



PROJET DE CONCESSION

PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE DE ROCHES

Rapport final 2006

Auteur

Michel Hausmann, Turbinor SA
Rue des Prés 5, CP 55, 2605 Sonceboz-Sombeval
mhausmann@turbinor.com
www.turbinor.com

Maîtres d'ouvrage

Eric Affolter
Le Tacon 39^e, 2742 Perrefite
Michel Hausmann
Rue du Soleil 40, 2610 Saint-Imier



Date: 23.12.2006

Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Adresse postale: CH-3003 Berne

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

www.bfe.admin.ch

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

Numéro de projet: 101736

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



Table des matières

Avant-propos	4
Résumé	4
Zusammenfassung	5
Abstract	5
Requérants	6
Situation foncière	6
Hydrologie	6
Validation des mesures disponibles du débit	6
Débit résiduel	8
Etude des variantes	9
Dimensionnement hydraulique à la retenue, clapets de seuil	11
Crue centennale	12
Chute brute	13
Choix du débit d'installation	14
Choix préliminaire d'une turbine	16
Calcul de la production	17
Caractéristiques d'exploitation	18
Ouvrages et équipements à la prise d'eau	18
Captage	18
Ascenseur à poissons	19
Descente à poissons	20
Remise en état de la conduite d'amenée	20
1. Partie amont	21
2. Partie intermédiaire	21
3. Partie aval	21
Connexion au réseau électrique	24
Protection de la nature, du paysage et des intérêts publics	24
Raison et utilité	24
Répercussion probable du prélèvement	25
Rinçage de la retenue	26
Traitement des détritiques flottants	26
Dispositions préliminaires pour la réalisation des travaux	27
Exécution des travaux	27
Seuil et ouvrages de la prise d'eau	27
Conduite d'amenée	29
Centrale de turbinage	29
Calendrier prévisionnel de réalisation	30



Rentabilité économique.....	30
Recommandations finales, demande de concession.....	31
Eléments de l'utilisation de l'eau pour la demande de concession :.....	31
Annexe	32

Avant-propos

Le présent « projet de concession » reprend les travaux effectués sur la base de l'avant-projet qui a été élaboré pour la petite centrale hydroélectrique de Roches en date du 15.08.2005.

Le but du projet de concession est

- a) d'apporter les compléments et les corrections nécessaires à la planification en fonction des préavis et des directives reçus par les autorités et les parties concernées par le projet
- b) d'approfondir les sujets techniques à partir du concept de base pour dimensionner tous les ouvrages et établir les caractéristiques de l'installation
- c) de livrer un rapport technique et rapport au sens de l'art. 33, 4e al. LEaux pour satisfaire aux exigences imposées dans le cadre de la demande d'une concession.

Résumé

Le projet de petite centrale hydroélectrique, dénommé « PCH Roches » se situe sur la commune de Roches dans le Jura bernois. Il prévoit de remettre en valeur le potentiel hydraulique de la Birse sur un tronçon qui, jadis déjà, était exploité par une petite installation dont les archives de concession remontent au moins à 1953. Cette centrale d'antan a subi diverses modifications techniques au cours de sa durée de vie, dont certaines relativement récentes qui n'ont pas influencé positivement son régime de production.

Suite au transfert de la concession en 1987, des revendications d'entretien des rives et de rétablissement de la migration des poissons ont conduit à un conflit qui a engendré la révocation du droit d'eau en 2001, date à partir de laquelle l'installation a été mise hors service.

Le nouveau projet se base essentiellement sur l'utilisation de la conduite d'amenée existante. Cette dernière devra être assainie pour garantir une utilisation plus sûre et performante dans le cadre d'une remise en service. La retenue d'eau est également réétudiée pour permettre un rehaussement tout en assurant une sécurité d'exploitation en ce qui concerne le passage des crues (clapets de seuil). La centrale de turbinage sera entièrement neuve; elle se situera à la restitution actuelle après turbine, le bâtiment de turbinage existant deviendra caduc et la conduite d'amenée sera pontée avec la conduite de restitution originale pour n'en former qu'une.

Limitée par le diamètre de la conduite d'amenée existante, la nouvelle installation générera quelque **50kW** de puissance et **362'000kWh/an**, ce qui représente une augmentation d'environ 200% par rapport à la production qui fut atteinte avec l'aménagement existant. La chute brute est de **5.38m**, la chute nette de **4.12m** et le débit d'installation est prévu pour au moins **1.6m³/s**. La bonification moyenne selon le tarif appliqué par le distributeur régional est actuellement d'environ **17ct/kWh** pour la nouvelle installation.

La réalisation de ce projet permettra de reconstruire une petite centrale hydroélectrique dans les règles de l'art et empêchera le démantèlement total du site pour ainsi conserver la tradition de la production d'énergie électrique à partir d'une ressource renouvelable disponible sur le territoire de la commune de Roches.



Zusammenfassung

Das Kleinwasserkraftwerksprojekt « PCH Roches » ist auf der Gemeinde Roches im Berner Jura vorgesehen. Ziel ist es, das vorhandene Potential an Wasserkraft der Birs auszunutzen, an der selben Stelle wo früher schon ein Kleinwasserkraftwerk (KWK) in Betrieb war. Das ehemalige Wasserrecht wurde 1953 erteilt. Vielleicht gab es jedoch auch schon früher Bewilligungen, um diese Wasserkraft zu nutzen. Dieses KWK hat in all den Jahren mehrere Änderungen erfahren, die nicht alle positiv waren.

Mit der Übertragung der Konzession im Jahre 1987, wurden Auflagen erteilt, was den Unterhalt der Böschungen, wie auch die freie Fischwanderung betrifft. Diese Angelegenheiten haben u. a. zu einem Konflikt geführt, der mit der Aufhebung des Wasserrechts im Jahre 2001 endete. Seit dem ist die Anlage ausser Betrieb.

Das Neue Projekt sieht vor, die bestehende Druckleitung weiterhin zu benutzen. Diese muss jedoch saniert werden, um eine bessere Leistung zu garantieren. Die Schwelle bei der Wasserfassung wird abgeändert, so dass ein höheres Stauziel erreicht werden kann und mehr Sicherheit bei Hochwasser besteht (Wehrklappe). Am Ende der bestehenden Rohrleitung, die zuvor ins Unterwasser führte, wird das Turbinenhaus neu erbaut. Somit wird das alte Turbinenhaus nicht mehr gebraucht, und das obere und untere Druckrohr zusammengelegt.

Beschränkt durch den bescheidenen Durchmesser der bestehenden Leitung, wird die Neuanlage **50kW** Leistung erzeugen und rund **362'000kWh/Jahr**. Dies entspricht einer Energiesteigerung von ca. 200% verglichen mit der Produktion des ehemaligen KWK.

Das Gefälle beträgt brutto **5.38m** und netto **4.12m** bei einem Turbinendurchfluss von mindestens **1.6m³/s**. Die aktuelle Vergütung für die Stromabgabe an den regionalen Netzbetreiber sollte für die geplante Neuanlage im Schnitt ca. **17 Rappen/kWh** betragen.

Die Wiedererstellung dieser Anlage wird es erlauben, ein zeitgemässes Kleinwasserkraftwerk zu errichten, und somit auch verhindern, dass das Bestehende abgerissen wird, und dass weiterhin auch in Roches erneuerbare Energie erzeugt werden kann.

Abstract

The small hydropower plant (shpp) project « PCH Roches » is planned to be built in Roches, a small village located in the Jura region of the canton of Bern. The goal of this undertaking is to reactivate a site with hydro potential of the river Birs on a section that was already well exploited by some ancient shpp (since 1953 or probably even earlier). Several modifications were performed on this plant over the years; not all contributed positively on its production figures.

Following a transfer of the water rights in 1987, claims became loud against the owner to perform maintenance on the river banks and to modify the weir such that a free passage for the fishes will be granted. Those issues contributed to inflate a conflict which ended in the repeal of the water rights and a total plant shut down in 2001.

The new project plans to reuse the existing penstock and to carry out some refurbishing activities to grant security and better performance. The weir and the intake structure are also redesigned such that the water storage can be somewhat raised for normal operation; a weir gate will however allow to better discharge the river in flood situations. A new turbine house will be erected at the current location where the tailwater penstock rejoins the river. Hence, the existing old turbine house will be obsolete and the upper and lower penstock sections are to be linked with each other.

Limited by the existing penstock size, the new plant is expected to produce some **50kW** power and **362'000kWh/year**. This represents an increase in energy generation of around 200% compared with the ancient shpp. Gross head is **5.38m**, net head **4.12m** with a turbine flow of at least **1.6m³/s**. The expected energy sales price applicable to this project reaches ap. **0.17CHF/kWh** as per the current tariffs set by the grid owner.

This project calls for the building of a state of the art shpp. It will avoid the total dismantling of the existing works to take place and allow the small village of Roches to pursue producing power based on a renewable resource.



Requérants

Les propriétaires du présent projet de concession et requérants de la concession de force hydraulique sont (conjointement):

Monsieur Eric Affoler Le Tacon 39 ^e CH-2742 Perrefite	et	Monsieur Michel Hausmann Rue du Soleil 40 CH-2610 Saint-Imier
---	----	--

Situation foncière

Les parcelles directement affectées par le projet sont identifiées comme suit :

Parcelle no. 16A et 16B : *Cours d'eau de la Birse appartenant au canton de Berne.*
Les dispositions applicables seront retenues dans la concession de force hydraulique.

Parcelle no. 475 : *Propriété individuelle de la Commune bourgeoise de Roches.*
Les requérants ont adressé une demande de préavis auprès du propriétaire actuel pour l'acquisition de ce terrain.
La Commune bourgeoise de Roches préavise favorablement la vente de cette parcelle, voir son courrier du 12.12.2006 en [annexe 1](#).

Parcelle no. 598 : *Copropriété de Monsieur Jean Paul Hürlimann-Graber et de Madame Claudine Hürlimann.*
Une rencontre avec le propriétaire foncier en date du 22.12.2006 a incité les requérants à déplacer le bâtiment de service de la prise d'eau sur la parcelle no. 475. Des négociations suivront pour la mise à disposition de quelques m² de berge pour permettre la réalisation de la restitution de l'ascenseur à poissons.

Parcelle no. 588 : *Propriété individuelle du Syndicat D'Épuration des Eaux de Moutier et Environs (SEME)*
Les requérants ont adressé une demande de préavis auprès du propriétaire actuel pour l'acquisition partielle de ce terrain (morcellement).
Le Bureau de la Commission du SEME préavise favorablement cette requête, voir son courrier du 27.11.2006 en [annexe 1](#).

Note : Les *droits de passage et de canalisation* seront établis ultérieurement avec les différents propriétaires des parcelles concernées (droit de canalisation pour la conduite d'amenée; droit de passage à une route publique pour l'accès direct de la centrale de turbinage et des ouvrages de la prise d'eau).

Hydrologie

Les débits de la Birse à Roches peuvent être estimés à l'aide des relevés de la station LH 2122 de Moutier « La Charrue » qui se situe à quelque 2.1km en amont de la prise d'eau prévue à Roches. Cette station de mesure livre des données fiables depuis 1912, les dernières mesures contrôlées datent de l'année 2004, voir le document 2122Q_04 en [annexe 2](#).

VALIDATION DES MESURES DISPONIBLES DU DÉBIT

- Etiage
Comme il n'y a pas d'affluents ni de prélèvement entre la station de mesure et la prise d'eau à Roches et qu'en période d'étiage les petits torrents de montagne sont à sec, les relevés LH



2122 peuvent être validés tels quels pour le cours d'eau de la Birse à Roches. Ces considérations sont utiles pour la détermination du débit résiduel.

- Débits périodiques

Les débits journaliers LH 2122 sont considérés tels quels dans le calcul de la production hydroélectrique. Ci-dessous les débits classés pour la moyenne de 1912 à 2004, l'année pluvieuse 2002 et l'année sèche 2003.

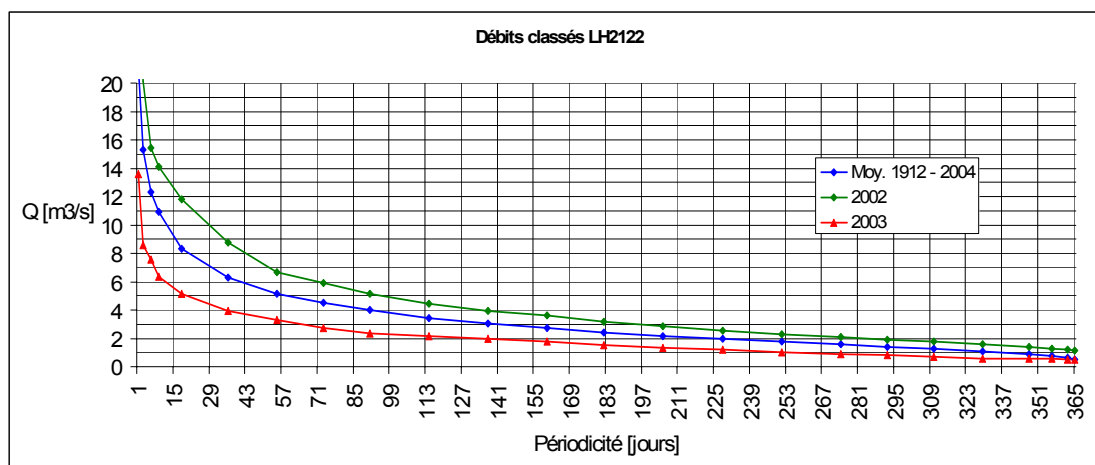


Figure 1: Débits classés de la rivière

- Crues

La statistique des crues permet de dimensionner les ouvrages pour qu'ils résistent aux hautes eaux et que les crues soient évacuées sans provoquer d'inondations des zones hors rivière.

Distribution des crues selon LH 2122 :

Périodicité [années]	Débit [m³/s]
2	32
5	42
10	49
20	54
50	61
100	65
200	70

Figure 2: Tabelle de la statistique des crues

La statistique des crues à Roches doit être ajustée pour le supplément d'eau provenant des torrents des gorges de Moutier qui, en cas de crue, contribuent de manière non négligeable à l'augmentation des débits de la rivière.

L'étude des crues de la Birse de Tavannes à Roches a été effectuée par l'OPC de Bienne. Dans son rapport, voir [annexe 3](#), l'OPC indique des débits de crue pour les maxima sur 20ans, 100ans et pour le cas extrême:

$HQ_{20} = 61 \text{ m}^3/\text{s} ; HQ_{100} = 74 \text{ m}^3/\text{s} ; E = 191 \text{ m}^3/\text{s}$

Dans le cadre de ce projet, nous dimensionnons toutes les constructions et les installations afin d'éviter tous problèmes jusqu'à des débits de l'ordre de HQ_{100} .



DÉBIT RÉSIDUEL

Une étude sur les débits résiduels avait été réalisée selon les directives imposées par l'OEH durant l'avant-projet (réf. *Rapport sur les débits résiduels*, daté 21.03.2006).

L'Inspection de la pêche exigea cependant encore des informations complémentaires pour pouvoir préavis sa position sur le débit résiduel qu'elle juge approprié pour ce projet. Des travaux importants de relevés du lit de la rivière et de simulations hydrauliques ont été réalisés dans le but de pouvoir livrer ces informations pour différents débits théoriques, pour la représentation des profils d'eau le long du tronçon résiduel avec l'indication de la surface mouillée, de la vitesse d'écoulement et de la profondeur d'eau.

Les résultats détaillés de cette étude sont documentés dans le rapport hydraulique en [annexe 4](#).

En résumé, l'on constate que ce n'est pas une augmentation du débit résiduel qui améliorerait sensiblement la situation aquatique mais qu'il serait plutôt opportun de corriger certains profils hydrauliques critiques en positionnant stratégiquement quelques pierres de tailles dans le lit de la rivière (but: canaliser l'écoulement, resp. augmenter la profondeur d'eau dans le profil).

Notre proposition pour le débit résiduel se réfère aux prescriptions des débits résiduels minimaux selon l'art. 31 LEaux. Nous obtenons la valeur min. avec le développement suivant:

Selon les instructions de l'OEH, les dix dernières années sont à considérer [*Disponibilité actuelle des débits: jusqu'en 2004*].

Année	Débit Q_{347} selon les données hydrologiques de l'OFEV [m^3/s]
1995	1.13
1996	0.99
1997	0.98
1998	0.87
1999	1.08
2000	1.07
2001	1.34
2002	1.40
2003	0.55
2004	0.95
1995-2004	1.036

Figure 3: Tabelle des débits Q_{347}

Pour les premiers 500l/s de Q_{347} : 280l/s

Pour les l/s de Q_{347} suivants: plus 31l/s par tranche de 100l/s: $(1036-500)*31/100 =$ 166.2l/s

Débit résiduel minimal calculé: 446.2l/s

>> Débit résiduel proposé: 450l/s

L'Inspection de la pêche accepte le débit résiduel proposé sous condition que le lit de la Birse soit aménagé le long des profils critiques, mesure à réaliser définitivement après examen sur place avec le débit résiduel en vigueur. Voir la correspondance de l'Inspection de la pêche du 20.10.2006 en [annexe 5](#).



Etude des variantes

Le projet de concession reprend brièvement l'étude des variantes possibles quant à l'implantation du nouveau projet.

Quatre variantes de base sont analysées:

Légende : PD = Prise d'eau ; CD = Conduite d'amenée ; BI = Bassin intermédiaire ; MT = Maison de turbinage

- Variante I:
Remise en service de l'installation existante ou d'une nouvelle installation en accord avec le concept existant. Prise d'eau au seuil actuel*, conduite d'amenée amont jusqu'au bassin intermédiaire, turbinage, restitution à travers la conduite avale.
- Variante II:
Prise d'eau au seuil actuel*, conduite d'amenée amont jusqu'au bassin intermédiaire, turbinage, restitution depuis la maison de turbinage directement à la rivière (la conduite originale de restitution serait alors mise hors service)
- Variante III:
Prise d'eau au seuil actuel*, conduite d'amenée pontée à la conduite avale (le bassin intermédiaire devient caduc), turbinage, restitution.
- Variante IV:
Prise d'eau au seuil actuel*, maison de turbinage située directement après la chute, turbinage restituant au bas de la chute

* Pour toutes les variantes le seuil est à prévoir identique (ouvrage du seuil et clapet de seuil identiques; les mêmes exigences et les mêmes contraintes sont applicables) et la prise d'eau ne varie que peu (ascenseur à poissons identique, canal d'amenée et équipements de la prise d'eau ne varient que peu en taille selon la variante choisie)

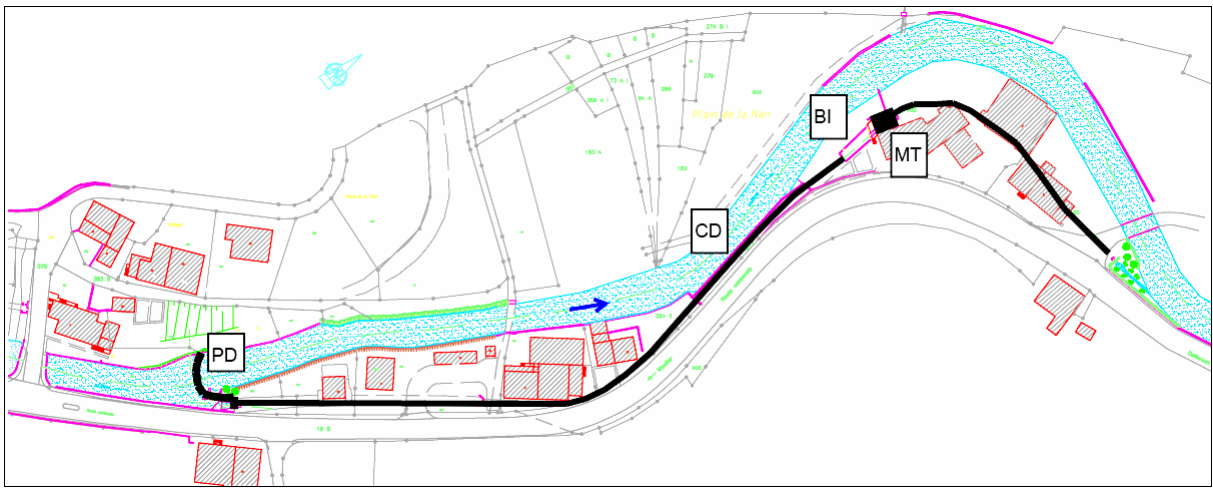


Figure 4: Variante I



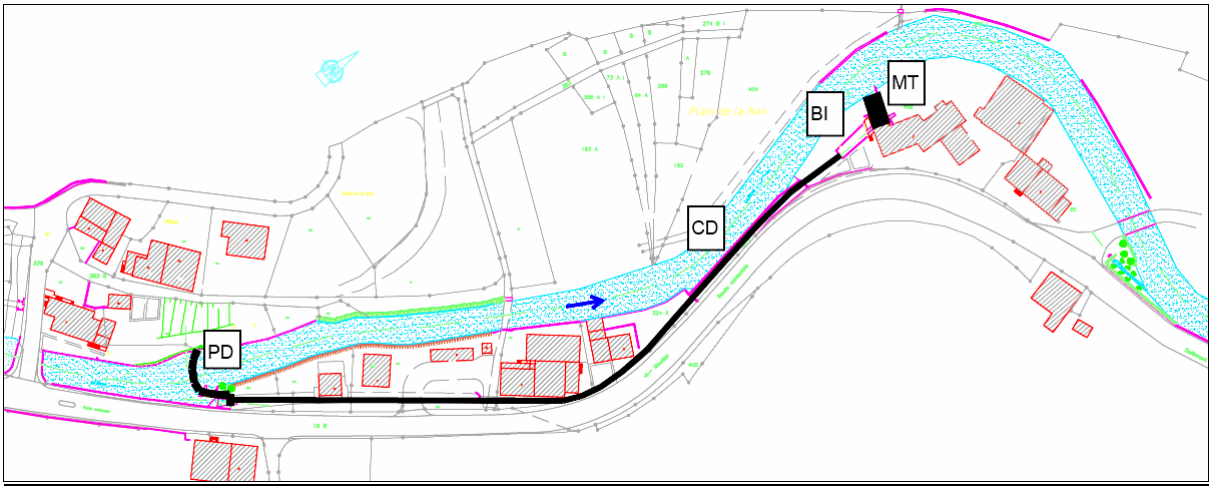


Figure 5: Variante II

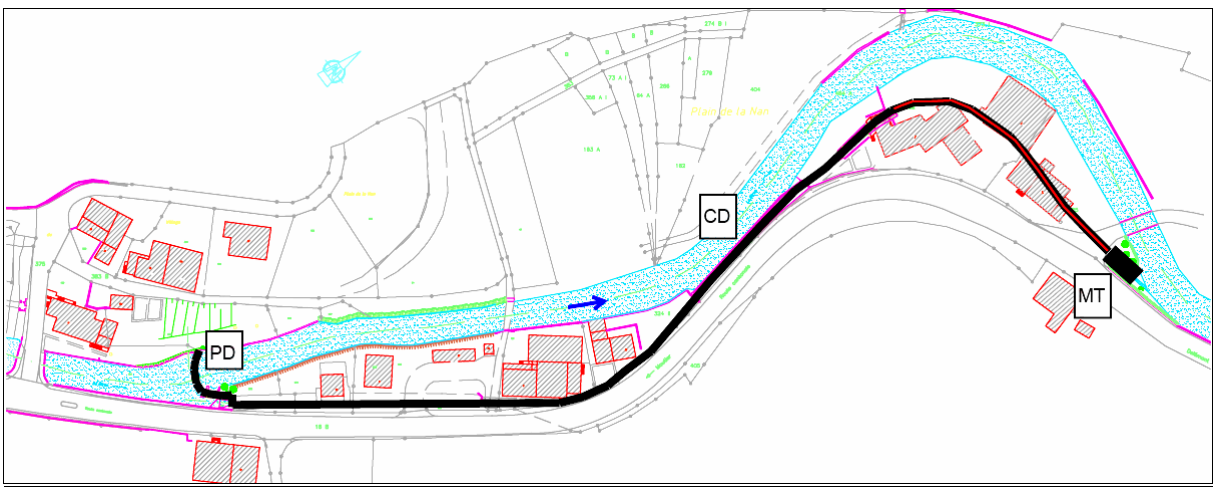


Figure 6: Variante III

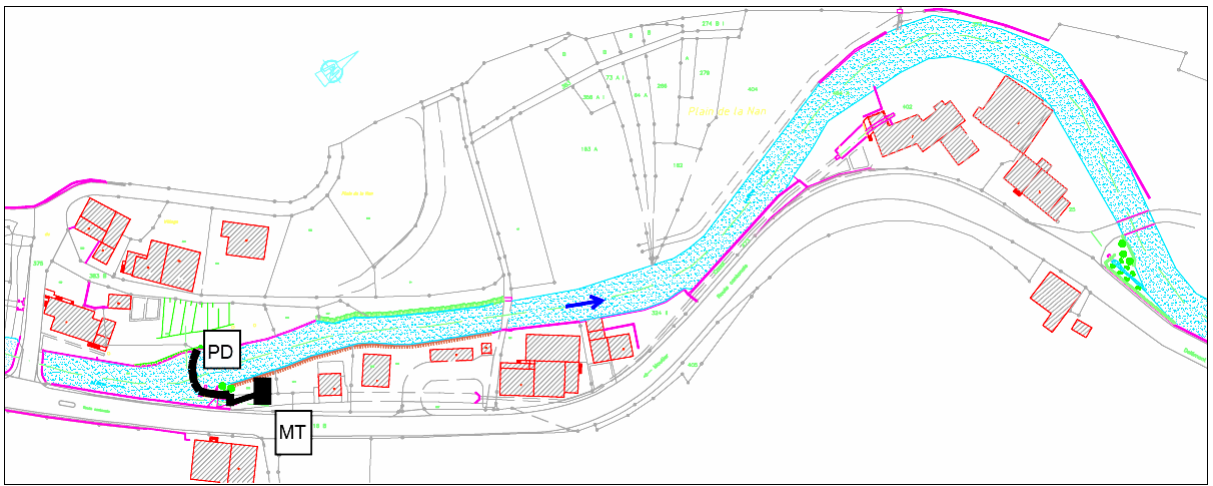


Figure 7: Variante IV



	Chute brute moyenne	Débit d'installation éco.	Puissance nominale à la génératrice	Production annuelle
Var. I	$H_b \approx 489.05 - 483.67 - 0.37 = 5.01\text{m}$	0.8 m3/s	25 kW	190'000 kWh
Var. II	$H_b \approx 489.05 - 484.73 = 4.32\text{m}$	1.8 m3/s	42 kW	291'000 kWh
Var. III	$H_b \approx 489.05 - 483.67 = 5.38\text{m}$	1.6 m3/s	50 kW	363'000 kWh
Var. IV	$H_b \approx 489.05 - 487.16 = 1.89\text{m}$	3.4 m3/s	45 kW	234'000 kWh
Estimation des coûts bruts du projet		Facteur de coût (Coûts / Prod.)	Documents de référence	Classement selon les considérations économiques
Var. I	Env. 550'000.-	2.9	Annexe 6	2
Var. II	Env. 889'000.-	3.1	Annexe 6	3
Var. III	Env. 805'000.-	2.2	Annexe 6	1
Var. IV	Env. 1'156'000.-	4.9	Annexe 6	4

Figure 8: Tabelle d'évaluation des variantes

- Selon le classement établi à partir des considérations économiques, c'est la variante III qui est retenue et qui sera développée dans le présent projet

Dimensionnement hydraulique à la retenue, clapets de seuil

Dans son courrier du 27.09.2005 l'OEH avise : « Le projet devra prouver que toutes les mesures seront prises aux abords de la prise d'eau pour assurer la sécurité en cas de crues. Le transport solide ne doit pas être arrêté. Il serait préférable de prévoir une superstructure mobile au-dessus du barrage ».

En respectant ces exigences et en accord avec les simulations des crues centennales (voir le sous-chapitre suivant), le barrage serait modifié comme suit:

- Intégration de trois clapets de seuil pour contrôler le niveau d'eau à la retenue, faire passer les crues et évacuer les solides, voir le plan de situation de la prise d'eau en [annexe 20](#)
- Elévation des clapets de seuil en position abaissée plus petite ou env. égale à l'élévation absolue actuelle du seuil fixe avec rehaussement provisoire (voir figures 2 et 4).
- Abaissement de la crête déversante du seuil, implantation d'un profil de seuil plus efficace au passage des crues (voir figure 11).

Autres critères considérés:

- Hauteur d'eau de régulation de la retenue \geq niveau inférieur du tuyau de drainage de la parcelle no. 160. Elévation inférieure du tuyau = 489.07msm (voir figure 10). Ce niveau représente le niveau de régulation possible en toute sécurité.
- Utilisation de clapets de seuil contrôlés par des tuyaux-gommes pneumatiques (version économique en comparaison avec un contrôle hydraulique par vérin, voir figure 11).

Comme l'habitation de la parcelle no. 160 ne dispose de cave / sous-sol, il est sans autre encore possible d'augmenter le niveau de régulation sans que cela ne devrait causer de problèmes en amont. Suivant les offres définitives des fournisseurs, il pourra se révéler judicieux d'installer des clapets de seuil avec un peu de réserve, ce qui permettra d'exploiter encore jusqu'à quelque 25cm de hauteur d'eau supplémentaire, soit jusqu'au niveau 489.30msm. Par mesure de prudence, cette éventualité ne sera considérée dans les calculs effectués plus loin dans le rapport, mais il en sera tenu compte pour la demande de concession.



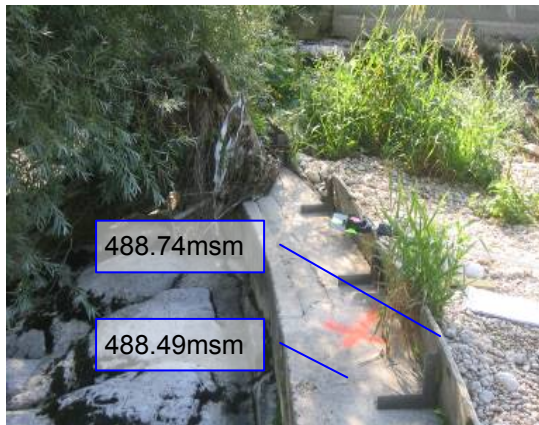


Figure 9: Elévations au seuil actuel

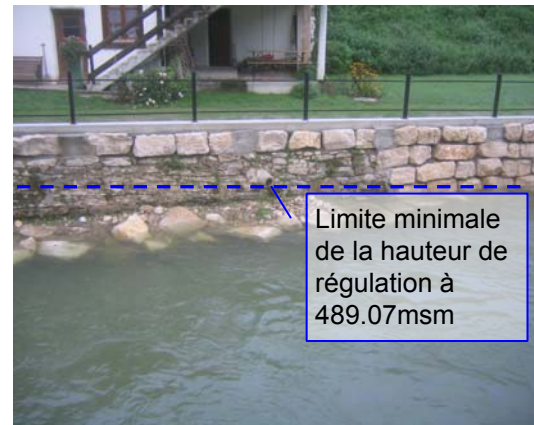


Figure 10: Consigne pour la régulation du niveau d'eau

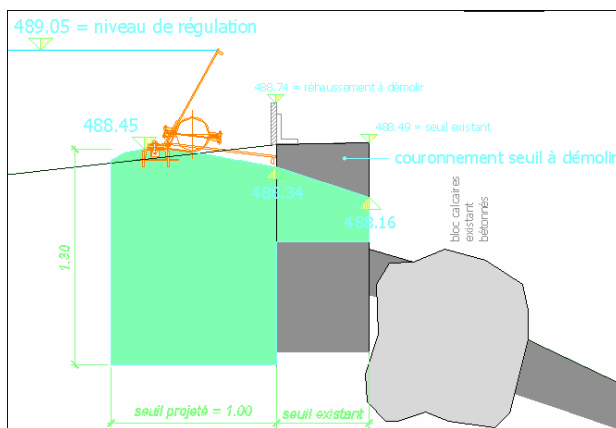


Figure 11: Coupe de la situation prévue avec les clapets de seuil



Figure 12: Exemple d'une réalisation similaire

Fonctionnement de la régulation au seuil:

Le contrôle de l'élévation du seuil s'effectue à l'aide des tuyaux-gommes qui sont appuyés sur les contre-faces des clapets. Le gonflement resp. le dégonflement des tuyaux-gommes s'effectue avec de l'air comprimé qui est généré par un petit compresseur qui sera logé dans le bâtiment de service de la prise d'eau. Un seul circuit pneumatique est prévu pour alimenter les trois clapets; ainsi il ne sera possible de commander les clapets individuellement. La régulation du niveau d'eau à la retenue s'effectue à partir du signal d'une sonde de pression d'eau qui commande l'ouverture de la turbine et la régulation du seuil. En mode automatique, l'ouverture de la turbine sera commandée pour maintenir le niveau d'eau suivant la consigne à 489.05msm. La régulation du seuil entrera en effet moyennant des temporisations appropriées, si le niveau d'eau devait dépasser 489.10msm ou si ce dernier tombait au-dessous de 488.95msm. Un flotteur connecté à un circuit indépendant pour l'évacuation de l'air des tuyaux-gommes veillera à abaisser le seuil en cas de panne du circuit principal de régulation. Le flotteur sera ajusté pour actionner la protection à un niveau supérieur tolérable, soit à env. 489.15msm. Note: les niveaux et les temporisations seront à régler définitivement durant la mise en service des installations resp. durant la phase de tests.

CRUE CENTENNALE

Le concept avec les clapets de seuil au barrage a été élaboré avec l'étude des crues. Une version simplifiée qui prévoyait l'installation d'un seul clapet de seuil transversal a dû être abandonnée en cours d'étude, la crue centennale ne passait pas ou la hauteur de clapet aurait dû être sensiblement augmentée, resp. le seuil fixe abaissé sur plusieurs dizaines de centimètres.

Avec le concept projeté, la crue centennale (HQ100=74m³/s) parviendra à passer le nouveau seuil



sans créer d'inondation des terres avoisinantes, ceci cependant moyennant qu'une légère rehausse de la berge gauche soit effectuée sur une distance de quelques mètres immédiatement en amont de la chute, voir le plan «PRISE D'EAU SITUATION 1 :100 » en [annexe 20](#). L'exécution de cette rehausse de talus fait partie des travaux qui sont prévus dans le cadre de ce projet.

Les calculs hydrauliques pour HQ100 ont été effectués à l'aide des simulations du programme Rehm Fluss avec l'introduction des profils de rivières sans tenir compte d'un débit par la prise d'eau (ainsi il a été admis que la turbine est hors fonction, le batardeau de restitution est fermé et que la prise d'eau représente un « mur » lors des crues, ce qui correspond à la situation pratique la plus désavantageuse).

L'[annexe 7](#) contient le dossier du calcul hydraulique pour HQ100.

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 - turbine.

Le plan d'eau amont peut être considéré comme fixe et correspond à la hauteur de régulation contrôlée par la turbine, respectivement par les clapets de seuil (489.05msm).

Néanmoins, lors de fortes crues, le niveau d'eau monte au-delà du niveau de régulation. Ce phénomène n'est pas pris en compte dans les calculs de chute et de production dans le présent rapport.

Le plan d'eau aval quant à lui n'est pas régulé et varie avec les débits de la rivière. Cette variation du niveau d'eau ne peut être négligée pour les projets « basse chute » et il est adéquat de relever précisément la caractéristique de la rivière. Suite à quelques relevés d'eau durant différents débits de la rivière, il est possible d'esquisser une approche mathématique avec laquelle une courbe peut être tracée pour tous débits. On obtient ainsi également une bonne approximation des hauteurs d'eau pour les extrêmes, p. ex. HQ100, ce qui permet entre autres de dimensionner le bâtiment de turbinage en conséquence (hauteur de la porte / passerelles / etc...). Les valeurs à l'étiage permettent de planifier correctement l'élévation de la rampe de restitution – turbine, respectivement d'assurer que le bassin de fuite est toujours bien connecté à la rivière.

En zone de restitution – turbine l'on a choisi un point de référence sur le muret de la berge gauche en rapport avec lequel des relevés du plan d'eau ont été effectués. Le point de référence est au niveau $H_{réf_a} = 484.599\text{msm}$.

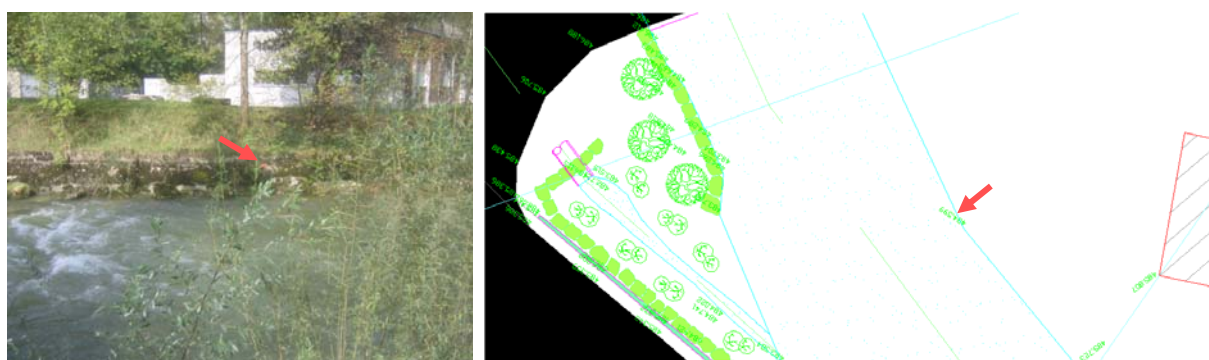


Figure 13: Situation du point de référence pour les relevés du plan d'eau à la restitution - turbine



diminution du rendement de toute l'installation, il est nécessaire de bien cerner l'influence du coefficient de rugosité des éléments de la conduite. Celui-ci n'étant que difficilement prédictible, il ne peut qu'être estimé à partir de réalisations similaires et en référence à la littérature hydraulique. La référence *Hydraulik im Wasserbau, R. Rössert, 10. Auflage, ISBN 3-486-26439-7* considère les coefficients comme suit :

Conduite composée de tubes en béton proprement manchonnés (joints minimums.) :
 $K_{St} = 85 - 95 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Conduite composée de tubes en béton manchonnés sans attention particulière et pour un diamètre de conduite $>0.5\text{m}$: $K_{St} = 70 - 80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

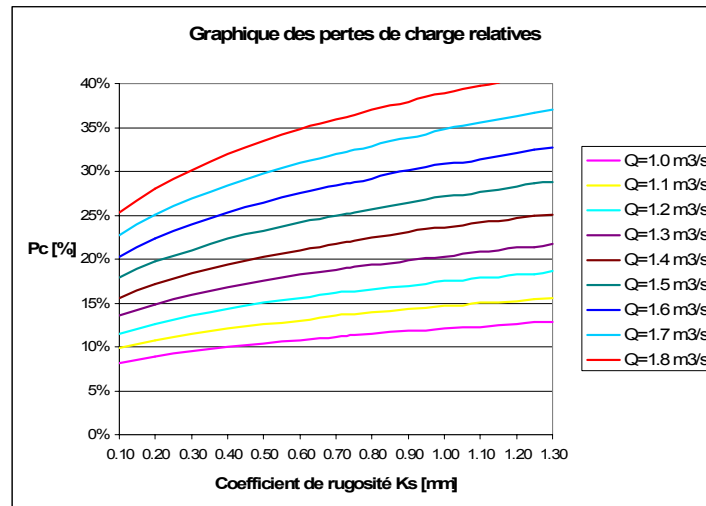


Figure 15: Graphique des pertes de charge dans la conduite

Comme les coûts du génie civil, de la maçonnerie et des équipements de la prise d'eau ne changent pas ou que peu en fonction du débit de l'installation compris dans la gamme $Q = 1.0 - 1.80 \text{ m}^3/\text{s}$ et qu'il en va de même pour d'autres positions du budget (frais fixes), il est judicieux d'opter pour un débit d'installation aussi élevé que possible. Nous nous limitons cependant à une perte de charge de max. 25% en réf. à la chute brute moyenne, ceci pour assurer le bon fonctionnement de la turbine. Considérant l'âge de la conduite et sa longueur, il est en outre prudent de réduire la vitesse d'écoulement pour limiter les sollicitations et les coups de bélier.

Pesant ces critères, le débit d'installation est choisi comme suit:

Débit d'installation = $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$

Ce qui implique:

Vitesse d'écoulement dans la conduite = $2.04 \text{ m}^3/\text{s}$

Le coefficient de rugosité équivalent de la conduite (les pertes singulières comprises) est admis à:

$K_s = 0.28 \text{ mm}$

ou, selon Gaukler-Manning-Strikler:

$K_{St} = 62 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$



Choix préliminaire d'une turbine

Selon les paramètres de chute et de débit, c'est probablement une turbine de la famille des « Kaplan » qui conviendrait le mieux pour ce projet. Il serait certes aussi possible de recourir à une turbine Francis en chambre d'eau ou une turbine Banki (ou Crossflow) mais le rendement de l'installation diminuerait alors sensiblement.

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 SK600 pour laquelle Turbinor dispose de toutes les informations techniques et commerciales.

Cette petite turbine est conçue du type « S », de dia. 600mm et elle est commandée en double réglage (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 de la grande variation de chute suivant les débits de la rivière, il ne semble judicieux d'opter pour une turbine en « semi-Kaplan » (simple réglage, distributeur fixe).

La turbine est directement couplée à une génératrice asynchrone, par le biais d'un accouplement flexible. La vitesse de rotation du groupe est de 600 t/min.



Figure 16: Turbine HH SK600



Figure 17: Turbo-groupe

Cette petite turbine a une capacité d'absorption de 1.6m³/s pour la chute en vigueur. Selon la courbe de rendement de cette dernière, il est cependant préférable de ne pas dépasser le débit de 1.53m³/s, celui-ci représentant le débit théorique où la puissance à l'arbre deviendrait maximale pour cette application. Ainsi, l'on tiendra préliminairement compte de ce débit optimum pour le calcul de la production.

Il va de soit que, durant la mise en service des installations, l'ouverture opérationnelle maximale de la turbine sera établie par des essais, puis l'on limitera l'ouverture du distributeur en fonction de la puissance réelle maximale qui pourra être atteinte (pour une ouverture plus grande, resp. un débit plus élevé la puissance diminue car le rendement des installations s'effondre).

Suivant les offres définitives des fournisseurs, il pourra se révéler judicieux d'installer une turbine avec quelque peu de capacité supplémentaire (par ex. diamètre de la turbine 750mm) ce qui permettra de faire fonctionner la turbine à son meilleur rendement, voir éventuellement d'opérer avec un débit d'installation légèrement supérieur, soit au max. à 2.2m³/s. Par mesure de prudence, cette éventualité ne sera considérée dans les calculs effectués plus loin dans le rapport, mais il en sera tenu compte pour la demande de concession.

Pour améliorer la caractéristique d'emballement du turbo-groupe et ainsi réduire les sollicitations infligées à la conduite lors de changements brusques du régime opérationnel (perte du réseau électrique), l'on munira l'arbre du groupe avec un volant d'inertie.



Calcul de la production

Le calcul de la production prévisionnelle est établi en tenant compte des débits journaliers moyens, du rendement de la conduite, de la turbine et de la génératrice.

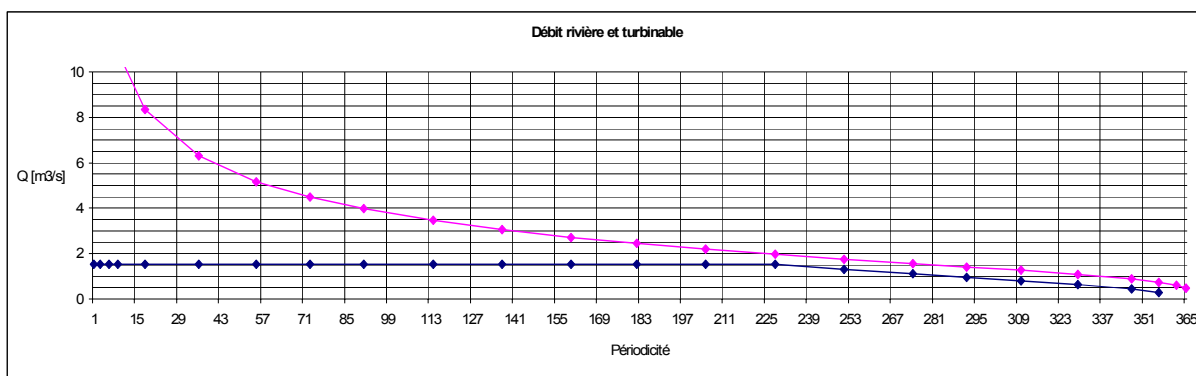


Figure 18: Graphique des débits classés

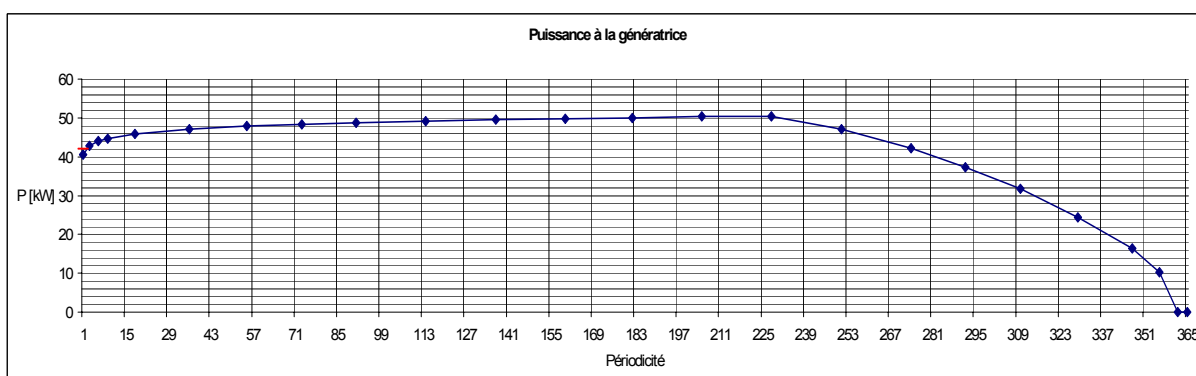


Figure 19: Graphique des puissances

Roches - Birse						Puissance nom. à la génératrice:		50 kW	Débit max. de la turbine		160 m³/s			
Débit résiduel				Conduite						Hauteur de chute				
Q347 (BivE data 1912-2003)		0.88		Conduite DN:				Dia. intérieur: 1.000 m		Chute brute moyenne: 5.38 m				
Débit résiduel [m³/s]:		0.45		Longueur de la conduite:		1.27		395.00 m		Chute nette p Q = 153m³/s		4.08 m		
				Facteur de rugosité KSt:		1.27		62.00 m³/s		HI =		1.30 m		
				Vitesse max. d'écoulement:		1.27		195 m/s		% =		24.18 %		
Concept avec 1 turbine		Jours	Jours inc.	Q [m³/s]	Hbrute [m]	Hnette [m]	Pc [%]	Qturb [m³/s]	Phydro	ETA Turbine	ETA Gen	Fst [kW]	E [kWh]	-3% sécurité [kWh]
Kaplan	0.3%	1	1	21.20	4.66	3.38	27%	153	50.79	0.86	0.929	40.6	974	945
HYDROHROM SK600	0.8%	2	3	15.30	4.84	3.56	26%	153	53.49	0.86	0.929	42.7	2000	1940
	1.6%	3	6	12.30	4.94	3.67	26%	153	55.07	0.86	0.929	44.0	3122	3029
	2.5%	3	9	10.90	4.99	3.72	25%	153	55.87	0.86	0.929	44.6	3191	3095
	4.9%	9	18	8.34	5.10	3.83	25%	153	57.48	0.86	0.929	45.9	9781	9487
	9.9%	18	36	6.31	5.20	3.93	24%	153	58.95	0.86	0.929	47.1	20093	19490
	15.1%	19	55	5.17	5.26	3.99	24%	153	59.88	0.86	0.929	47.8	21645	20996
	20.0%	18	73	4.48	5.30	4.03	24%	153	60.49	0.86	0.929	48.3	20772	20149
	24.9%	18	91	3.98	5.33	4.06	24%	153	60.96	0.86	0.929	48.7	20960	20331
	31.2%	23	114	3.46	5.37	4.10	24%	153	61.49	0.86	0.929	49.1	27002	26192
	37.5%	23	137	3.06	5.40	4.13	24%	153	61.92	0.86	0.929	49.5	27213	26397
	43.8%	23	160	2.72	5.42	4.15	23%	153	62.31	0.86	0.929	49.8	27395	26573
	49.9%	22	182	2.44	5.45	4.17	23%	153	62.65	0.86	0.929	50.1	26398	25967
	56.2%	23	205	2.19	5.47	4.20	23%	153	62.97	0.86	0.929	50.3	27701	26870
	62.5%	23	228	1.97	5.49	4.22	23%	152	62.98	0.86	0.929	50.3	27774	26940
	68.8%	23	251	1.76	5.51	4.42	20%	131	56.78	0.90	0.928	47.2	26903	26096
	75.1%	23	274	1.56	5.53	4.60	17%	111	50.14	0.91	0.926	42.2	24676	23936
	80.0%	18	292	1.41	5.54	4.75	14%	96	44.69	0.91	0.923	37.3	17189	16673
	84.9%	18	310	1.26	5.56	4.89	12%	81	38.83	0.89	0.918	31.7	14918	14471
90.1%	19	329	1.08	5.58	5.06	9%	63	31.26	0.87	0.905	24.5	12815	12431	
95.1%	18	347	0.88	5.61	5.25	6%	43	22.15	0.83	0.890	16.4	8815	8555	
97.5%	9	356	0.74	5.63	5.39	4%	29	15.32	0.77	0.875	10.3	2882	2795	
99.2%	6	362	0.62	5.65	5.65	0%	0.00	0.00			0.0	0	0	
100.0%	3	365	0.48	5.67	5.67	0%	0.00	0.00			0.0	0	0	
Moyenne [kW]:		365										41.9		
Turbine op. [Jours/An]:														
Energie tot. par an [kWh]:													374'182	362'957

Figure 20: Table de calculs de la production prévisionnelle

Ainsi la petite centrale hydroélectrique produirait 374'182kWh par an, resp. délivrerait env. 362'957 kWh d'énergie électrique dans le réseau locale (besoins propres env. 3%).



CARACTÉRISTIQUES D'EXPLOITATION

Nombre de jours opérationnels de la turbine :	~ 362	jours/an
Déversement naturel du seuil (crues) :	~ 226	jours/an
Déversement naturel du seuil (étiage) :	~ 3	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 en amont de la retenue.

Ouvrages et équipements à la prise d'eau

CAPTAGE

La prise d'eau se situe délocalisée à quelque 395m en amont de la centrale de turbinage.

Le concept de la prise d'eau a été choisi en considérant les vestiges actuels, cependant sans permettre de compromis en ce qui concerne le bon fonctionnement de la nouvelle réalisation.

La prise d'eau se composera avec des ouvrages et des équipements suivants:

Batardeau d'isolation de l'amenée

Durant le fonctionnement normal de l'installation, ce batardeau servira à retenir les corps flottants de taille pour ne pas passer jusqu'au dégrilleur, ce qui, suivant la taille et l'encombrement de l'objet flottant, pourrait endommager le dégrilleur. Pour assurer cette fonction de barrière, le batardeau sera abaissé dans la rivière sur quelques 30cm de profondeur (abaissement à ajuster selon l'efficacité constatée). Ce batardeau sera fabriqué avec une surface lisse et plate pour faciliter le dégagement des corps qui s'accumuleront sur sa face.

La fonction principale de ce batardeau reste cependant de pouvoir fermer et ainsi d'isoler la prise d'eau et la conduite d'amenée pour les travaux de maintenance.

Batardeau de purge et de restitution

Ce batardeau sert à faire passer un débit de dotation par l'ascenseur à poissons et également pour purger périodiquement la zone de fond devant la grille de l'amenée.

Idéalement, l'on fera passer quelque 200l/s comme débit d'attrait (à ajuster pour atteindre de bons résultats)

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 inférieure ou égale à 30mm. Le dégrilleur à bras hydrauliques nettoie la grille et dépose les solides dans la cuve transversale qui est en permanence purgée de manière naturelle (le débit de purge est initié par la différence des hauteurs d'eau). Les déchets organiques seront retournés à la rivière; les détritiques inorganiques seront récoltés manuellement lors des visites de l'installation. Ces détritiques 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.



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. Un système de pompe à vide permet d'évacuer l'air qui pourrait être aspiré lors du démarrage de la turbine. Ce système sera manuellement mis hors service lorsque l'installation aura atteint le régime opérationnel.

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.

ASCENSEUR À POISSONS

La construction d'une échelle à poissons ou l'aménagement d'une rivière de contournement est difficilement réalisable dans le cadre de ce projet, la problématique étant que ces réalisations nécessitent beaucoup de place, ce qui a une incidence directe sur la sécurité d'exploitation en cas de crues et sur les coûts de réalisation.

Il a donc été choisi d'opter pour un système d'ascenseur à poissons. Le système proposé se base entre autres sur une réalisation récente au barrage de Maigrauge (FR) sur la Sarine, construction réalisée par l'entreprise Stephan, voir [annexe 8](#).

La réalisation prévue pour le projet de PCH à Roches quant à elle aura naturellement des dimensions réduites qui sont choisies en relation avec les caractéristiques de la rivière (chute, débits, variété des poissons, etc...). Le budget alloué pour cette position est de CHF 40'000. Les premiers appels d'offres montrent cependant qu'une telle réalisation clé en mains se chiffre à un montant bien supérieur au budget prévu; il faudra donc encore recourir à une réduction des coûts par le biais de négociations avec les fournisseurs, voir de prévoir la réalisation partielle des composants en régie propre.

Description des installations :

Une cage (ou piège à poissons) est placée dans un débit d'attrait. Celui-ci passe par le batardeau de purge et de restitution de la prise d'eau. Alternativement, il est également possible de prévoir une vanne qui déverserait le débit d'attrait en prenant l'eau à une profondeur moindre.

La cage contient une ouverture progressive par laquelle le poisson entre facilement mais ne peut retrouver la sortie. Une benne amovible est montée au bas de la cage. C'est dans cette dernière et dans ce volume d'eau que les poissons seront montés à l'étage supérieur.

Dimensions de la cage:	env. 1.2 x 0.8 x 0.8m (longueur, largeur, hauteur)
Ouverture entre les barreaux de la cage:	env. 15mm
Dimension de l'ouverture d'entrée:	env. 150 x 300mm (largeur x hauteur)
Volume d'eau dans la benne:	env. 150l ($h_{\text{eau dans la benne}} = 20 \text{ cm}$)

Un batardeau de fermeture de l'entrée est abaissé avant la montée de l'ascenseur, ceci pour empêcher que des poissons entrent dans la zone de l'ascenseur sans que la cage soit en place. Ce batardeau, tout comme la cage, est fabriqué avec une grille pour ne pas interrompre le débit d'attrait lorsque celui-ci est abaissé, resp. lorsque l'ascenseur est hissé.

Ouverture entre les barreaux du batardeau de fermeture:	env. 25mm
---	-----------

L'ascenseur est monté par le biais d'un système de levage électrique. En fin de course, la benne bascule mécaniquement pour déverser son contenu dans un entonnoir puis à travers un tuyau de déversement; les poissons sont alors rendus à la rivière en amont du seuil. Actuellement le volume liquide de la benne devrait suffire pour garantir que tous les poissons soient évacués. Lors d'essais et durant



la mise en service l'on vérifiera cette hypothèse et, seulement si nécessaire, l'on aura recours à un supplément d'eau qui sera déversé directement dans l'entonnoir (pompage d'eau de source externe durant la période du déversement de la benne).

Caractéristiques techniques du tuyau de déversement : Tuyaux et coudes PE de dia. 300mm
Pente de pose 8-10%

Lorsque l'ascenseur a déversé, il retourne ensuite à sa position de base, le batardeau de fermeture de l'entrée se lève et l'on attend sur le prochain cycle.

La périodicité du fonctionnement de l'ascenseur est réglable dans le temps. Typiquement l'on programmera un temps de cycle de 3 heures environ.

La partie commande des installations est gérée par un automate programmable et par des circuits électriques disposés dans un coffret qui prendra place dans le bâtiment de service de la prise d'eau.

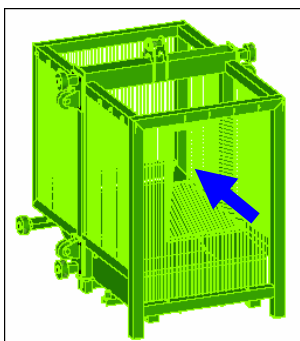


Figure 21: Cage de l'ascenseur

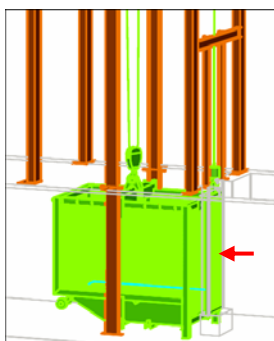


Figure 22: Batardeau de fermeture

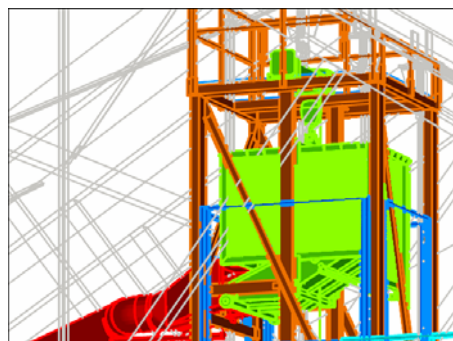


Figure 23: Déversement de la benne

Toutes les représentations selon construction similaire au barrage de Maigrage, entreprise Stephan SA, Givisiez, FR

DESCENTE À POISSONS

Une descente à poissons est prévue sur le côté gauche du seuil. C'est par cette dernière qu'une partie du débit résiduel passera (à ajuster avec le débit restitué par l'ascenseur à poissons pour atteindre le débit résiduel min. dans le lit de la rivière) et que les poissons sont supposés descendre la chute.

L'ouverture dans la fondation du seuil sera de 45cm de large et elle sera munie d'un cadre de profilés ancré dans le béton. Cette construction permettra de réduire la section de passage, resp. à ajuster le débit à l'aide de planches que l'on insérera selon besoins.

La chute sera construite à l'aide de blocs calcaires aussi naturellement que possible et en visant une pente d'environ 45degrés, assez pour ne pas encourager les poissons à remonter la rivière à cet endroit mais suffisamment douce pour que le poisson ne se blesse à la descente.

Remise en état de la conduite d'amenée

Une inspection complète de la conduite a permis d'estimer son état et ainsi de définir les travaux qui seraient nécessaires pour sa remise en service dans le cadre du nouveau projet.

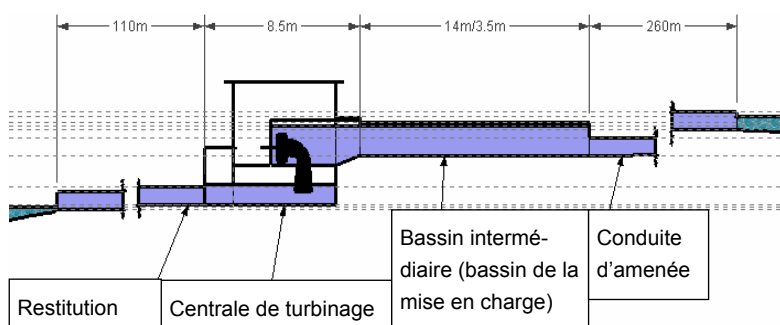


Figure 24:

Situation actuelle de l'installation



1. PARTIE AMONT

La conduite amont partant depuis la prise d'eau jusqu'au bassin original de la mise en charge (bassin intermédiaire) est en bon état.

Pour utiliser ce tronçon de conduite les travaux suivants seront néanmoins nécessaires :

- Déviation directement à la rivière de deux sorties de drainage de la route cantonale qui, dans le cadre de la pose de la conduite (travaux effectués pour remplacer le canal ouvert d'origine), ont été connectées à la conduite d'amenée.
- Changement de couvercle et de son système de fixation pour la chambre d'inspection existante de la conduite amont. Comme la conduite sera sous pression, le couvercle sera vissé à son ancrage sur un joint d'étanchéité.

2. PARTIE INTERMÉDIAIRE

Le nouveau projet prévoit de ne pas réutiliser le bassin intermédiaire mais de ponter la conduite amont avec la conduite aval.

Le pontage est prévu par le biais de tubes et de coudes PRFV (polyester renforcé par fibres de verre). Ces tubes seront choisis en accord avec les spécifications suivantes :

Classe de pression : PN1 (testé jusqu'à 1.5bar en atelier)

Classe de rigidité : SN5000

Diamètre : DN1000

Pour raccorder ces tubes, l'on aura recours à un manchon de scellement de part et d'autre des extrémités accessibles de la conduite béton et d'un manchon mécanique (p.ex. manchon Straub) pour interconnecter les tubes à la jointure.

La conduite PRFV sera scellée dans du béton autour des sections coudées et remblayée avec du matériel adéquat, selon les prescriptions du fournisseur des éléments de la conduite.

3. PARTIE AVALE

La conduite aval qui, dans son état d'origine, était utilisée pour la restitution après turbine est partiellement en mauvais état. Certains joints entre les tubes bétons sont trop ouverts et il y a aussi des fissures sur le haut de la conduite sur environ 10m de distance. D'autres sections sont cependant encore en bon état.

Comme cette conduite fonctionnait normalement sans pression ou, occasionnellement, avec que peu de charge (conduite remplie lors des crues), elle nécessite une attention particulière en ce qui concerne son assainissement.



Figure 25: Vue sur la conduite aval depuis la restitution turbine



Figure 26: Vue de la conduite aval depuis l'intérieur

Diverses possibilités d'assainissement ont été étudiées :



1. Chemisages

Il existe actuellement plusieurs méthodes de chemisage découlant de développements particuliers établis ou appliqués sous licence par les fournisseurs spécialisés.

1a. Chemisage de la conduite avec de la gaine confectionnée, trempée dans de la résine de réaction

Ce procédé prévoit l'insertion d'une gaine calibrée (tissu textile ou treillis de fibres) qui est confectionnée d'un matériel porteur enduit par trempage de résine de réaction (époxy ou polyester) puis insufflé par une chambre dans la conduite à assainir, par procédé d'inversion. Le durcissement se fait par la chaleur ou à froid, sous pression intérieure pour coller le chemisage aux parois de la conduite.

La réalisation du chemisage demande une bonne préparation et les travaux sont conséquents. Typiquement, les étapes suivantes sont nécessaires:

- Retenue d'eau
- Nettoyage de la canalisation
- Calibrage des conduites existantes
- Contrôle télévisé
- Travaux de fraisage / piquetage sur le support existant
- Séchage de la conduite
- Travaux de pose

Avantages:

Le chemisage offre la possibilité d'assainir la conduite depuis l'intérieur, donc sans devoir recourir à des travaux de fouille. Le chemisage permet de résoudre les problèmes de stabilité et d'étanchéité. Le résultat est propre, le coefficient de rugosité de la conduite est avantageux.

Inconvénients:

Le chemisage réduit la section de passage pour l'écoulement dans la conduite (épaisseur de paroi du chemisage 7.5 – 15mm). Selon nos recherches ce procédé est souvent appliqué pour des canalisations à écoulement libre (p. ex. eaux usées) mais on ne dispose pas ou que de peu d'expérience en ce qui concerne les conduites forcées. Suite à un entretien avec l'un des fournisseurs spécialisé dans ce domaine, il n'existerait actuellement de spécifications établies en ce qui concerne les garanties pour a) la résistance à l'abrasion, b) la rugosité de revêtement final, c) les caractéristiques de dilatation thermique du chemisage, d) la stabilité (p. ex. coups de béliers) et la durée de vie du chemisage. Un autre inconvénient est le prix de cet assainissement qui nous a été chiffrés entre Frs 80'000 et 125'000.- pour une longueur totale de 120m.

1b. Chemisage avec liner déployant en HDPE

Cette méthode consiste à déplier un tuyau confectionné en HDPE dans la conduite existante puis de le plaquer contre les parois en le mettant sous pression d'eau avant d'injecter un béton très liquide entre les parois du support et la face arrière du tuyau confectionné. Celui-ci est composé de profils d'ancrage qui assurent sa tenue et une épaisseur donnée dans laquelle le béton figera le chemisage.

Avantages:

Le chemisage offre la possibilité d'assainir la conduite depuis l'intérieur, donc sans le besoin de recourir à des travaux de fouille. Le chemisage permet de résoudre les problèmes de stabilité et d'étanchéité. Le résultat est propre, le coefficient de rugosité de la conduite est très avantageux. La matière HDPE est tendre et de ce fait plutôt résistante à l'abrasion.

Inconvénients:

Cette méthode d'assainissement réduit fortement la section de passage pour l'écoulement dans la conduite (épaisseur totale du liner + béton de fixation env. 37mm). Tout comme pour le chemisage avec de la gaine confectionnée et trempée dans de la résine de réaction, ce procédé semblerait être majoritairement appliqué pour des canalisations à écoulement libre (p. ex. eaux usées) et on ne dis-



pose pas ou de peu d'expérience en ce qui concerne les conduites forcées. Les garanties et les spécifications importantes du produit fini manquent également. Ce procédé est encore plus onéreux que le précédent.

Pour plus d'informations, voici les liens électroniques de quelques entreprises spécialisées dans les chemisages:

www.innoservice.ch ; www.krtag.ch ; www.kfs.ch

2. Réparation / remise en état

Compte tenu des coûts élevés et des inconvénients non-négligeables d'un chemisage de la conduite, nous avons étudié les possibilités de réfection des joints ouverts et des fissures avec l'entreprise Sika.

Cette dernière propose à choix, deux méthodes pour réparer et étanchéifier les joints par le biais d'une intervention qui n'a que peu d'influence sur la section de passage de la conduite (réduction du diamètre au joint env. 4 - 5 mm sur env. 40-50cm de longueur).

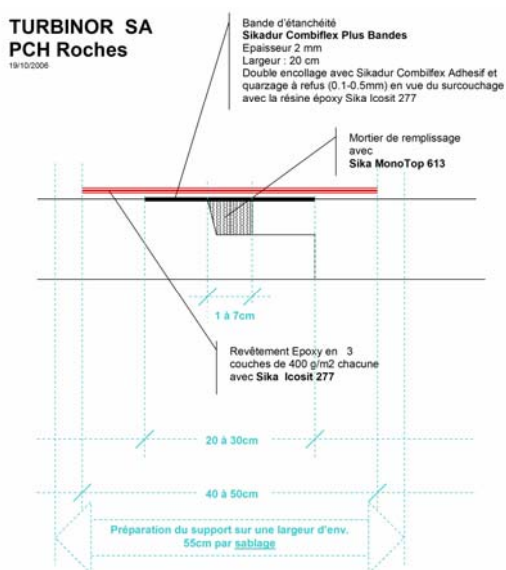


Figure 27: Base de réparation

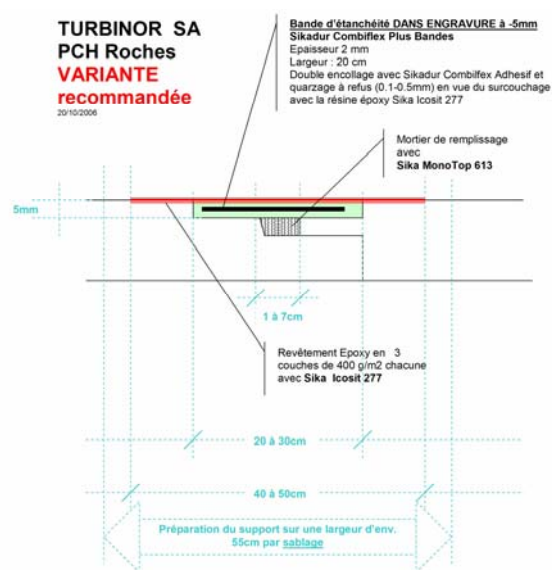


Figure 28: Variante pour la réparation

Avantages:

La réparation proposée selon le procédé Sika permet de réparer où cela s'avère nécessaire uniquement. La réparation aux joints n'entraîne pas une diminution significative de la caractéristique d'écoulement de la conduite. Pour la variante de réparation, les pertes de charge singulières devraient même diminuer. Sika a de l'expérience pour ce procédé qu'elle a déjà appliqué à des conduites forcées.

Inconvénients:

Ce procédé de réparation est onéreux. Pour le matériel et le travail il faudrait compter env. Frs 60'000 – 80'000Frs si tous les joints de la conduite avale devaient être refaits (env. 60pces). Cependant, c'est uniquement une quantité réduite de joints qui devront être réparés (la quantité exacte reste encore à définir lors d'inspections plus détaillées).

Décision préliminaire:

Pesant les avantages et les inconvénients, la conduite avale sera assainie selon le procédé de réparation avec la variante proposée par la maison Sika. Les travaux se feront par la maison Sika Travaux, voir une entreprise de ferblanterie et couvertures sanitaires ou une autre entreprise qui sera à même d'appliquer le procédé sélectionné.



Ouvrages et équipements à la centrale de turbinage

L'emplacement de la nouvelle centrale de turbinage a été choisi au lieu de la restitution de la petite centrale hors service, ceci pour pouvoir bénéficier d'une conduite d'amenée qu'il ne faudra que remettre en état.

La centrale de turbinage logera entre autres les équipements électromécaniques tels que:

- Turbine
- Génératrice
- Aspirateur
- Dispositif hydraulique pour la commande du distributeur et des aubages de la turbine
- Panneau électrique de commande et de basse tension
- Vanne de garde de la conduite d'amenée
- Batardeau d'isolation côté rivière
- Système de ventilation pour évacuer la chaleur émise par la génératrice

Connexion au réseau électrique

La connexion au réseau électrique a été étudiée avec le distributeur BKW FMB Energie, voir [annexe 9](#).

Comme la distance qui sépare la centrale de turbinage avec les ouvrages de la prise d'eau est relativement grande, l'on a préconisé d'installer deux raccordements indépendants. Pour chaque raccordement un circuit de compteur et un coffret de lecture à distance sont prévus. Ils prendront place dans l'armoire électrique de la centrale de turbinage resp. dans un coffret qui sera installé dans le bâtiment de service de la prise d'eau.

1. Raccordement de la centrale de turbinage

Le raccordement au réseau électrique se fait au niveau de tension 400V à partir du Buffet no. 2 qui est alimenté par la station « Entre les Eaux » de BKW FMB Energie. Sur quelque 30m, le raccordement nécessite la pose d'un tuyau de protection de câbles (PE 120) allant d'une chambre de tirage existante jusqu'au bâtiment de la centrale hydroélectrique. Le câble est choisi du type GKN 3x150mm² Alse/95mm² Cu; la longueur totale du câble est d'env. 110m. Celui-ci a été dimensionné pour acheminer une puissance d'au moins 70kVA.

2. Raccordement des installations de la prise d'eau

Un raccordement est prévu au niveau de tension 400V directement à partir de la station « Entre les Eaux » de BKW FMB Energie. Sur quelque 25m, le raccordement nécessite la pose d'un tuyau de protection de câbles (PE 80/92) allant d'une chambre de tirage existante jusqu'au bâtiment de service de la prise d'eau. Le câble choisi est de section 4x25mm²; la longueur totale du câble est d'env. 130m. Celui-ci a été dimensionné pour acheminer une puissance apparente d'au moins 8kVA.

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 la situation passée ni 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 10](#).



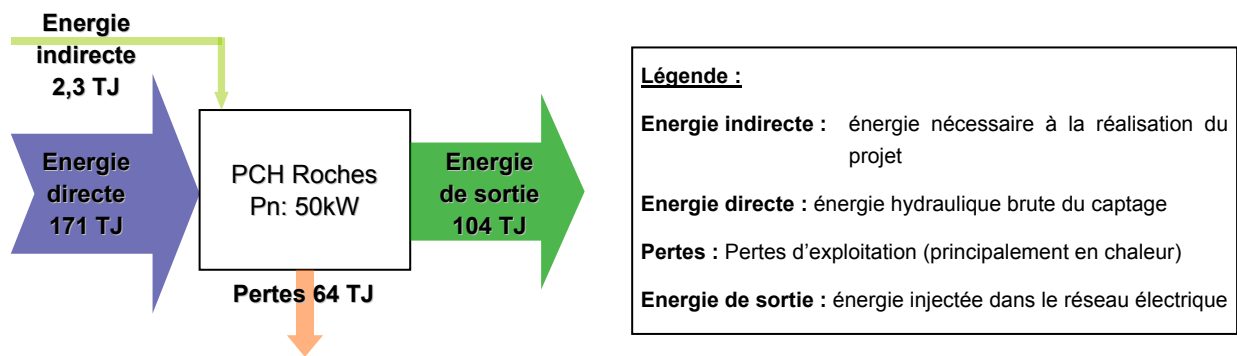


Figure 29: Bilan énergétique

- Energie de sortie/Energie indirecte : 45
- Energie de sortie/Energie indirecte électrique*: 66
- Amortissement écologique: 1.7 années
- Amortissement écologique électrique*: 1.2 années

Selon cette estimation préliminaire, le bilan écologique est très favorable, ceci découlant de la situation présente (possibilité d'utiliser des constructions existantes telles que la conduite d'amenée, certaines fondations au seuil et à la prise d'eau).

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 11](#). 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 modernes qui sont prochainement prévues en Suisse pour assurer l'approvisionnement en électricité durant les quelque 12 prochaines années:

- Réduction annuelle nette d'émission GES : 164 t CO₂ (tonnes de gaz carbonique)
- Réduction nette d'émission GES * : 13'120 t CO₂ (tonnes de gaz carbonique)

Notes : Base de calculs: durée de vie totale des installations admise à 80 ans

* Facteur de conversion thermique / électrique admis = 2.67

RÉPERCUSSION PROBABLE DU PRÉLÈVEMENT

- 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	Limitation du prélèvement (quantité et durée) correction de certains profils hydrauliques, voir le chapitre DÉBIT RÉSIDUEL

- 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.		
	<table border="1"> <tr> <td>Turbines</td><td>Risque de mortalité des poissons</td></tr> </table>	Turbines	Risque de mortalité des poissons
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 poissonnières	voir le chapitre ci-dessous 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 répercussion en ce qui concerne l'usage d'eau de tiers; aucun prélèvement à titre industriel ou agricole n'est effectué à ce jour le long du tronçon résiduel.
- 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. La petite centrale hydraulique ne contribue que marginalement à la production électrique régionale.
- Le prélèvement va permettre de rétablir la connectivité outre-seuil pour les espèces poissonnières. Actuellement aucune disposition n'est en place pour permettre aux poissons de passer le seuil existant.

Remarque: Les espèces piscicoles représentées majoritairement dans le cours d'eau se composeraient des variétés suivantes (information de l'Inspectorat de la pêche) :

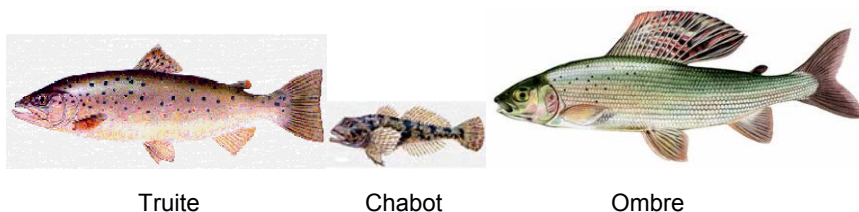


Figure 30: Poissons de la rivière

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 la Birse de manière trop importante. Dans le cadre de cet exercice, l'on abaissera totalement les clapets de seuil et l'on lèvera le batardeau de dotation après avoir sécurisé l'ascenseur à poissons en position haute. 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 stagneront devant le batardeau d'isolation de l'amenée, dans la cuve du dégrilleur ou dans la zone de déversement de la cuve.



Ces matériaux seront collectés lors des visites périodiques (1x par semaine pour les période calmes, 1x par jours 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. 3cm environ), les troncs et les rondins seront empilés près du bâtiment de service et évacués une fois par an. Ce bois sera brûlé dans des installations privées de chauffage
- 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 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 (directive émise par l'Office de la protection des eaux et de la gestion des déchets).

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

Le projet de construction de la centrale hydroélectrique comprend 3 objets bien distincts:

1. Seuil et ouvrages de la prise d'eau
2. Conduite d'amenée
3. Centrale de turbinage

EXÉCUTION DES TRAVAUX

Les scénarios décrits ci-dessous sont préliminairement prévus pour l'exécution des oeuvres. Il est à noter que 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 assainie avec du personnel spécialisé pour ce genre d'activité et le pontage des conduites sera pris en charge par l'entrepreneur responsable pour le génie civil lorsque le calendrier de réalisation le lui permettra (durant une période où il n'aura pas d'activités avec les autres objets).

Seuil et ouvrages de la prise d'eau

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

1^{ère} étape: travaux au seuil, installation de 2 clapets de seuil

Un batardeau en marne sera édifié en amont des deux clapets de seuil prévus sur le côté nord. Durant cette phase des travaux, la rivière passera entièrement par le batardeau qui persiste actuellement avec les vestiges de la prise d'eau (capacité d'écoulement env. 6m³/s). Ces travaux seront exécutés en été durant une période d'étiage de la rivière; ils ne devraient durer plus de 2,5 semaines.

Travaux prévus:

Démolition et aménagement partielle du seuil existant, installation de 2 clapets de seuil, construction de la descente à poissons. Démolition du batardeau en marne à la fin des travaux.



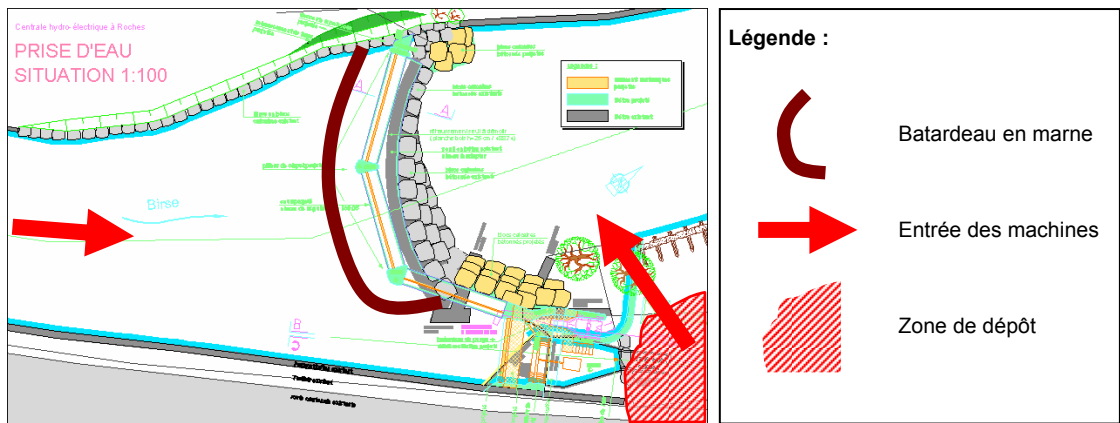


Figure 31: Vue sur le chantier du seuil (1^{ère} étape)

2^{ème} étape: travaux au seuil, construction de la prise d'eau

Pour la phase critique, un batardeau en marne sera édifié en amont du clapet de seuil prévu sur le côté sud. Durant cette phase des travaux, la rivière passera entièrement par les deux clapets de seuil édifiés durant la 1^{ère} étape des travaux. Ceux-ci seront maintenus en position abaissée. Ces travaux seront exécutés en été durant une période d'étiage de la rivière. La phase critique des travaux ne devrait durer plus de 2,5 semaines.

Ensuite l'on isolera la prise d'eau en fermant avec le batardeau d'isolation de l'amenée. Le batardeau en marne pourra ensuite être démonté et la rivière s'écoulera par les trois clapets de seuil abaissés.

Travaux prévus:

i) Phase critique

Aménagement du seuil, installation du dernier clapet de seuil, construction du radier de la prise d'eau et des murs ouest jusqu'à min. 50cm en arrière du batardeau d'isolation de l'amenée, installation du batardeau d'isolation de l'amenée.

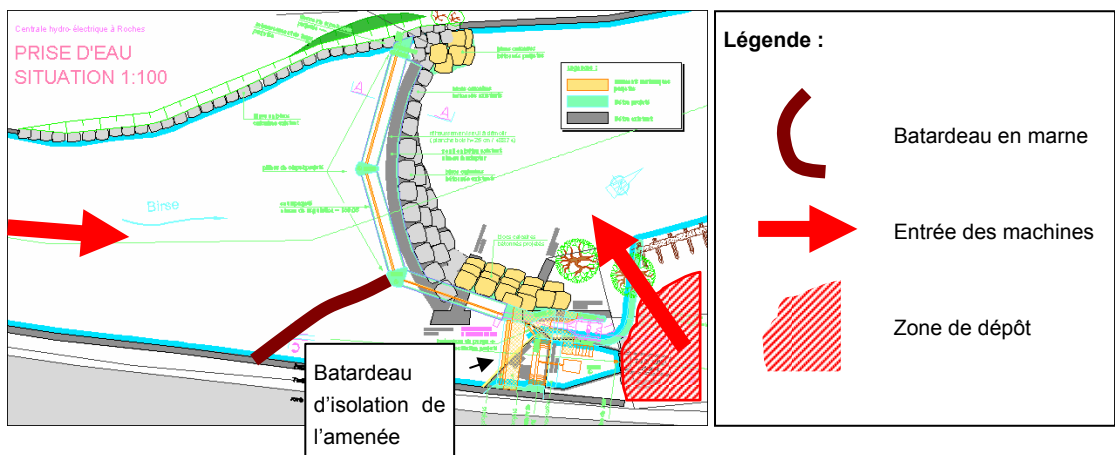


Figure 32: Vue sur le chantier du seuil (2^{ème} étape)

ii) Phase successive

Construction de tous les ouvrages et montage de toutes les installations de la prise d'eau

Pour tous les travaux, l'accès à la rivière sous le seuil se fera depuis la berge située au sud-est, la partie amont du seuil, quant à elle, sera accessible aux machines en entrant par la berge gauche à



quelque 150m en amont.

Moyennant l'accord du propriétaire foncier, un dépôt de chantier sera organisé sur la parcelle no. 598.

Remarque: D'autres scénarios sont également envisageables. Les variantes d'entrepreneurs seront évaluées lors des soumissions.

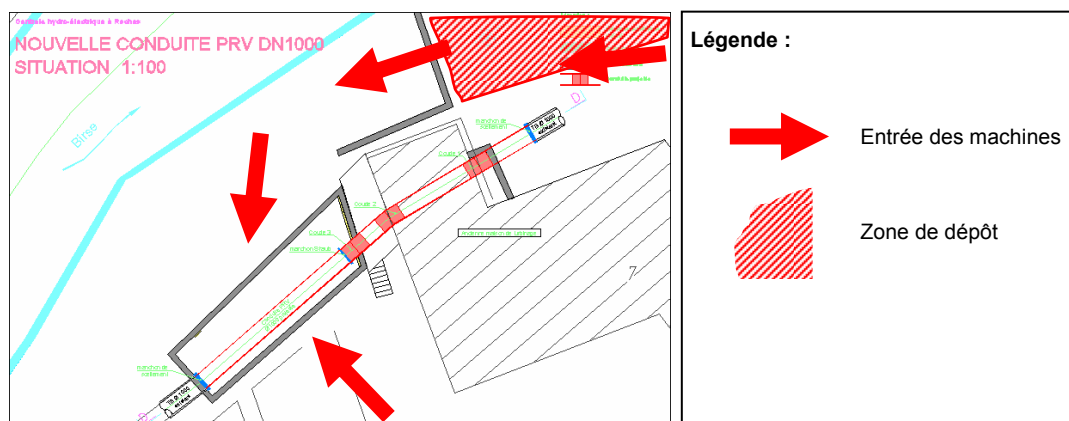
Conduite d'amenée

Les travaux prévus pour la conduite d'amenée s'effectueront tout d'abord avec l'assainissement de la partie avale de cette dernière. Les travaux auront lieu lorsque l'épuisement des eaux sera garanti avec la construction du bâtiment de la centrale de turbinage.

Ensuite, l'on procédera aux travaux d'assainissement (peu de travaux sont actuellement prévus) de la partie amont.

Tous les travaux d'assainissement se feront depuis l'intérieur de la conduite.

En dernier lieu, c'est le pontage de la conduite qui sera effectué dans le bassin actuel de la mise en charge (bassin intermédiaire).



Un dépôt pour les machines et les matériaux sera organisé sur la place à côté du bâtiment de turbinage actuel, ceci moyennant l'accord du propriétaire foncier.

Centrale de turbinage

Un batardeau (vraisemblablement confectionné à l'aide de palplanches si l'on tient compte de la profondeur nécessaire d'excavation et la durée des travaux) sera mis en place sur une longueur de quelque 20m pour isoler le chantier de la rivière. Dans cette zone, la Birse est suffisamment large pour permettre un léger rétrécissement de son lit sans que cela n'ait de conséquences néfastes lors du passage des crues.

Le batardeau restera en place jusqu'à la fin des travaux de construction de la centrale de turbinage, soit quelque 4 mois.

L'accès au chantier se fera majoritairement depuis l'ouest, depuis la zone du pont qui conduit à la station d'épuration du SEME; l'on évitera au possible de perturber le trafic de la route cantonale.

Un dépôt de chantier pourrait être établi sur les places disponibles des deux côtés de la rivière, ceci moyennant l'accord des propriétaires fonciers.



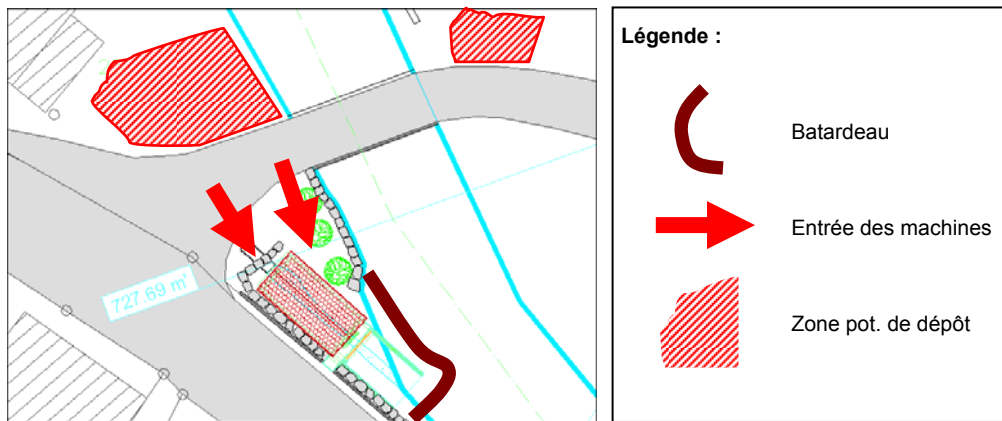


Figure 34: Vue sur le chantier de la centrale de turbinage

CALENDRIER PRÉVISIONNEL DE RÉALISATION

Les requérants comptent recevoir la concession de force hydraulique et d'effectuer la planification détaillée du projet durant le cours de l'année 2007. La réalisation des travaux commencera alors à partir du mois de juin 2008 et elle se terminera au mois de septembre 2008, le but étant la mise en service commerciale de la centrale à partir du 1. octobre 2008.

Rentabilité économique

La rentabilité économique du projet est calculée à l'aide du modèle RETScreen®, voir [annexe 12](#).

Un plan d'investissement a été établi séparément avant d'être introduit dans ce modèle analytique, voir [annexe 13](#).

Note: le taux d'intérêt sur la dette a été estimé en considérant un taux d'emprunt de 4% et l'obtention d'un crédit LIM (crédit sans intérêts) sur 40% des investissements, ce qui équivaldrait à un taux moyen de 2.4% sur la dette totale.

Constatations :

En admettant une durée d'emprunt de 20 ans et des fonds propres à raison de 20%, le coût de revient sur l'énergie est de CHF 0.18 / kWh. En considérant le modèle actuel de rémunération appliqué par le distributeur BKW FMB Energie, la bonification moyenne atteindrait aujourd'hui CHF 0.17 / kWh pour le projet en question (prix de l'énergie selon étude de la production en considérant les tarifs saisonniers, les tarifs horaires et la composante de disponibilité).

Le projet ne serait donc pas rentable sur la durée de l'emprunt. L'année de flux monétaire nul serait cependant atteinte après 26ans resp. 6ans après le remboursement total de la dette. Sur la durée de vie de la concession (admise à 40ans) il sera cependant possible d'atteindre un taux de revient après impôts (TRI) de 4.1%.

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 14](#).

Conclusions :

Bien que le projet ne soit rentable durant la période d'emprunt considérant le prix de l'énergie actuel, il reste cependant intéressant à plus long terme. De plus, il est fort probable qu'avec la venue prochaine de la LApEI (Loi sur l'approvisionnement en électricité) c'est précisément cette catégorie de petites centrales hydroélectriques (basse chute, petite puissance) qui pourra bénéficier d'une majoration du prix de l'énergie. Selon la rémunération proposée par ISKB / ADUR (voir revue La Petite Centrale Nr. 62, p15) le prix correspondant pour cette réalisation devrait atteindre env. CHF 0.20 /kWh.



Recommandations finales, demande de concession

En accord avec les définitions établies pour le présent projet, la remise en service de la petite centrale hydroélectrique de Roches offrirait une solution globale à la présente situation d'exploitation.

Du point de vue de la technique, le projet permettrait de tester certains concepts novateurs qui, si les expériences se révèlent positives, pourraient être appliqués à d'autres projets similaires, voir permettre à des projets d'atteindre la rentabilité économique et d'être réalisés (réf. clapets de seuil avec tuyaux-gommes réglés avec la pneumatique / ascenseur à poissons pour mini-centrales hydroélectriques).

Comme réponse à la faible rentabilité de l'installation prévue et dans le but d'assurer un investissement durable, les requérants envisagent de créer une nouvelle société (Sàrl ou SA) avec l'apport des garanties nécessaires.

ELÉMENTS DE L'UTILISATION DE L'EAU POUR LA DEMANDE DE CONCESSION :

#	Nominal	Maximal
Niveau des eaux déterminant à la prise d'eau (niveau normal de la retenue)	489.05 msm	489.30 msm
Niveau des eaux déterminant au point de restitution	483.67 msm	483.67 msm
Hauteur de chute brute moyenne utilisable	5.38 m	5.63 m
Volume d'eau utilisable	1.6 m3/s	2.2 m3/s
Puissance brute moyenne	69 kW	88 kW

Saint-Imier, 23.12.2006

Turbinor SA, Michel Hausmann



Annexe

- 1 : Préavis des propriétaires fonciers
- 2 : Hydrologie de la Birse, station de mesure 2122, Moutier « La Charrue »
- 3 : Extrait de l'étude des crues de la Birse, OPC de Bienne
- 4 : Dossier des débits résiduels
- 5 : Prise de position de l'Inspection de la pêche
- 6 : Documents de référence pour le calcul des variantes
- 7 : Dossier du calcul hydraulique de la crue centennale
- 8 : Ascenseur à poissons, barrage de Maigrauge
- 9 : Connexion au réseau électrique
- 10 : Estimation du bilan énergétique
- 11 : Analyse des *réductions d'émissions de gaz à effet de serre*
- 12 : Sommaire financier
- 13 : Plan d'investissement
- 14 : Analyse de sensibilité et de risque

- 20 : Plans

- 30 : Formulaires de demande de permis

