en aval de la sortie des turbines de l'usine du Chanet
- iii. Remblayage du terrain des jardins de l'Etat (à env. + 50cm)

Le rehaussement mobile a l'avantage d'offrir la possibilité de pouvoir bénéficier d'une hauteur d'eau max. à la retenue et également d'assurer la sécurité requise lors des crues (abaissement progressif, à total, du dispositif). Il existe actuellement diverses solutions techniques pour réaliser un rehaussement mobile. Pour ce projet nous optons pour une solution combinée avec un clapet de seuil contrôlé par un tuyau-gomme pneumatique. Les avantages de cette option technique qui est disponible jusqu'à des hauteurs de seuil d'environ 80 cm sont :

- Prix avantageux en comparaison avec un dispositif de contrôle par vérin hydraulique
- Robustesse accrue comparée avec un simple tuyau-gomme sans clapet de protection
- La répartition des forces sur toute la longueur du clapet permet de réaliser de grandes longueurs de clapet



Coupe de la situation prévue avec le clapet de seuil



Exemple d'une réalisation similaire

#### Fonctionnement de la régulation au seuil:

Le contrôle de l'élévation du seuil fonctionne à l'aide du tuyau-gomme qui est appuyé sur la contre-face du clapet. Le gonflement resp. le dégonflement du tuyau-gomme s'effectue avec de l'air comprimé qui est généré par un petit compresseur prévu d'être logé dans le bâtiment de service de la prise d'eau. La régulation du niveau d'eau à la retenue est établie à partir du signal d'une sonde de pression d'eau et de la gérance électronique qui commande l'ouverture de la turbine et la régulation de l'élévation du seuil. En mode automatique, l'ouverture de la turbine sera commandée pour maintenir le niveau d'eau à la consigne autorisée en fonction du débit de la rivière, le débit étant interprété à partir du signal de la sonde de pression qui sera logée dans une niche connectée avec le bassin amortisseur à l'aval du seuil. La régulation du seuil entrera en effet moyennant des temporisations appropriées et sera surveillée par une sonde de pression qui mesurera le niveau d'eau en amont du seuil. Un flotteur connecté à un circuit indépendant pour l'évacuation de l'air du tuyau-gomme veillera à abaisser le seuil en cas de panne du circuit principal de régulation ou si le niveau d'eau à la retenue devait dépasser une limite non permmissible.

#### CRUES

Le concept de régulation et le dimensionnement du clapet de seuil ont été élaborés avec l'étude des crues.

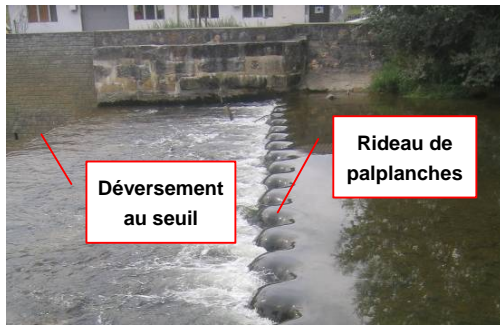
Dans une première phase l'on a relevé les profils de rivière ainsi que les niveaux d'eau respectifs pour un débit connu (relevés du 26.10.2006 avec  $Q_{Areuse} = 5.19 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Une modélisation de la rivière a ensuite été créée à l'aide d'un programme hydraulique spécifique (REHM/FLUSS 9.1). Les rugosités des profils (valeurs Kst) ont été estimées d'après la nature du lit de la rivière et calibrées selon la situation connue à la date des relevés.



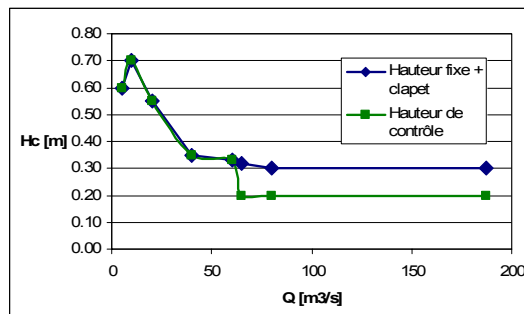
Une série de simulations a alors été initiée pour divers débits et diverses hauteurs de clapet de seuil, voir les détails en [annexe 2 et 3](#).

Résultant des simulations l'on notera que le clapet de seuil peut poser sur une surélévation fixe de 20 cm au seuil actuel, ceci n'influençant pas la situation générale de l'écoulement (le rideau de palplanches qui se situe transversalement au seuil influence actuellement le niveau d'eau à l'amont et non la crête déversante du seuil).



*Situation actuelle au seuil*

De ces simulations hydrauliques, on définit la hauteur de clapet max. en fonction du débit de la rivière, de sorte à ne pas influencer le niveau du plan d'eau à la restitution des turbines de l'usine du Chanet. Le rehaussement fixe + la hauteur de clapet max. est calculé comme suit :

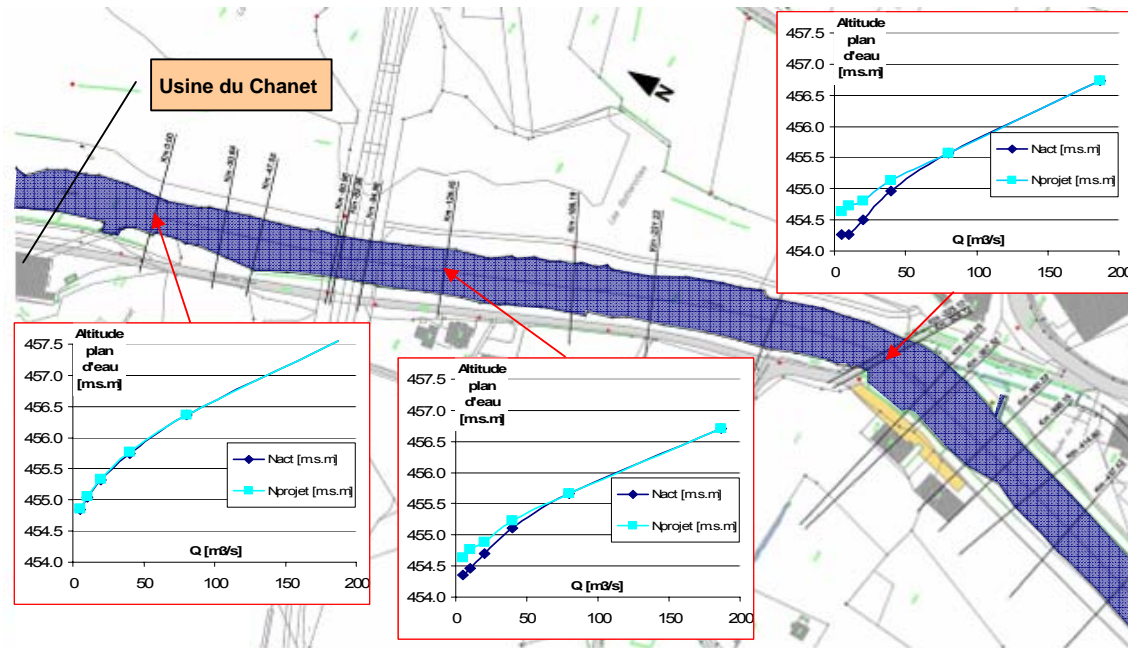


*Graphique du contrôle prévu pour le clapet de seuil*

Le contrôle du clapet suit la courbe de la hauteur de clapet optimisée entre 0 – 65  $m^3/s$ . Au-delà, le clapet est entièrement abaissé.



Hauteurs d'eau dans les profils de la rivière à l'amont du seuil :



Courbes des hauteurs d'eau en fonction du débit de la rivière

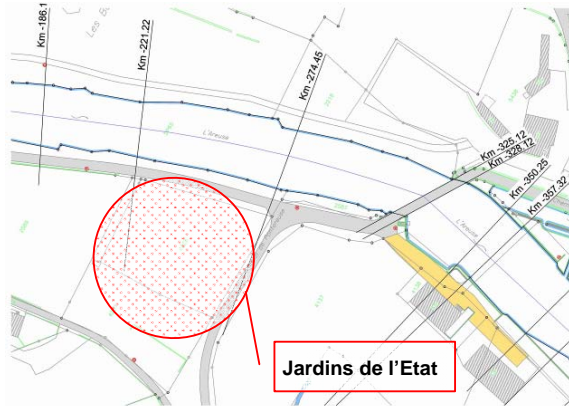
La représentation graphique des niveaux d'eau avec le projet présente une différence d'environ 0.5 m de hauteur d'eau pour les petits débits comparé avec la situation actuelle. Cette différence s'efface plus l'on remonte le cours d'eau pour finalement devenir nulle à l'aval de la restitution des turbines de l'usine du Chagnet.

Pour les grandes crues le projet présente la même caractéristique que la situation actuelle. Cette dernière ne permet d'éviter que quelques terrains avoisinant la rivière se retrouvent inondés, voir les résultats des simulations pour la crue centennale (HQ100 = 187 m³/s) dans les [annexes 2 et 3](#).

Les jardins de l'Etat qui se situent sur la berge droite entre les profils relevés km -221.22 et km -274.45 (parcelles no. 4228 / 4228) présentent des caractéristiques particulièrement sensibles à l'inondation. En effet, selon les constatations faites, cette zone devient submergée avec des débits de l'Areuse qui dépassent environ 65 m³/s mais également lors de la fonte des neiges et lors de fortes pluies car la perméabilité du terrain est faible et celui-ci est affaissé dans une cuvette de niveau inférieur au terrains avoisinants. Ainsi, les jardins sont périodiquement inondés, une situation déplaisante aux exploitants de ces terres cultivées.

Pour améliorer la présente situation et en considérant que le projet hydroélectrique détériorerait encore la fréquence des inondations, il est prévu de rehausser ces terres d'env. 50 cm (décapage de la terre végétale, remblais en utilisant la qualité du matériel requis et remise en place de la terre végétale) et de mettre en place des lignes de drainage conduisant à la rivière (chemins en grave dans les couches inférieures du terrain).





Situation des jardins de l'Etat



Jardins de l'Etat submergés (03.03.2007)

## Chute brute

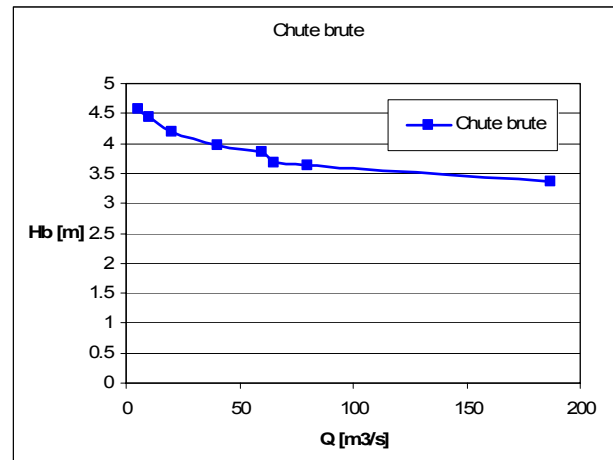
La chute brute est définie par l'élévation du plan d'eau amont par rapport au plan d'eau aval à la restitution de la turbine.

Le plan d'eau amont a été défini en fonction des débits avec le contrôle du clapet, *lire le chapitre précédent*.

Les simulations hydrauliques de la rivière ont également permis d'estimer le niveau d'eau à la restitution de la turbine (zone entre les profils relevés 0 km – 414.808 et 0 km – 437.42). Les résultats détaillés des simulations sont disponibles dans les [annexes 2 et 3](#).

Débit rivière [m <sup>3</sup> /s]	Hauteur fixe + clapet de seuil [m]	Chute brute [m]
5.19	0.60	4.58
10.00	0.70	4.45
20.00	0.55	4.19
40.00	0.35	3.97
60.00	0.33	3.85
65.00	0.20	3.68
80.00	0.20	3.63
187.00	0.20	3.35

Table et graphique de la chute brute

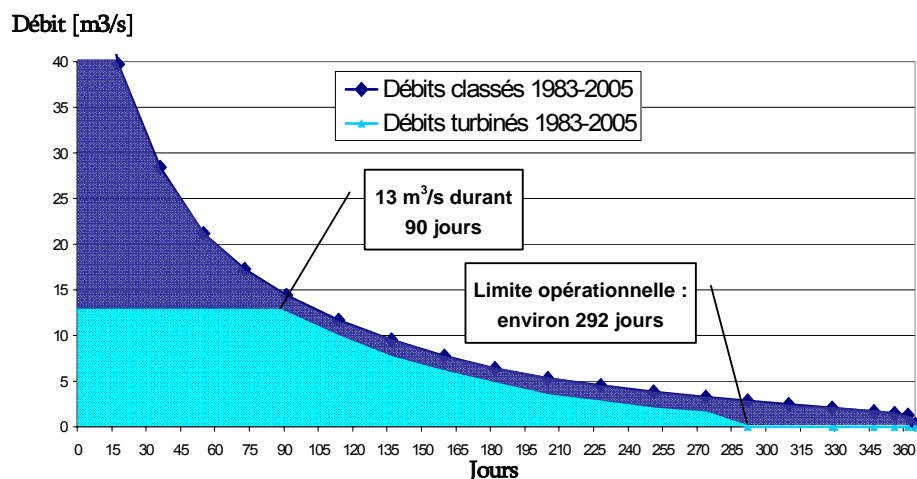


## Choix du débit d'installation

Le débit d'installation peut être choisi pour le fonctionnement à plein régime durant environ 90 jours par an en moyenne, ce qui présente bien souvent l'optimum pour une installation basse chute équipée d'une seule machine. Ce débit d'installation correspond à **13 m<sup>3</sup>/s** dans le cas présent.

Remarque : Basé sur les offres des fournisseurs de turbines et en considération des standards disponibles, il sera approprié de permettre au débit d'installation de varier quelque peu par rapport à la « règle des 90 jours » (conseillé + 5 % à - 10 %) et de choisir les équipements en conséquence.





*Courbe des débits classés et débits turbinés*

La limite opérationnelle pour le procédé de turbinage se situe à environ 10% du débit d'installation ( $\approx$  turbinage de min.  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Ce débit est en moyenne disponible durant plus de 292 jours par an.

## Dimensionnement de la conduite d'amenée

Le type de conduite est spécifié PRFV (polyester renforcé par fibres de verre) en raison des qualités suivantes :

- Prix compétitif
- Bon coefficient de rugosité interne (peu de pertes de charge)
- Poids léger
- Durabilité du matériau
- Facilité d'installation (manchonnage)
- Bonne disponibilité du produit

Pour ce projet « très basse chute » il est approprié de dimensionner la conduite de sorte à ne pas dépasser 5% pour les pertes de charge.

Compte tenu de la faible pression de service de la conduite prévue (env. 0.4 bar), il est en outre judicieux de surdimensionner quelque peu son diamètre à fin de minimiser les coups de bélier qui seront subis lors des régimes transitoires (perte de réseau, arrêt machine, etc...). Il est alors possible d'utiliser le produit prévu pour des canalisations à écoulement libre. Celui-ci est normalement garanti pour des pressions allant jusqu'à 1 bar et testé jusqu'à min. 1.5 bar, ce qui est suffisant dans le cas présent.

Nous décidons de limiter la vitesse d'écoulement dans la conduite à max. 3 m/s.

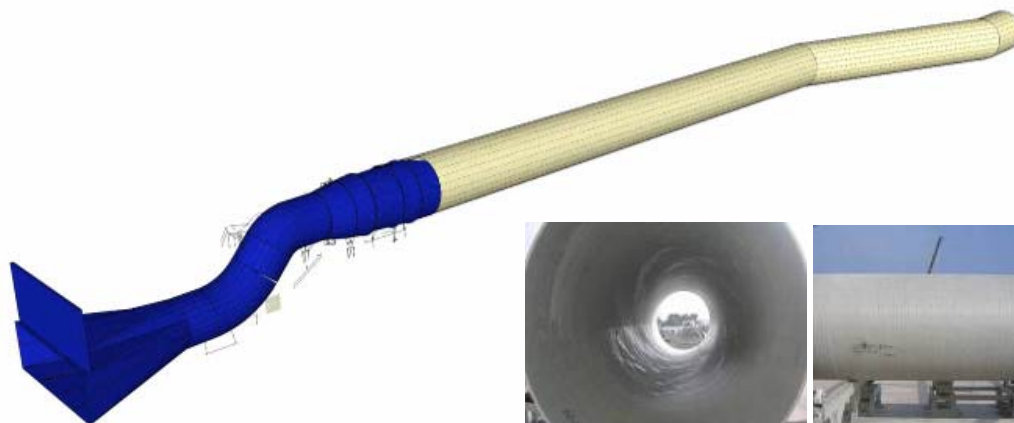
La rigidité du produit est à calculer et à spécifier par le fournisseur selon le plan de pose prévu. Il est actuellement attendu que la classe de rigidité requise se situera entre la qualité SN 5000 et SN 10'000 ( $5000 \text{ N/m}^2$  resp.  $10'000 \text{ N/m}^2$ ).

La rugosité interne de la conduite peut être estimée à  $< 1 \text{ mm}$  selon des mesures pratiques établies à partir de réalisations similaires.



La mise en œuvre d'une conduite de diamètre 2400 mm, PN1 (standard) conviendrait parfaitement. Les pertes de charge ne dépasseraient 13 cm, ce qui représente moins de 3,2 % sur l'ensemble et la vitesse d'écoulement s'élèverait à max. 2.8 m<sup>3</sup>/s, voir le paragraphe correspondant sur la fiche de calcul de l'[annexe 4](#).

La longueur de la conduite est de 43.2 m en total. Elle sera composée de tubes droits de max. 6 m de longueur et de coudes à un seul segment (env. 4 pièces au total). La conduite sera reliée à l'aide de manchons mécaniques (par exemple manchons *Straub*) qui seront nécessaires du côté de l'avaloir de la chambre de mise en charge, à mi-chemin de pose et avec la turbine.



Déploiement de la conduite d'amenée (section jaune)

Photographie du produit

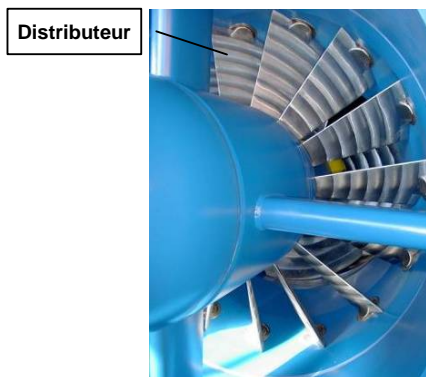
## Choix préliminaire d'une turbine

Selon les paramètres de chute et de débit caractéristiques au projet, il est proposé de recourir à une turbine de la famille des « Kaplan ».

Comme le fonctionnement de l'installation s'effectuera majoritairement à régime partiel, le double réglage de la turbine est recommandé (réglage de l'angle des pales de la turbine en corrélation électronique avec l'ouverture du distributeur pour atteindre un rendement optimal sur toute la plage des débits).

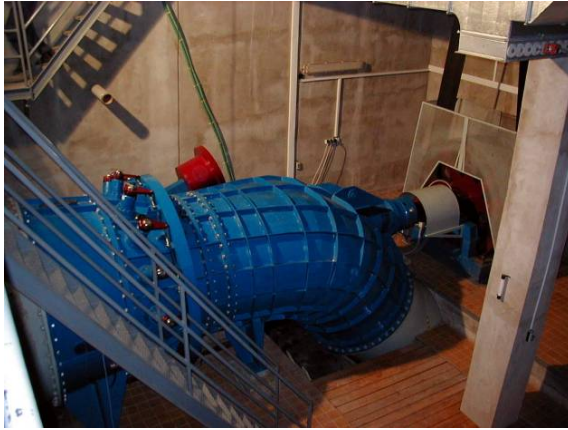
Compte tenu des turbines disponibles sur le marché pour ce genre d'application, nous évaluons préliminairement la production à partir de la turbine *Hydrohrom* HH SK1600 pour laquelle Turbinor dispose des informations techniques.

La turbine en question est implantée horizontalement en « S » avec un diamètre de roue de 1600 mm; elle fonctionne en double réglage.



Turbine Hydrohrom HH SK1600





Exemples d'implantation d'une turbine HH SK1600



Transmission par courroie plate

La vitesse de rotation lente de la turbine (235 t/min) nécessite la mise en place d'une courroie ou d'une boîte de vitesses (réducteur à engrenages) entre la turbine et la génératrice.

Evaluation sommaire des avantages et des inconvénients pour chaque système de transmission :

Critère d'évaluation	Courroie plate	Boîte de vitesses (réducteur à engrenages)
<p><u>Prix d'installation</u></p> <p>La mise en œuvre d'une courroie entraîne des coûts supplémentaires pour le génie civil (le bâtiment devient plus haut, construction nécessitant 1.5 étages). Le prix d'équipements est également moindre pour la boîte de vitesses ainsi que pour la génératrice qui peut être choisie pour une plus haute vitesse.</p>		++
<p><u>Fiabilité</u></p> <p>Les boîtes de vitesses sont réputées être sensibles aux problèmes d'engrenages. Il est donc important de sélectionner un fournisseur offrant un standard et des pièces de rechange avec un délais de livraison raisonnable.</p> <p>La courroie atteint ses limites pour une transmission d'environ &gt; 450 - 600 kW ce qui est encore suffisant pour le projet en question. La courroie offre une bonne fiabilité d'exploitation ; une courroie de rechange peut facilement être tenue disponible au lieu de production.</p>	+	
<p><u>Rendement</u></p> <p>Le rendement de la courroie est supérieur à celui de la boîte de vitesses (env. 99.3 % de rendement contre env. 98.0 %).</p> <p>Le rendement de la génératrice tournant à plus haute vitesse (ceci est le cas pour la construction avec boîte de vitesses) est généralement plus élevé.</p>	(+)	

Evaluant les solutions techniques et les diverses offres des fournisseurs, le choix se porte sur une transmission à l'aide d'une boîte de vitesses (réducteur à engrenages) de l'entreprise *Flender*. Cette dernière offre un programme de réducteurs à engrenages spécialement conçus pour l'application avec des turbines hydrauliques. Une

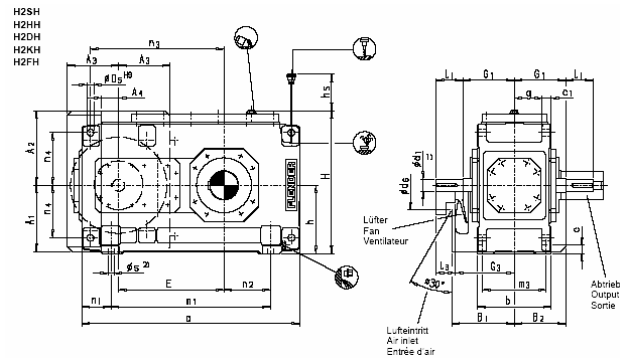


vaste gamme regroupe divers modèles selon les spécifications désirées. Les prix de ces produits sont compétitifs et les délais de livraison raisonnables pour les pièces de rechange classiques.

Pour le projet en question, il est proposé un réducteur à engrenages cylindriques en position de montage horizontal avec surdimensionnement de sécurité. Les caractéristiques principales sont les suivantes :

Type H2 09 SH

- $i_N = 6.3$  ( $n_1 = 1500 / n_2 = 238$  t/min)
- $TN = 33'700$  kNm



Plan d'encombrement du réducteur H2 SH

Le réducteur à engrenages sera monté de part et d'autre avec des accouplements flexibles.

La génératrice couplée au réducteur tournera avec 1500 t/min (4 pôles). Le choix se porte pour une génératrice triphasée synchrone, 400V, d'une puissance apparente d'environ 500 kVA. Cette dernière sera synchronisée avec le réseau par l'intermédiaire d'un disjoncteur.



Exemple d'une génératrice synchrone 4 pôles

**Maison de turbinage**

Les équipements de turbinage, les systèmes auxiliaires, le contrôle-commande et la distribution électrique prennent tous place dans un bâtiment compact. Celui-ci est aménagé selon l'encombrement envisagé et avec suffisamment de place pour faciliter la maintenance des installations.

Le bâtiment est prévu entièrement en béton armé, ceci pour assurer la masse et la rigidité nécessaire au poids des machines, aux vibrations et à la poussée du terrain et de la rivière. Il est conçu avec un toit plat végétalisé.

Une entrée de service donne sur l'étage de commande. Un escalier relie l'étage de commande avec la salle des machines.

Une coupole amovible est prévue sur le toit de la salle des machines. C'est par cette dernière que les équipements seront déchargés et provisoirement mis en place à l'aide d'une autogru. Ultérieurement, il n'est prévu



d'enlever la coupole amovible, mais cette éventualité reste cependant possible.

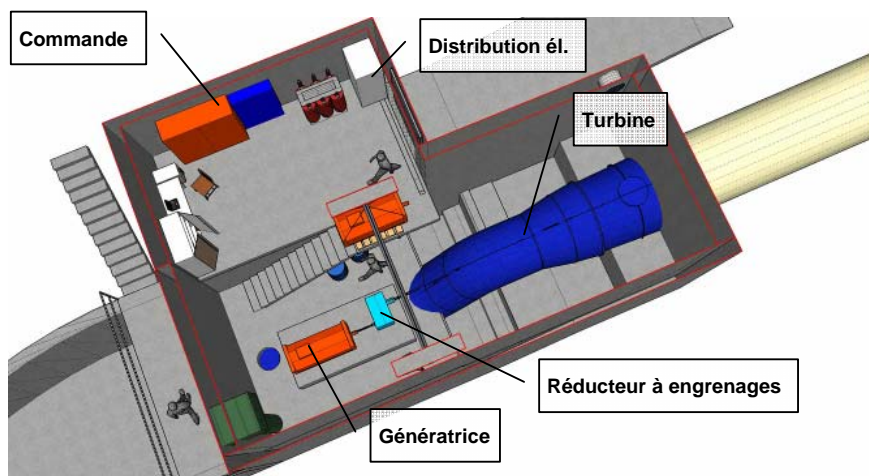
Un palan mobile (déplacement possible sur les axes X et Y sur des poutrelles coulissantes) de 12 t sera installé pour desservir la section des machines. Il permettra entre autres d'effectuer de petits déplacements des équipements lourds lors de l'alignement des machines et de hisser la génératrice ou le réducteur à engrenages jusque sur le socle de l'étage de commande pour ensuite pouvoir utiliser l'entrée de service (manoeuvres nécessaires si ces équipements devaient être réparés ou remis en état dans le futur).

Un système de ventilation du bâtiment sera installé pour évacuer la chaleur de la génératrice et des équipements électromécaniques. L'arrivée d'air qui est située côté rivière et bien en dessus des niveaux de crues est perçue par deux grilles avec pare-pluie de section  $2 \times 0.75 \text{ m}^2$ . Un ventilateur de puissance d'env. 0.45 kW est intégré dans l'ouverture du bâtiment donnant du côté de la rampe d'accès à l'entrée de service. L'évacuation de l'air s'effectue à travers une grille de protection pour les oiseaux. La commande de la ventilation est régie par un thermostat, le moteur est piloté par vitesse variable.

Depuis l'extérieur, un escalier mène sur la plateforme de la restitution. De là, il est possible de commander le batardeau d'isolation de l'aspirateur. Celui-ci est normalement levé, il sera abaissé seulement pour des travaux de maintenance nécessitant la mise à sec de la turbine. Le volume restant d'eau dans la turbine et dans la conduite (volume d'eau restant après avoir vidé la conduite tout d'abord par gravité) sera déversé par une vanne dans le bassin de fuite qui se situe sous la turbine, à l'intérieur du bâtiment. Une pompe submersible évacuera alors cette eau dans la rivière.

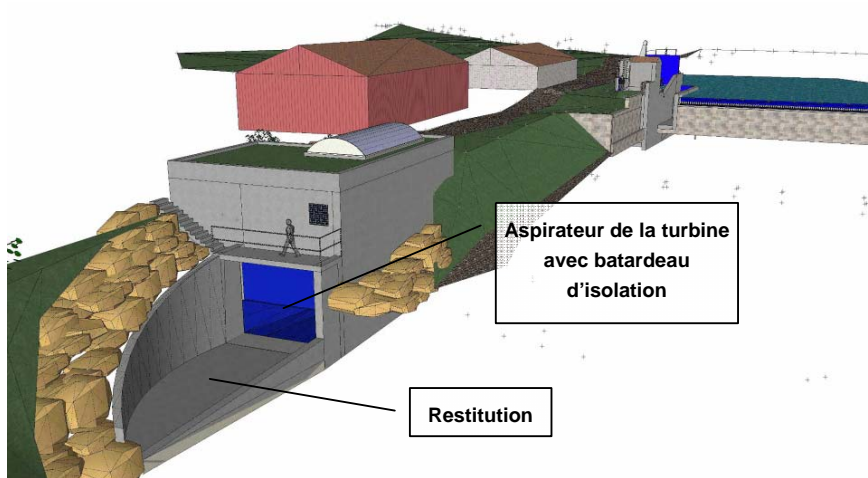


Maison de turbinage (vue en direction sud)



Maison de turbinage (coupe qui dévoile l'intérieur du bâtiment)





Maison de turbine (vue en direction nord-ouest, sans eau)

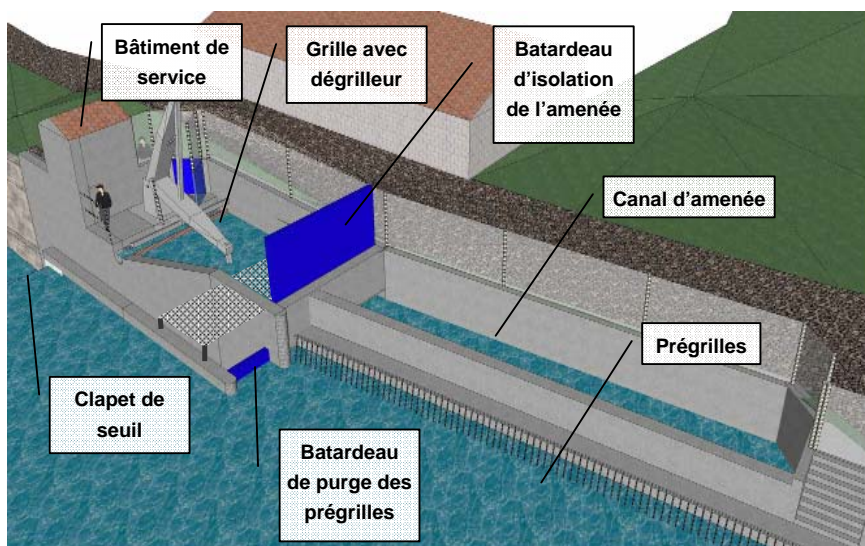
## Ouvrages et équipements à la prise d'eau

### CAPTAGE

La prise d'eau se situe en amont de la centrale de turbine (distance env. 45 m) sur le côté droit de la rivière, immédiatement en amont du seuil.

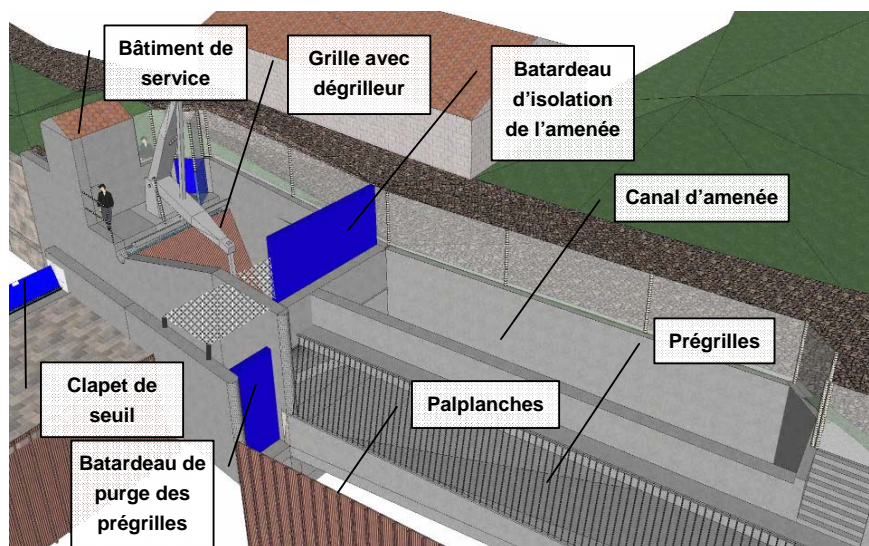
Le concept de la prise d'eau a été choisi en considération de la situation actuelle et sur la base de réalisations techniques similaires.

Trois accès individuels de maintenance mènent respectivement au dégrilleur, aux batardeaux et à la passerelle des prégrilles.



Prise d'eau en service



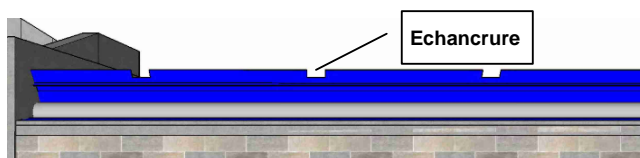


Prise d'eau (vue sans eau)

## Clapet de seuil

Lire le chapitre précédent « Dimensionnement hydraulique à la retenue, clapet de seuil ».

Particularité : le clapet de seuil est muni d'échancures sur sa crête déversante. C'est par ces dernières que s'écoulera une partie du débit résiduel (proposé 325 l/s). L'avantage par rapport à une crête déversante lisse est de pouvoir mieux régler le débit résiduel et d'assurer un déversement régulier sur la longueur du clapet de seuil.



Clapet de seuil

Explications :

Si le débit résiduel devait passer une crête déversante lisse, même une petite déviation du niveau d'eau entraînerait une grande variation du débit résiduel par le seuil, ce qui n'est pas acceptable. De plus, il est très difficile d'installer le clapet de seuil de manière parfaitement horizontale (risque d'un déversement non uniforme, voire même d'un déversement qui s'effectuerait que sur une longueur réduite du clapet).

Dimensionnement préliminaire :

Nombre d'échancures disposées à intervalles réguliers sur la longueur du clapet de seuil: 10

Largeur des échancures : 30 cm

Hauteur des échancures : 15 cm

Calibration du débit résiduel : à l'aide de plaques d'orifices appliquées aux échancures



### Batardeau d'isolation de l'amenée

La fonction de ce batardeau est d'isoler la prise d'eau avec la conduite d'amenée. Ainsi, la conduite et la turbine peuvent être mis à sec et des travaux de maintenance sont possibles à l'intérieur des voies d'eau.

Le levage et l'abaissement de cet équipement est réalisé à l'aide d'un moteur électrique avec une transmission par crémaillère.

### Batardeau de purge des prégrilles

Ce batardeau sert à purger le canal qui est créé entre les prégrilles et les palplanches qui seront coupées au terme des travaux de construction. Il est attendu que le canal se remplisse de graviers et qu'il faudra le purger régulièrement.

Le levage et l'abaissement de cet équipement est réalisé à l'aide d'un moteur électrique avec une transmission par crémaillère.

### Prégrilles

Les prégrilles protègent l'amenée d'eau des objets de taille qui dévalent la rivière (arbres, troncs d'arbres, ...). Elles se composent de tubes amovibles en acier que l'on insère tous les 45 cm environ, dans une plaque de fond et une plaque de base. Le nettoyage des prégrilles s'effectue manuellement.

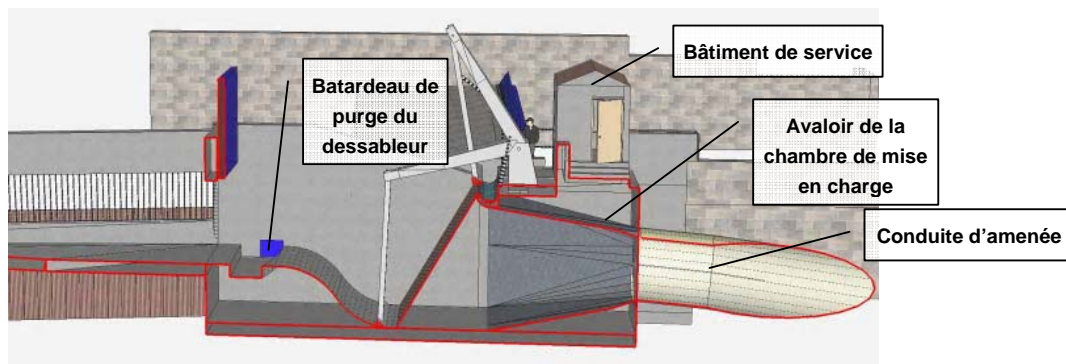
### Batardeau de purge du dessableur

Une rigole dans le radier sert à retenir les corps solides qui se déplacent au fond du canal d'amenée (sable, éventuellement graviers). Cette dernière est purgée manuellement en levant le batardeau de purge du dessableur, à intervalles réguliers et selon nécessité. La chasse s'effectue dans le canal de sortie du batardeau de purge des prégrilles. Cet équipement est levé à force d'homme (volant sur vis sans fin).

### Grille et dégrilleur

La fonction de la grille est de retenir les solides qui ont une dimension suffisante pour perturber le procédé de turbinage. Elle est fabriquée à partir de modules à barres verticales; l'ouverture nette entre les barres est choisie à 30 mm. Le dégrilleur à bras hydraulique nettoie la grille et dépose les solides dans la rigole d'évacuation qui est purgée à chaque cycle de nettoyage à l'aide d'une pompe submersible. Les déchets organiques seront retournés à la rivière; les débris inorganiques seront récoltés manuellement lors des visites de l'installation. Ces débris seront alors évacués selon la nature des matériaux.

Pour diminuer le bruit que génère cette installation, l'on place le block hydraulique (pompe) à l'intérieur du bâtiment de service de la prise d'eau que l'on raccorde avec les vérins à l'aide de tuyaux hydrauliques. L'huile utilisée sera du type biodégradable.



Coupe de l'amenée d'eau



## Chambre de mise en charge

Derrière le dégrilleur, l'eau sera progressivement mise sous pression dans l'avaloir de la chambre de mise en charge (cône de coffrage métallique) et entrera dans la conduite.

## Bâtiment de service de la prise d'eau

Un petit bâtiment de service logera tous les équipements hydrauliques et électriques en relation avec les installations de la prise d'eau. Il sera connecté électriquement avec la maison de turbinage (alimentation 400V et câbles de signalisation).

## ECHELLE À POISSONS

Une passe à poissons relie déjà le canal des Fabriques avec l'Areuse. La rivière alimente cependant ce canal avec trois vannes par lesquelles s'écoule un débit à haute vitesse (env. 3 m/s, chute à travers les vannes env. 50 cm) et présente un passage difficilement surmontable pour les espèces aquatiques.

Dans le cadre du projet, il est prévu de condamner une vanne et de construire une échelle à poissons similaire à celle qui est existante en aval. Ainsi le poisson pourra franchir le seuil par l'échelle du bas pour entrer dans le canal des Fabriques et en ressortir en amont par l'échelle du haut.

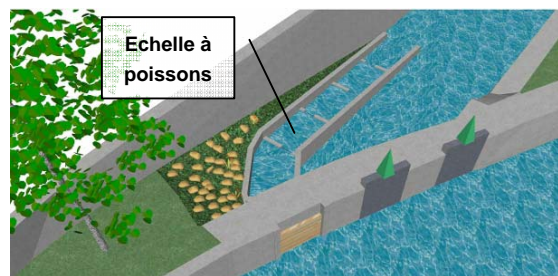
Une planche immergée sera installée à l'échelle du haut pour éviter aux corps solides charriés par la rivière de venir obstruer le passage.

La sécurité d'exploitation du canal ne sera affectée par cet ouvrage. Les deux vannes existantes sont suffisantes pour régler le débit désiré dans le canal.

Le dimensionnement exact de l'échelle à poisson sera effectué avec les résultats de la *Notice d'impact sur l'environnement* qui reste encore à établir et avec la coopération des autorités spécialisées.



Vannes du canal des Fabriques



Projet avec échelle à poissons

## Calcul de la production

Le calcul de la production est établi en considération des paramètres principaux qui influencent le régime opérationnel des installations :

- Débits disponibles au turbinage
- Chute brute en fonction des débits de la rivière et de la régulation du clapet de seuil
- Pertes de charge dans l'ouvrage de la prise d'eau (prégrilles, canal, grilles fines)
- Pertes de charge dans la conduite d'amenée
- Pertes de charge à la restitution



- Capacité de débit de la turbine en fonction de la chute nette (ex. turbine Hydrohrom HH SK 1600)
- Consommation propre des installations
- Rendement de la turbine, de la boîte à vitesse et de la génératrice
- Réduction du rendement de la turbine due à de l'eau chargée (feuilles, branches, plastiques, ...)
- Disponibilité des installations (admise à 99%)
- Facteur de sécurité (admis à 97%)

Résultats (voir les détails en [annexe 4](#)) :

Puissance max. aux bornes de la génératrice :	<b>391 kW</b>
Production moyenne annuelle (1983 – 2005) :	<b>1.41 GWh</b>
Production annuelle min. (2003) :	<b>0.91 GWh</b>
Production annuelle max. (1999) :	<b>1.86 GWh</b>

L'analyse de la production révèle que l'installation est très sensible aux débits annuels de l'Areuse qui eux sont également très variables. Les prévisions ne sont donc pas possibles pour le court terme (la production est double lors d'une année extrêmement pluvieuse comparée à une année extrêmement sèche). Il faut tenir compte de cette volatilité, en particulier lors de l'établissement de la planification financière du projet.

La production moyenne annuelle (1.41 GWh) équivaut à la consommation moyenne d'environ 259 ménages ou à la consommation de 614 habitants.

Rem: 5'444 kWh/ménage cons. année 2004 (selon statistiques OFEN)  
2'296 kWh/habitant cons. année 2004 (selon statistiques OFEN)

## CARACTÉRISTIQUES D'EXPLOITATION

Nombre de jours opérationnels de la turbine :	~ 292	jours/an
Déversement naturel du seuil (crues) :	~ 90	jours/an
Déversement naturel du seuil (étiage) :	~ 73	jours/an

La turbine fonctionne aussi longtemps que le débit d'eau est suffisant.

Elle sera mise en marche et en arrêt automatiquement selon la commande de la sonde de mesure du niveau d'eau, respectivement du débit de la rivière.

## Connexion au réseau électrique

La connexion au réseau électrique reste à étudier en détails.

Selon les premières investigations effectuées par les Services industriels de la ville de Boudry le raccordement s'effectuerait vraisemblablement directement au niveau basse tension (400V) jusqu'à un point de sectionnement qui se situerait non loin de l'aménagement prévu. Ceci éviterait la mise en place d'un transformateur réseau. Nous gardons néanmoins la place nécessaire en réserve dans la maison de turbinage pour recevoir un transformateur si cela s'avérait tout de même nécessaire par la suite.



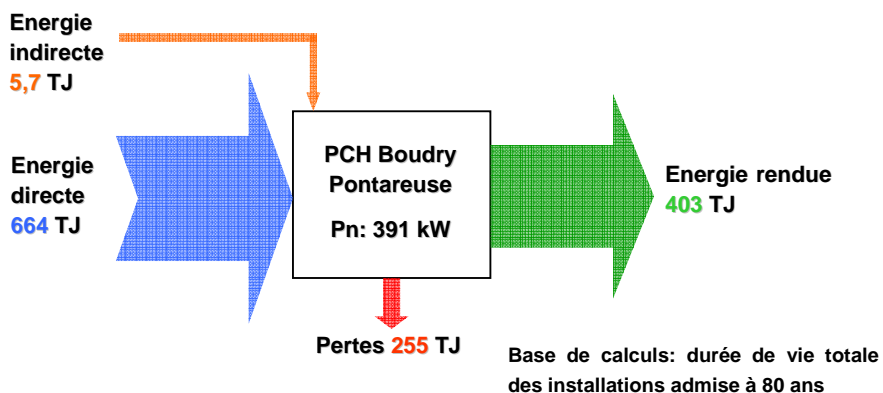
## Protection de la nature, du paysage et des intérêts publics

### RAISON ET UTILITÉ

Le prélèvement sert exclusivement à la production d'énergie électrique.

Son utilité écologique peut être estimée selon la publication Diane10 « Bilans énergétiques de PCH ». Note: Ce bilan énergétique repose uniquement sur les travaux prévus dans le cadre de la remise en service et de l'exploitation de la petite centrale hydroélectrique. Il ne tient donc pas compte de l'énergie qui serait nécessaire pour la remise en état des lieux au terme de sa durée de vie. Voir les détails de calcul en [annexe 5](#).

Bilan énergétique :



#### Légende :

- Energie indirecte:** énergie nécessaire à la réalisation du projet
- Energie directe:** énergie hydraulique brute du captage
- Pertes:** pertes d'exploitation (principalement en chaleur)
- Energie rendue:** énergie injectée dans le réseau électrique

Energie de sortie / Energie indirecte :	71
Energie de sortie / Energie indirecte électrique* :	116
Amortissement écologique :	1,1 années
Amortissement écologique électrique* :	0,7 année

\* Facteur de conversion thermique à électrique admis à 2.67 pour la plus-value de l'énergie électrique en comparaison avec l'énergie brute

> Selon cette estimation préliminaire, le bilan écologique est positif et favorable à un développement durable.



L'analyse des *réductions d'émissions de gaz à effet de serre* est calculée selon le modèle GES (Gaz à Effets de Serre) RETScreen®, voir formulation en [annexe 6](#). Cette analyse permet d'estimer la réduction des émissions de gaz à effet de serre en comparant l'équivalent de l'énergie produite par la petite centrale hydroélectrique à un *réseau électrique de référence*, resp. à une production générée à partir d'autres ressources.

Le réseau électrique de référence avec lequel le comparatif est effectué dans le cas présent a été choisi en considérant une production électrique issue de centrales à cycle combiné (turbines à gaz - chaudières - turbines à vapeur). Ainsi, il est directement possible d'estimer les réductions d'émissions de gaz à effet de serre en comparaison avec des réalisations existantes et des projets qui sont actuellement à l'étude en Suisse :

Réduction annuelle nette d'émission GES :	<b>1'382</b> t CO <sub>2</sub> (tonnes de gaz carbonique)
Réduction nette d'émission GES * :	<b>110'560</b> t CO <sub>2</sub> (tonnes de gaz carbonique)
* Base de calculs : durée de vie totale des installations admise à 80 ans	

## RÉPERCUSSIONS PROBABLES DU PRÉLÈVEMENT

La répercussion probable du prélèvement sera analysée en détail par un bureau spécialisé en biologie. Celui-ci établira une *Notice d'impact sur l'environnement*.

Ci-dessous, néanmoins quelques considérations préliminaires quant aux répercussions probables :

- Le prélèvement réduit le débit et la hauteur d'eau tout au long du tronçon résiduel

Effets néfastes possibles	Mesures entreprises pour limiter les effets néfastes
Réduction de l'effectif des poissons et des invertébrés	Le tronçon à débit résiduel est court (env. 50 m). Si nécessaire, des enrochements seront mis en place pour favoriser un lit mineur à partir du petit seuil du bassin amortisseur jusqu'à la zone de restitution de la turbine (env. 20 m de distance). La hauteur d'eau dans le bassin amortisseur est suffisante.

- Le prélèvement influence la remontée du cours d'eau pour les poissons. Ceux-ci ne trouvent pas l'entrée de l'échelle à poissons mais essaient de remonter par la restitution de la turbine

Effets néfastes possibles	Mesures entreprises pour limiter les effets néfastes
Réduction de l'effectif des poissons (en particulier des truites de lac)	Remarque : Cette éventualité sera étudiée en détail dans la <i>Notice d'impact sur l'environnement</i>

- L'exploitation d'une turbine hydraulique peut nuire aux poissons qui entreraient dans la turbine

Effets néfastes possibles	Mesures entreprises pour limiter les effets néfastes								
Poissons entrant dans la turbine (fatalités et blessures)	Il est choisi une turbine de la famille du type Kaplan qui présente les caractéristiques les plus clémentes quant au risque de mortalité des poissons. <table border="1" data-bbox="787 1606 1372 1795"> <thead> <tr> <th>Turbines</th> <th>Risque de mortalité des poissons</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pelton</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Francis</td> <td>37%</td> </tr> <tr> <td>Kaplan</td> <td>9%</td> </tr> </tbody> </table>	Turbines	Risque de mortalité des poissons	Pelton	100%	Francis	37%	Kaplan	9%
Turbines	Risque de mortalité des poissons								
Pelton	100%								
Francis	37%								
Kaplan	9%								
Rem : Données moyennes selon TRADE & LARINIER, 1990									



- Le prélèvement va favoriser le dépôt de sédiments à la retenue

Effets néfastes possibles	Mesures entreprises pour limiter les effets néfastes
Modification de l'habitat pour les invertébrés et les espèces aquatiques	Voir le chapitre suivant RINÇAGE DE LA RETENUE
Modification de la caractéristique d'écoulement du cours d'eau (conséquences à long terme: rehaussement du niveau d'eau)	

- Le prélèvement n'a pas de répercussions en ce qui concerne l'usage d'eau de tiers (il en est tenu compte avec le maintien du débit minimum par le canal des Fabriques).
- Le prélèvement en fonction des débits n'a pas d'influence négative sur l'intérêt public en termes de coûts et d'approvisionnement en électricité. Il est en ligne avec les programmes fédéraux d'encouragement de développement des énergies renouvelables. Le surcoût engendré à l'exploitant du réseau de transport (SI de Boudry) en relation avec les prix du marché de l'électricité est compensé par l'organisme indépendant ETRANS SA resp. swissgrid SA (*Lire le guide du financement des surcoûts : Instruments d'exécution des dispositions relatives au financement des surcoûts (FS) Art 7., Al 7, LEne et art. 5a à 5c OÈne*).
- Le prélèvement va permettre de rétablir la connectivité outre-seuil pour les espèces aquatiques. Actuellement les dispositions mises en place ne sont pas suffisantes (passage des vannes défavorable au canal des Fabriques).

## RINÇAGE DE LA RETENUE

Pour parer à la problématique des sédiments qui se déposeront en amont de la retenue et pour ne pas interrompre la migration des solides, un programme de rinçage sera à établir.

Le rinçage s'effectuera en périodes de crues pour éviter de troubler l'Areuse de manière trop importante. Dans le cadre de cet exercice, l'on abaissera totalement le clapet de seuil et l'on lèvera le batardeau de purge des prégrilles. La durée de rinçage sera à établir selon la sédimentation constatée. Typiquement, le rinçage s'effectuera durant env. 3 heures tous les 2 - 3 mois.

Le rinçage de la retenue sera annoncé et effectué avec la coordination des autorités compétentes.

## TRAITEMENT DES DÉTRITUS FLOTTANTS

La rivière transporte des solides qui, partiellement, s'accumuleront devant les prégrilles, dans la rigole du dégrilleur ou dans la zone du déversement.

Ces matériaux seront collectés lors des visites périodiques (1x par semaine pour les périodes calmes, 1x par jour lors des crues) et triés sur place comme suit :

- les plastiques seront évacués pour être incinérés
- les algues, feuilles mortes et les petites branches seront remises dans la rivière
- les branches (à partir de dia. 3 cm environ), les troncs et les rondins seront empilés près du bâtiment de service de la prise d'eau et évacués au moins une fois par an. Ce bois sera brûlé dans des installations de chauffage du bâtiment
- les objets de taille (planches et bois traités, échelles, tables, cadre de fenêtre, vélos, ..., et autres objets pouvant dévaler la rivière...) seront retirés de l'eau et évacués au ramassage des cassons ou livrés directement à une décharge appropriée

## Dispositions préliminaires pour la réalisation des travaux

Tous les travaux qui se dérouleront sur les abords et dans la rivière feront l'objet d'une attention particulière pour ne pas souiller l'eau. Les travaux s'effectueront en accord avec les directives pour la protection des eaux et la



gestion des déchets sur les chantiers.

Le mode d'exécution, les étapes et les phases de réalisation seront discutés avant les travaux avec le garde-pêche cantonal.

Le projet de construction de la centrale hydroélectrique comprend 4 objets bien distincts:

1. Ouvrages à la prise d'eau et au seuil
2. Echelle à poissons
3. Conduite d'amenée
4. Centrale de turbinage

## EXÉCUTION DES TRAVAUX

Les scénarios décrits ci-dessous sont préliminaires et sujets aux variantes d'entreprises.

Les travaux à la centrale de turbinage s'effectueront en parallèle avec les travaux au seuil et à la prise d'eau (travaux conduits avec deux équipes bien distinctes). La conduite d'amenée sera posée de préférence par l'équipe responsable à la prise d'eau ou par une équipe supplémentaire.

La mise en place du chantier prévoira l'installation de deux grues fixes pour acheminer les matériaux. Le chantier nécessitera l'installation provisoire d'une alimentation électrique pour les différents chantiers. Des places de stockage des matériaux seront nécessaires sur les parcelles no. 4137 et 5605 (à convenir d'entente avec les propriétaires fonciers).

### Ouvrages à la prise d'eau et au seuil

La réalisation de la prise d'eau et du seuil se déroulera principalement en 2 étapes:

1<sup>ère</sup> étape: construction des ouvrages à la prise d'eau

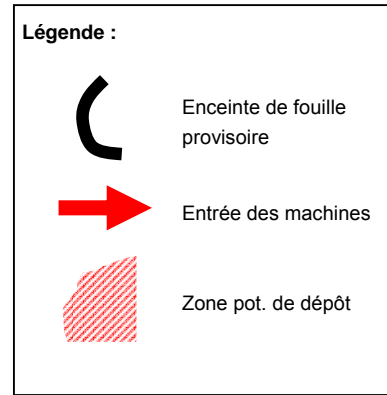
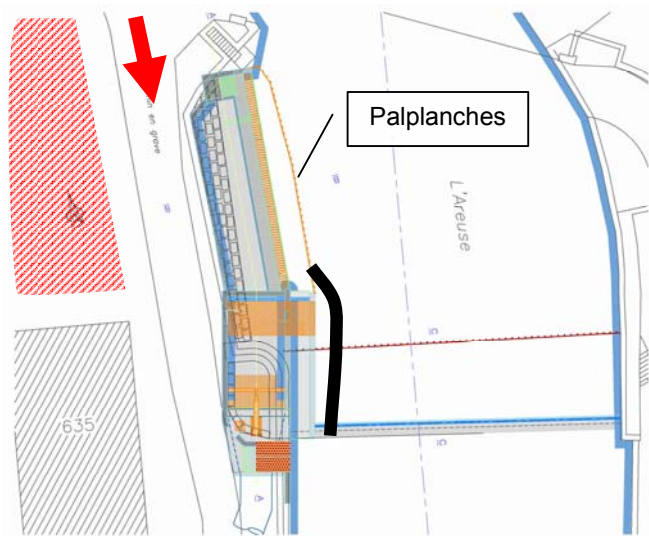
Des palplanches seront enfoncées précisément pour protéger la zone prévue des ouvrages de la prise d'eau. Une enceinte de fouille provisoire sera établie pour protéger également la zone au seuil qui recevra le batardeau de purge des prégrilles et du canal de fuite qui sera édifié dans le seuil. Durant cette phase des travaux, l'eau de l'Areuse s'écoulera normalement par le seuil existant. Les zones protégées seront pompées en permanence pour abaisser le niveau d'eau au-dessous des radiers à construire.

Tous les ouvrages qui se situent derrière les protections de fouille seront alors construits et les équipements électromécaniques montés et testés.

Au terme des travaux de la 1<sup>ère</sup> étape, les palplanches seront coupées au niveau 453.37 msm. Elles formeront alors une barrière de service contre les graviers du lit de la rivière et délimiteront le canal de purge des prégrilles. L'enceinte de fouille provisoire sera démontée et l'on ouvrira le batardeau de purge des prégrilles.

Remarque : La phase critique est la mise en place du batardeau de purge des prégrilles et de son canal de fuite, car la protection mise en place ne peut pas résister aux crues. Il y a donc lieu d'effectuer ces travaux rapidement et durant une période d'étiage de la rivière.



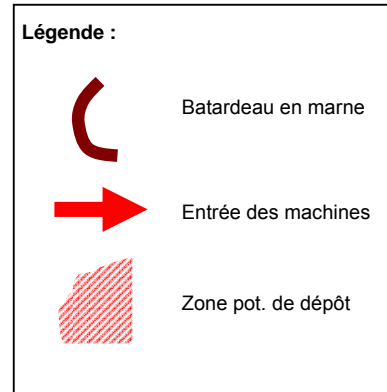
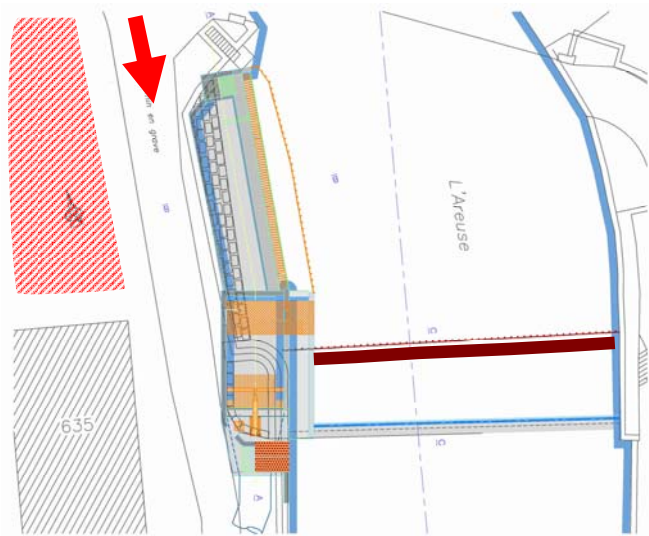


Construction de la prise d'eau

2<sup>ème</sup> étape: construction du seuil

Un batardeau provisoire en marne sera édifié sur toute la longueur du seuil. L'Areuse s'écoulera alors uniquement par le batardeau de purge des préfilles. La capacité de ce passage est calculée à 18 m<sup>3</sup>/s. Durant cette phase des travaux, le clapet de seuil sera mis en place et l'on effectuera les bétonnages requis.

Remarque : Cette étape de construction est critique en soit. Elle est à effectuer rapidement durant une période d'étiage de la rivière.



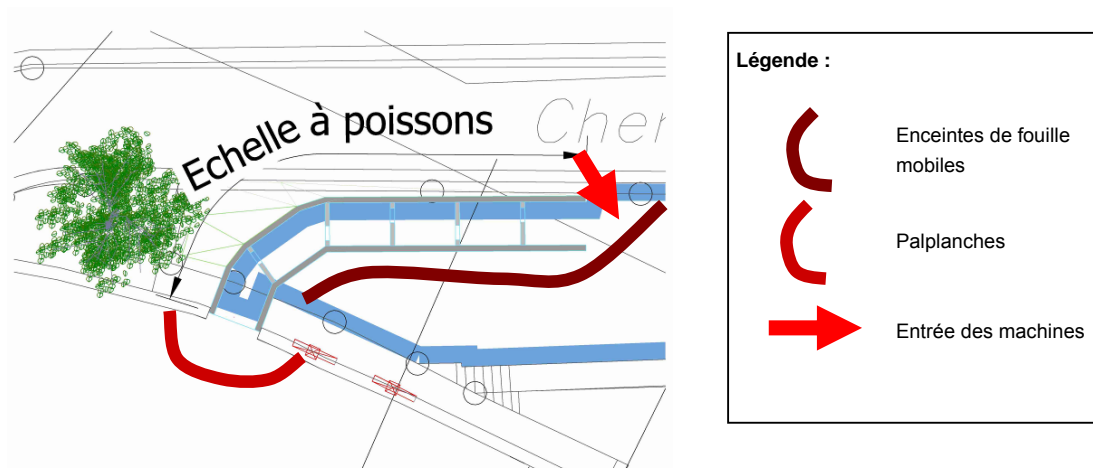
Construction du seuil



## Echelle à poissons

La vanne à démolir sera protégée par une ceinture de palplanches du côté de la rivière. L'eau alimentant le canal passera par les deux vannes de service restantes et une protection de fouille sera mise en place à l'aide d'enceintes mobiles du côté du canal. Un pompage sera effectué dans la zone protégée; l'échelle pourra ainsi être construite au sec. L'on fera descendre une petite machine depuis la rue des Clées pour effectuer les travaux de terrassement dans le canal.

Cette étape de construction n'est pas critique. L'on veillera cependant à effectuer les travaux durant une période plutôt calme de la rivière.



Construction de l'échelle à poissons

## Conduite d'amenée

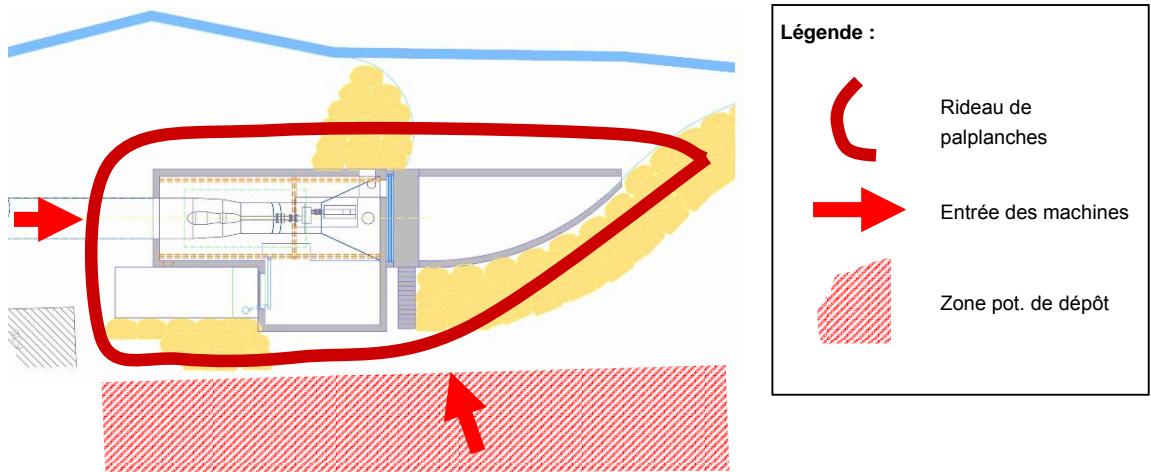
Les travaux prévus pour la conduite d'amenée seront réalisés sous la protection d'enceintes de fouille tout au long du parcours de pose. La pose de la conduite s'effectuera de part et d'autre de ses extrémités (côté prise d'eau et côté turbine) les tubes se rejoindront à mi-chemin où la conduite sera interconnectée à l'aide d'un manchon mécanique. Les changements de directions (coudes) seront enrobés de béton pour prêter une bonne assise aux forces centrifuges.

## Maison de turbinage

Un rideau de palplanches sera mis en place tout autour de la fouille. Pour assurer la stabilité de cette protection, un étayage des palplanches devra être mis en place. Dans cette zone, l'Areuse est suffisamment large pour permettre un léger rétrécissement de son lit sans que cela n'ait de conséquences directes lors du passage des crues.

Les palplanches resteront en place jusqu'à la fin des travaux de construction de la maison de turbinage, soit pendant une durée d'environ 6 mois.





Construction de la maison de turbinage

## CALENDRIER PRÉVISIONNEL DE RÉALISATION

Une planification détaillée sera effectuée avec l'avancement des démarches administratives (concession, permis de construire, ...). Les requérants souhaitent réaliser le projet sans délais.

## Rentabilité économique

La rentabilité économique du projet est calculée à l'aide du modèle RETScreen®, voir le sommaire financier en [annexe 8](#).

Un plan d'investissement a été établi séparément avant d'être introduit dans ce modèle analytique, voir [annexe 7](#).

Note: le taux d'intérêt sur la dette a été admis en considérant un taux d'emprunt de 4 %

### Constatations :

En admettant une durée d'emprunt de max. 30 ans et des fonds propres à raison de 20 %, le coût de revient de l'énergie est de CHF 0.15 / kWh, ce qui correspond au tarif en vigueur qui est en accord avec les recommandations fédérales actuelles.

Le projet se situe donc au seuil de la rentabilité économique.

L'année de flux monétaire nulle sera atteinte après 25.9 ans, resp. 4 ans avant le remboursement total de la dette. Sur la durée de vie du projet (admise à min. 40 ans) il sera néanmoins possible d'atteindre un taux de revient après impôts (TRI) de 4.8 %.

L'analyse de sensibilité et de risque démontre que c'est le prix de l'énergie (*Coût évité en énergie*) qui a le plus d'impact sur le résultat financier, voir [annexe 9](#).

### Conclusions :

Bien que le projet n'est actuellement pas profitable du point de vue financier, il reste cependant intéressant à plus long terme. Avec la venue prochaine de la LApEI (Loi sur l'approvisionnement en électricité) qui prévoit une rétribution à prix coûtant pour l'exploitation des énergies renouvelables, il est cependant fort probable que ce seront les nouveaux projets hydroélectriques à basse chute et de petite puissance qui bénéficieront de la meilleure majoration des tarifs. Plus de clarté quant à ce sujet est attendue pour la fin de l'année 2007.



## Recommandations finales

Le projet ainsi défini, offre une solution performante pour la mise en valeur de ce site hydraulique. Il permettrait de générer une quantité non négligeable d'énergie à partir d'une ressource renouvelable. La faible rentabilité économique des installations requière cependant une attention particulière en ce qui concerne l'attribution et la tenue stricte du budget de projet (situation actuelle avec le tarif de reprise actuel pour l'énergie injectée dans le réseau électrique).

Du point de vue de la technique, le projet utilise des composants classiques. Seul le clapet de seuil se base sur un nouveau concept économique (clapet de seuil avec tuyau-gomme réglé avec la pneumatique) dont il existe cependant déjà plusieurs références en service. La commande du clapet de seuil est particulière et peut être considérée comme une première en son genre (ajustement dynamique des hauteurs d'eau à la retenue en fonction des débits de la rivière).

Dans son courrier du 11 mai (reçu le 22 mai 2007), les services cantonaux se prononcent sur la mise en circulation d'une version abrégée de l'avant-projet, voir [annexe 10](#). Comme il en ressortait déjà de la séance d'information du 22 février 2007, ce sont en particulier les sujets du domaine de la faune et de l'environnement qui restent à étudier plus précisément (surtout l'échelle à poissons). Il n'a pas pu être tenu compte de ces préavis dans le cadre du présent rapport. Ceux-ci dictent cependant la marche à suivre pour la suite de l'étude qui pourra aboutir à un dossier conforme aux procédures en vigueur pour la demande des permis et de la concession du droit hydroélectrique.

Concrètement, Il est recommandé de suivre les étapes dans l'ordre qui suit :

- Prise de contact avec le Service cantonal de la faune. Négociations des exigences imposées pour la migration des poissons. Elaboration de solutions satisfaisantes pour la réalisation et le financement de la passe à poissons.
- Elaboration d'une *Notice d'impact sur l'environnement* selon les directives romandes sur le contenu des rapports d'impact (cf. [www.greie.ch/fr/publications.htm](http://www.greie.ch/fr/publications.htm)). Ce travail est à réaliser par un bureau spécialisé qui traitera tous les domaines d'environnement jugés significatifs, y compris la problématique de l'échelle à poissons.
- Réévaluation de la faisabilité technique et économique du projet. Décision quant à la réalisation ou à l'abandon du projet.

### ELÉMENTS DE L'UTILISATION DE L'EAU :

#	Maximal
<b>Niveau des eaux déterminant à la prise d'eau</b>	
- Niveau correspondant pour un débit moyen de l'Areuse :	454.72 msm
- Niveau max. de réglage à la retenue :	454.97 msm
<b>Niveau des eaux déterminant au point de restitution</b>	
- Niveau correspondant pour un débit moyen de l'Areuse :	450.30 msm
- Hauteur de chute brute moyenne utilisable	4.42 m
- Volume d'eau utilisable	13 m <sup>3</sup> /s
- Puissance hydraulique moyenne brute	225 kW

Saint-Imier, 30.05.2007

Turbitor SA, Michel Hausmann



## Annexe

- 1 : Hydrologie de l'Areuse
  - 2 : Fichiers des simulations hydrauliques
  - 3 : Sommaire des simulations hydrauliques
  - 4 : Calcul de la production
  - 5 : Estimation du bilan énergétique
  - 6 : Analyse des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES)
  - 7 : Plan d'investissement
  - 8 : Sommaire financier
  - 9 : Analyse de sensibilité et de risque
  - 10 : Préavis des services cantonaux
- 
- 20 : Plans

<u>Descriptif #1</u>	<u>Descriptif#2</u>	<u>No. de plan</u>
<i>Situation générale 1 :500</i>	-	<i>325-02-01</i>
<i>Situation générale 1 :500</i>	<i>Simulation d'eau</i>	<i>325-02-02</i>
<i>Profils en travers km 0,00 à -186,18</i>	<i>Simulation d'eau</i>	<i>325-02-03</i>
<i>Profils en travers km -221,22 à -365,26</i>	<i>Simulation d'eau</i>	<i>325-02-04</i>
<i>Profils en travers km -385,22 à -471,33</i>	<i>Simulation d'eau</i>	<i>325-02-05</i>
<i>Profil en long</i>	<i>Simulation d'eau</i>	<i>325-02-06</i>
<i>Situation 1 :200</i>	-	<i>325-02-07</i>
<i>Profil en long 1 :100</i>	<i>Profil des installations</i>	<i>325-02-08</i>
<i>Situation et coupes</i>	<i>Prise d'eau</i>	<i>325-02-09</i>
<i>Profil type 1 :20</i>	<i>Conduite d'amenée</i>	<i>325-02-10</i>
<i>Situation, façades &amp; coupes 1 :100</i>	<i>Maison de turbinage</i>	<i>325-02-11</i>

