



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,  
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
**Office fédéral de l'énergie OFEN**

# RÉHABILITATION DU MOULIN DE BAVOIS

## ETUDE D'AVANT PROJET

### Rapport final

Auteurs

**MHyLab**  
En Platé, 1354 Montcherand, [info@mhylab.com](mailto:info@mhylab.com), [www.mhylab.com](http://www.mhylab.com)

**RWB Eau & Environnement SA**  
Epervier 4, 2053 Cernier, [cernier@rwb.ch](mailto:cernier@rwb.ch), [www.rwb.ch](http://www.rwb.ch)



=====

=====



Programme petites  
centrales hydrauliques  
[www.petitehydraulique.ch](http://www.petitehydraulique.ch)

Date 13.07.07

**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: 102048

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



## Table des matières

Résumé .....	5
Introduction.....	6
Situation.....	6
Données de base .....	7
Hydrologie.....	7
Courbe des débits classés, année 1992-2005 .....	7
Historique .....	9
Débit maximal turbinable en fonction de l'infrastructure actuelle .....	11
Débit maximal du canal d'aménée .....	11
Débit maximal des conduites .....	11
Débit maximal du canal de fuite.....	12
Variantes de débit d'équipement .....	12
Dénivellation exploitable .....	13
Deux variantes de niveau d'eau amont.....	13
Evolution de la dénivellation en fonction du débit du Talent.....	13
Conduite forcée et chute nette .....	14
Détermination du diamètre interne de la nouvelle conduite .....	14
Calcul de la chute nette .....	15
Installation d'une nouvelle turbine .....	16
Principales caractéristiques du turbogroupe pour chaque variante .....	16
Calcul de la production .....	18
Etude économique.....	23
Investissements .....	23
Electromécanique .....	23
Génie civil.....	23
Résumé des investissements .....	24
Frais d'exploitation .....	24
Calculs économiques.....	24
Description détaillée de la variante finale.....	25
Principales caractéristiques technique de la variante retenue .....	25
Travaux de génie civil .....	26
Bassin de captage.....	26
Prise d'eau .....	27
Conduite d'aménée .....	28
Local de turbinage.....	28
Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage .....	29
Turbine.....	29



Génératrice .....	30
Vannes, batardeaux et grilles de l'installation.....	30
Contrôle commande .....	31
Dispositif de sécurité.....	32
Raccordement électrique.....	32
Conclusions, remarques et suggestions .....	32
Annexes.....	33



## Résumé

Le Moulin de Bavois, situé sur le Talent, sur la commune de Bavois, dispose actuellement d'une concession datant de 1979 qui définit une dénivellation de 15.16 m et un débit maximal de 300 l/s. Grâce à une prise d'eau sommaire, un canal d'aménée de 360 m, et une conduite de 156 m, le turbogroupe, équipé d'une turbine à flux traversant, exploite une chute de l'ordre des 12 m, générant une puissance d'une dizaine de kW.

Le projet actuel vise à réhabiliter cette centrale en exploitant au mieux le potentiel hydraulique disponible, ce qui impliquera la négociation d'une nouvelle concession. En effet, la variante retenue dans cette étude correspond à un débit d'équipement de 1.5 m<sup>3</sup>/s. Elle implique la construction d'une nouvelle prise d'eau, la pose d'une conduite forcée de 1200 mm de diamètre interne et de 495 m de longueur (qui remplacera le canal d'aménée et la conduite actuels), et l'intégration d'une turbine axiale de type Kaplan à 6 pales réglables. Le Talent s'écoulant en forêt, tout un dispositif de nettoyage de l'installation, simple et fiable, est prévu. D'une puissance électrique maximale de 172 kW, le turbogroupe produira en moyenne 531'000 kWh/an (65 % en hiver), selon un prix de revient de 21.4 cts/kWh.



## Introduction

Dans le cadre du programme de développement des petites centrales hydro-électriques, MHyLab, en collaboration avec le bureau de génie civil RWB SA, a été mandaté par M. Dominique Delay pour effectuer une étude détaillée de faisabilité de la réhabilitation du Moulin de Bavois, sur le Talent.

Cette étude complète celle, sommaire, effectuée en juin 2006, qui a démontré la préfaisabilité technique et économique du projet.

Ce type d'étude a pour objectif, d'une part, d'évaluer la faisabilité technico-économique du projet et, d'autre part, d'en préciser l'optimum.

## Situation

Plusieurs visites de site ont eu lieu, dont la dernière pour les relevés, le 19 mars 2007.

L'installation actuelle du moulin de Bavois comprend (se référer au plan de situation et au profil en long en annexe):

- un seuil sur le Talent, en bon état, dont la crête est à une altitude de 473.23 m,
- une prise d'eau sommaire,
- un canal d'aménée à ciel ouvert de 366 m de longueur, partiellement comblé d'alluvions, d'environ 2.0 m de large sur 0.8 m de profondeur,
- un déchargeoir, pour restituer le surplus au Talent,
- un dégrilleur sommaire à 471.5 m d'altitude environ (niveau du fond du canal d'aménée),
- une conduite d'aménée enterrée, en écoulement libre, en DN 600, d'une longueur de 118 m,
- une chambre de mise en charge, dont le fond est à environ 471.05 m d'altitude,
- une conduite forcée supposée en DN 400 selon le plan en coupe de la centrale de 1980, de 38 m de longueur sous une dénivellation de 10 m environ,
- d'un turbogroupe, à flux traversant, d'une dizaine de kW, exploitant un débit maximal de 300 l/s, situé au bord du Talent, à une altitude d'environ 461 m.

Un **débit résiduel** est assuré dans le tronçon court-circuité par le déversement sur toute la largeur du seuil et par le déchargeoir du canal d'aménée.

Un droit d'eau perpétuel légalisé en 1954 définit une dénivellation de 6.70 m et un débit maximal de **300 l/s**. En 1979, il est complété par une concession étendant la chute à **15.16 m**, définie par:

- l'altitude de la vanne de la prise d'eau à 473.06 m,
- l'altitude de la restitution au Talent à 457.90 m.

Cette concession précise, de plus, un débit minimum de restitution de 140 l/s.





*Photo 1. Seuil et prise d'eau sur le Talent*



*Photo 2. Canal d'aménée*



*Photo 3. Canal d'aménée, dégrilleur et départ de la conduite en écoulement libre*



*Photo 4. Tronçon court-circuité du Talent*

## Données de base

Les constantes de base suivantes sont considérées :

Accélération de la pesanteur	$g$	$\text{m/s}^2$	9.806
Température moyenne de l'eau	$T_{\text{eau}}$	$^{\circ}\text{C}$	10
Masse volumique de l'eau à 10°C	$\rho$	$\text{kg/m}^3$	999.7

## HYDROLOGIE

### Courbe des débits classés, année 1992-2005

Une station de mesures, située à Chavornay, à moins de 3 km en aval de Bavois, et gérée par le SE-SA, compile les moyennes journalières des débits du Talent depuis 1992.

Le Talent présente:

- une période de basses eaux en été et de hautes eaux en hiver (cf. Figure 2),



- un débit minimum journalier de 114 l/s, mesuré en juin 1993,
- un module annuel minimum de 640 l/s, correspondant à l'année 2005,
- un module interannuel de 1.12 m<sup>3</sup>/s,
- un module annuel maximum de 1.74 m<sup>3</sup>/s.

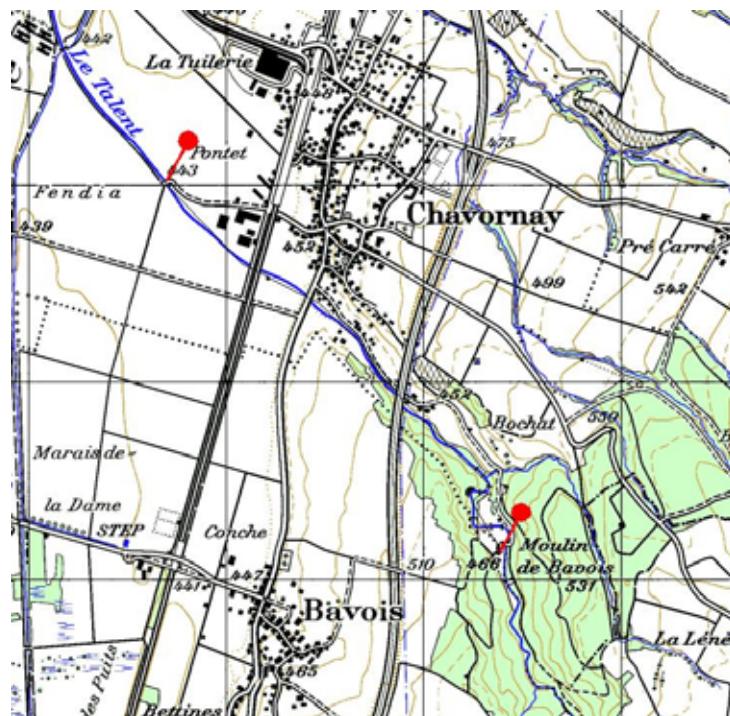


Figure 1. Carte du Talent, avec repérage du Moulin de Bavois et de la station de mesure des débits à Chavornay

On supposera que les apports d'eau entre le Moulin de Bavois et la station de mesure sont négligeables.

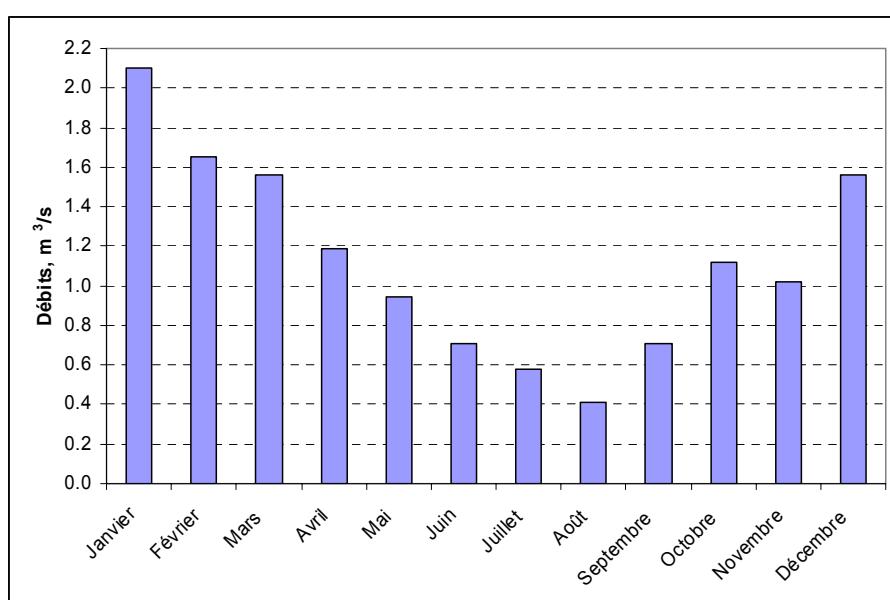


Figure 2. Débits mensuels moyens du Talent pour les années 1992 – 2005 (source: Sesa)

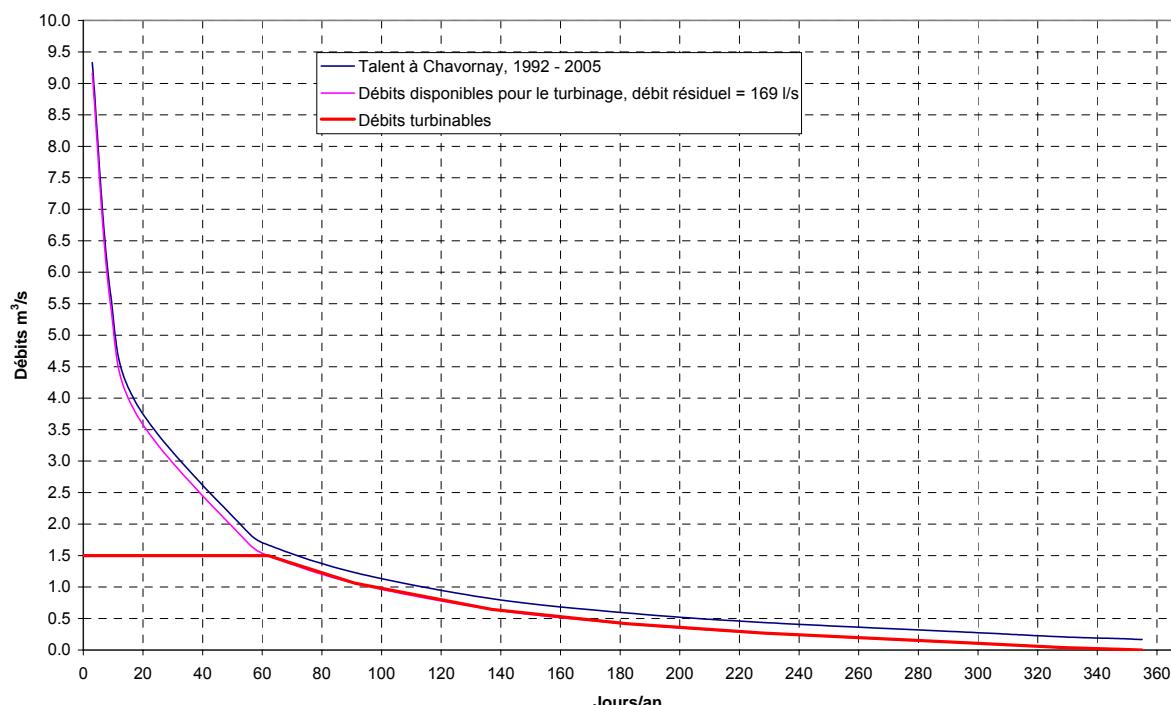


La Figure 3 montre la courbe moyenne des débits classés du Talent pour les années 1992 à 2005.

D'après l'article 31 de la Loi fédérale sur la protection des eaux (Leaux), le **débit résiduel** dépend du débit atteint ou dépassé 347 jours dans l'année, qui est ici de 181 l/s pour les années 1992 à 2005. Or, pour un débit compris entre 160 et 500 l/s, le **débit résiduel** est égal à 160 l/s auquel est ajouté 4.4 l/s par tranche de 10 l/s, soit **169 l/s**.

$$Q_r = 160 + \frac{181 - 160}{10} \cdot 4.4 = 169 \text{ [l/s]}$$

Cette valeur, supérieure au débit de 140 l/s précisé dans le droit d'eau de 1979, est prise en compte dans la suite des calculs, étant entendu que le projet prévoit une augmentation du débit concédé. Elle devra être validée par les autorités compétentes.



*Figure 3. Courbes des débits classés pour le Talent, des débits disponibles pour le turbinage et des débits maximaux turbinables*

Face à la courbe des débits disponibles pour le turbinage (prenant en compte un débit résiduel de 169 l/s), **le débit d'équipement maximal envisageable est de 1.5 m<sup>3</sup>/s**, atteint ou dépassé plus de 60 jours dans l'année. De plus, le turbogroupe ne pourra fonctionner plus de 350 jours par an en moyenne vu les débits disponibles pour le turbinage.

## Historique

Une campagne de mesures<sup>1</sup> des débits au niveau de la station de mesure actuelle a été réalisée par l'Institut de Génie Rural de l'EPFL de 1978 à 1982.

La Figure 4 présente les courbes des débits classés pour différentes années pour les deux campagnes de mesures: 1978-1982 et 1992-2005. La première campagne considère une année hydrologique du 1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre, tandis que la deuxième considère une année civile du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre.

<sup>1</sup> Le Talent à Chavornay, débits classés de la période 1978-1982, fréquence des débits réservés et de turbinage au lieu dit "Moulin de Bavois", J-F. Jaton, V. Jost, Institut de Génie rural, EPFL, Lausanne, juillet 1983.



La Figure 5 présente les débits moyens annuels pour les deux campagnes de mesure.

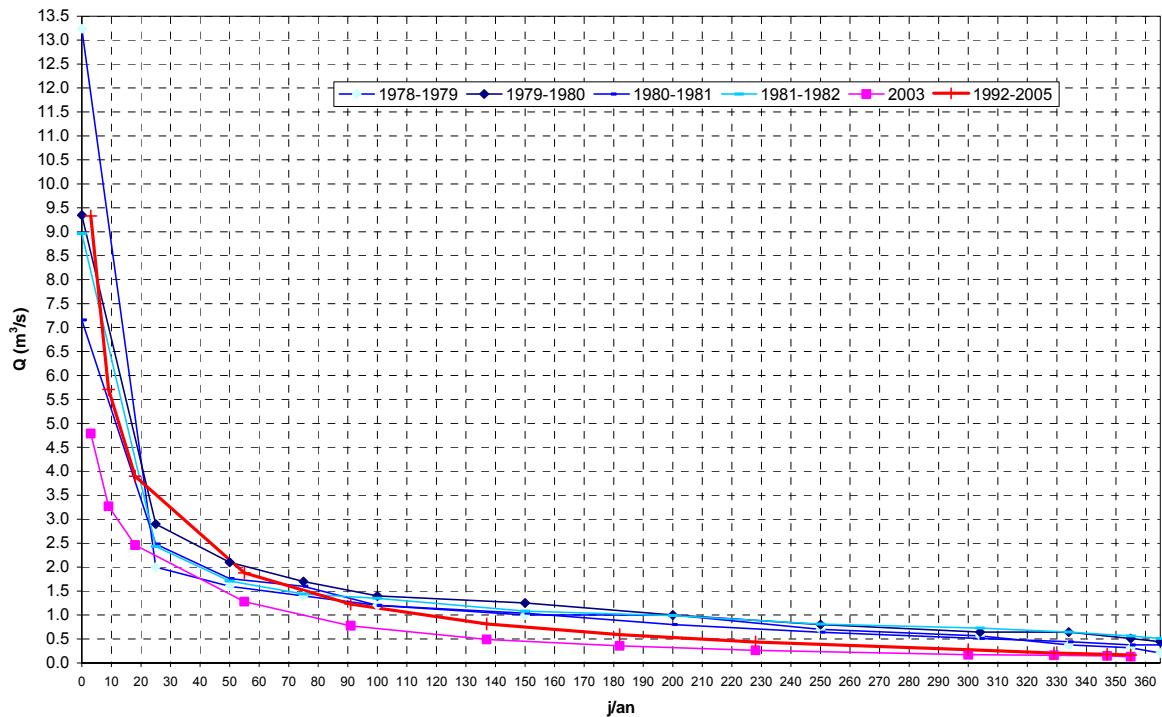


Figure 4. Courbes des débits classés pour le Talent pour les deux campagnes de mesures de débits (1978-1982 et 1992-2005)

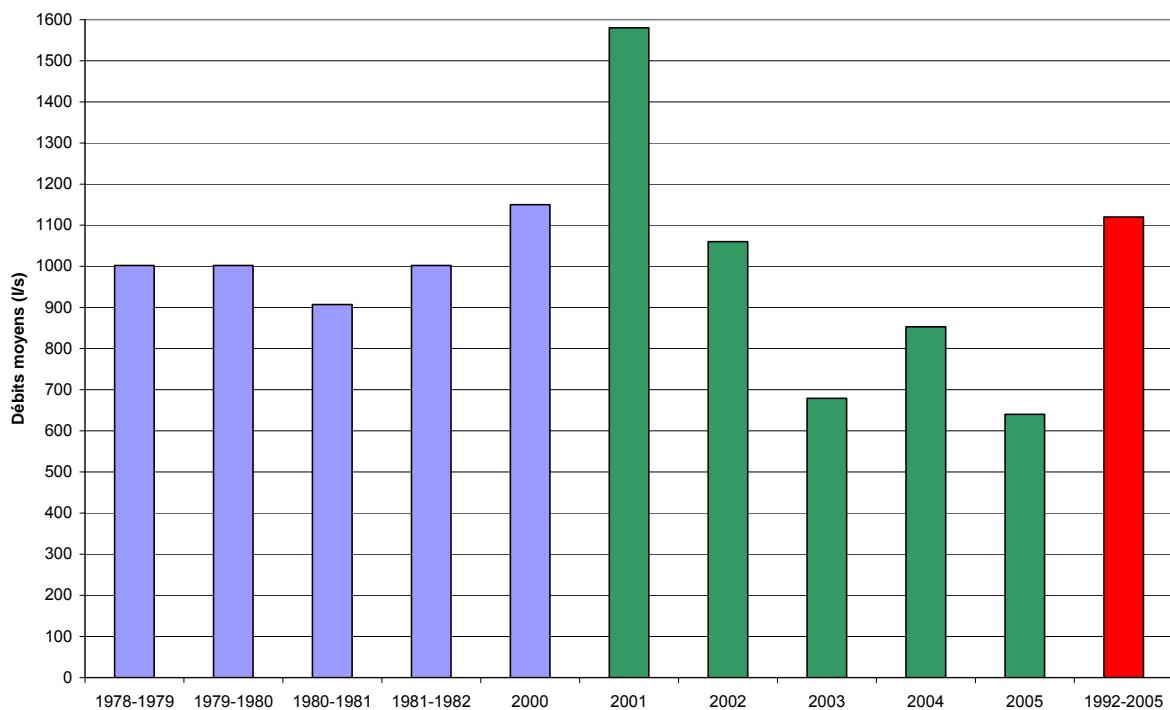


Figure 5. Débits moyens pour les deux campagnes de mesures de débits (1978-1982 et 1992-2005)

Ainsi, il s'avère que la première campagne de mesures est cohérente avec les mesures réalisées actuellement. Le régime hydrologique du Talent n'a donc pas varié de manière significative depuis 1978.



Les calculs se baseront ici sur la moyenne des débits classés 1992-2005.

## DÉBIT MAXIMAL TURBINABLE EN FONCTION DE L'INFRASTRUCTURE ACTUELLE

L'objectif étant de limiter les travaux de génie civil et d'intégrer le nouveau turbogroupe au site de manière optimale, il s'agit de déterminer le débit maximal pouvant transiter dans le canal d'aménée et les conduites existantes.

### Débit maximal du canal d'aménée

En considérant les dimensions moyennes du canal d'aménée (2.0 m de largeur pour 0.8 mètre de profondeur) et la pente, le débit maximal pouvant transiter dans le canal est supérieur à 1.5 m<sup>3</sup>/s (précisément de 1.6 m<sup>3</sup>/s pour une hauteur d'eau de 80 cm).

De plus, afin de réduire les remous de surface, la vitesse d'approche dans le canal d'aménée doit être au maximum de  $v_0 = 1.2 \text{ m/s}$ .

$$Q_{\max} = S_{\text{canal amenée}} \cdot v_0 \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Avec:  $S_{\text{canal amenée}}$ : section verticale du canal d'aménée  $[\text{m}^2]$

Largeur moyenne du canal d'aménée: 2.0  $[\text{m}]$

Hauteur d'eau maximale: 0.8  $[\text{m}]$

Donc:  $Q_{\max} = 1.9 \quad [\text{m}^3/\text{s}]$

**Ainsi, compte tenu du débit maximal d'équipement de 1.5 m<sup>3</sup>/s, le canal d'aménée existant n'est pas limitant en terme de débits.**

Toutefois, vu son état actuel, celui-ci devrait être renforcé de manière notamment à assurer la stabilité du terrain.

### Débit maximal des conduites

La conduite installée comprend deux tronçons:

- tronçon 1: en écoulement libre, de 600 mm de diamètre interne,
- tronçon 2: en charge, de 400 mm de diamètre interne.

Le tronçon 1 a un débit maximal de **412 l/s** défini notamment par sa pente. Ainsi, **son maintien en écoulement libre n'est pas envisageable**.

Il s'agit donc de calculer le débit maximal pouvant transiter dans la conduite actuelle mise en charge (ce qui est possible vu la faible dénivellation de 0.45 m).

Le débit maximal pouvant transiter dans une conduite forcée est défini par la perte de charge, l'objectif étant d'obtenir un **rendement de conduites d'au moins 95 %** par rapport à la dénivellation de référence considérée, à ce stade, comme celle de la concession, soit **15.16 m**.

Vu l'état des deux conduites existantes, on suppose une **rugosité de 0.5 mm**, correspondant à une conduite en place depuis plusieurs dizaines d'années.

L'équation suivante, basée sur la formule de Colebrook, permet d'évaluer la perte de charge des deux conduites.

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

avec:  $H_r$  = perte de charge au débit transitant  $[\text{m}]$

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

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

Le tableau suivant donne les principales caractéristiques des conduites actuelles.



Conduites		1	2
Diamètre interne	mm	600	400
Longueur	m	118	40
Rugosité (estimée)	mm	0.5	0.5
Dénivellation de référence	m	15.16	15.16
Coefficient de perte de charge, kHr	s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup>	2.4	6.7
Rendement minimal des conduites	%	95	95
Perte de charge maximale totale	m	0.76	0.76
<b>Débit maximal dans les conduites</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>0.56</b>	<b>0.34</b>

Tableau 1. Caractéristiques des conduites actuelles en charge

Il s'avère que les conduites en charge sont plus contraignantes que le canal d'amenée, limitant le débit à 0.57 m<sup>3</sup>/s pour la première (aujourd'hui en écoulement libre) et 0.34 pour la deuxième (aujourd'hui en charge), vu les exigences de rendement. Elles devront donc être changées.

Il est à noter que les conduites sont adaptées à un débit de 300 l/s, maximum fixé par la concession actuelle.

### Débit maximal du canal de fuite

Le turbogroupe actuel, situé sur la berge du Talent, débite directement dans la rivière, et ne dispose pas de canal de fuite.

### VARIANTES DE DÉBIT D'ÉQUIPEMENT

En considérant la courbe des débits classés et l'infrastructure, trois variantes de débit d'équipement seront étudiées ici de manière à comparer les productions et la taille des installations:

- **Variante 1:** débit d'équipement de 1.5 m<sup>3</sup>/s, atteint ou dépassé 60 jours dans l'année,
- **Variante 2:** débit d'équipement de 1.2 m<sup>3</sup>/s, atteint ou dépassé 80 jours dans l'année,
- **Variante 3:** débit d'équipement de 1.0 m<sup>3</sup>/s, atteint ou dépassé 100 jours dans l'année.

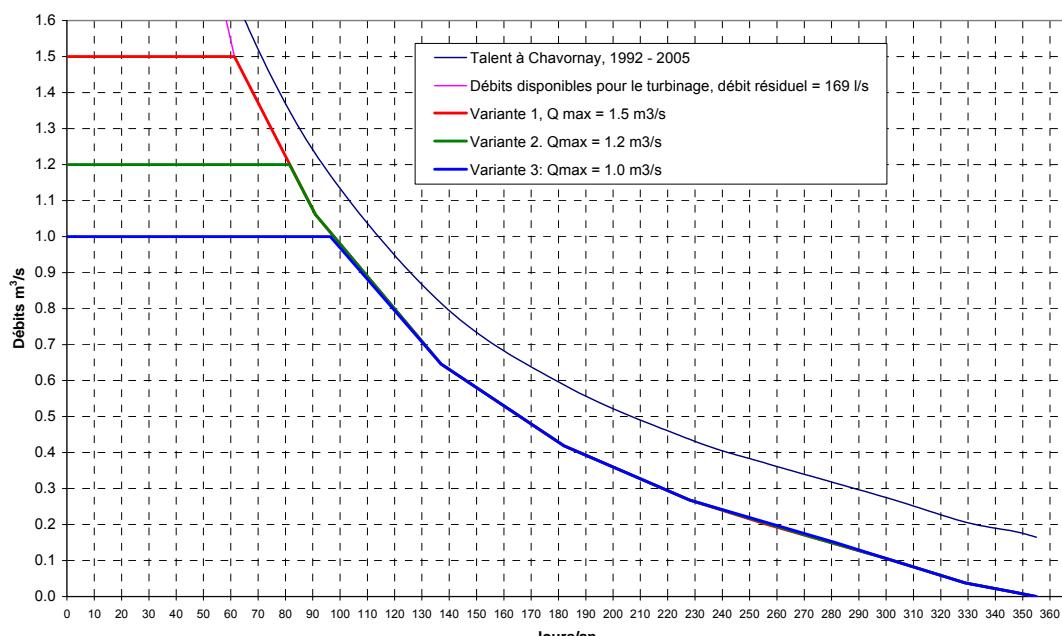


Figure 6. Courbes des débits classés pour le Talent, des débits disponibles pour le turbinage et des débits maximaux turbinables selon les variantes



## DÉNIVELLATION EXPLOITABLE

Les altitudes ont été relevées sur site par le bureau RWB SA en mars 2007.

### Deux variantes de niveau d'eau amont

Deux variantes de dénivellation seront ici étudiées en fonction du niveau amont:

- **variante A:** le canal d'amenée, de 366 m de longueur, et la conduite, de 156 m de longueur, sont remplacés par une conduite forcée de plus de 500 m de longueur, dont la mise en charge se fera au niveau du seuil ; le niveau d'eau amont correspond alors à la crête du barrage soit **473.23 m**,
- **variante B:** le canal d'amenée est maintenu en écoulement libre, et la mise en charge se fait au niveau du dégrilleur actuel, soit une nouvelle conduite de 156 m de longueur et un niveau d'eau amont de **472.20 m**.

Les avantages de la variante A sur la variante B sont les suivants:

- augmentation de la chute disponible,
- consolidation du terrain, le canal d'amenée étant au pied d'une colline,
- simplification de l'entretien:
  - de nombreuses feuilles se retrouvent dans le canal d'amenée aujourd'hui, vu l'environnement forestier,
  - des limons s'accumulent dans le canal actuel, nécessitant un curage régulier,
- protection de la maison face aux crues et au gel.

### Evolution de la dénivellation en fonction du débit du Talent

Le tableau suivant donne les bases de la détermination de l'évolution de la dénivellation en fonction du débit de la rivière pour les 2 variantes de niveau d'eau amont.

La variation du niveau d'eau aval en fonction du débit du Talent est de l'ordre des  $458.8 \pm 1.2$  m.

Date				1979	03.03.1980	janvier 2001
Débit de la rivière	$Q_{riv}$	$m^3/s$	0	0.5	2.5	23.9
Remarques			Niveau aval = fond du Talent	hypothèse de débit	donnée	hautes eaux exceptionnelles plans de 1980
Niveau d'eau aval	$Z_2$	m	457.60	457.90	458.50	460.00

#### Variante A

Niveau d'eau amont	$Z_{0A}$	m	473.23	473.23	473.23	473.33
Dénivellation	$\Delta Z_A$	m	15.63	15.33	14.73	13.33

#### Variante B

Niveau d'eau amont	$Z_{0B}$	m	472.20	472.20	472.20	472.20
Dénivellation	$\Delta Z_B$	m	14.60	14.30	13.70	12.20

Tableau 2. Bases de la détermination de l'évolution de la dénivellation en fonction du débit du Talent

Avec une mise en charge de la conduite à 472.2 m, la dénivellation est de  **$13.4 \pm 1.2$  m**, alors que pour une mise en charge au niveau du seuil, la dénivellation devient  **$14.4 \pm 1.2$  m**, soit un gain de plus de 7 %.

Finalement, pour un débit d'équipement de  $1.500\ m^3/s$ , ce qui correspond à un débit du Talent de



1.669 m<sup>3</sup>/s (le débit résiduel étant de 169 l/s), la dénivellation est de :

- 14.9 m pour la variante A1,
- 13.9 m pour la variante B1.

Le Tableau 3 présente les dénivellations pour chaque variante.

Variantes		A1	B1	A2	B2	A3	B3
Débit maximal	m <sup>3</sup> /s	1.5	1.5	1.2	1.2	1.0	1.0
Dénivellation maximale à Q <sub>max</sub>	m	14.9	13.9	15.0	14.0	15.1	14.1

Tableau 3. Dénivellation maximale pour chaque variante de débit d'équipement et de conduite

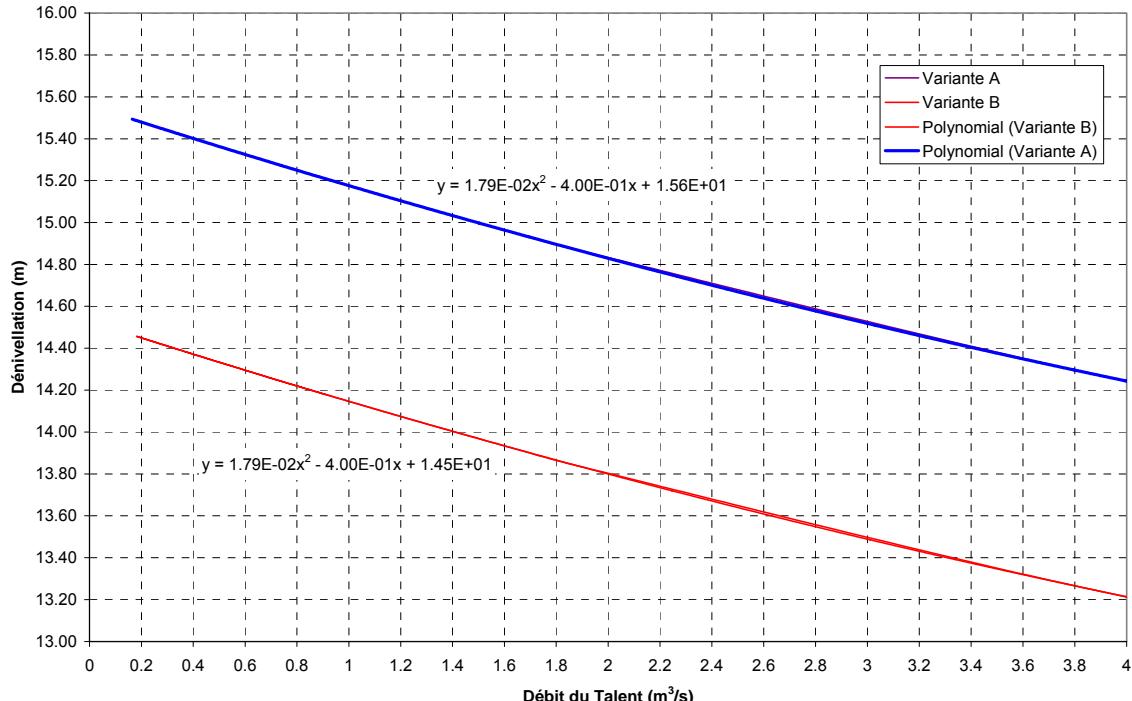


Figure 7. Evolution de la dénivellation en fonction des débits du Talent pour les deux variantes

## Conduite forcée et chute nette

### DÉTERMINATION DU DIAMÈTRE INTERNE DE LA NOUVELLE CONDUITE

Le tableau suivant donne les caractéristiques de la nouvelle conduite pour les différentes variantes, de manière à obtenir un rendement de conduite supérieur à 95 % pour chaque variante de débit d'équipement, sur la base du raisonnement exposé au paragraphe 0.

Le tracé de la nouvelle conduite est proche de l'actuel (se reporter au plan de situation et à celui de la centrale en annexe).

Pour les variantes A, la longueur de la conduite est de 495 m, compte tenu de la prise d'eau (voir le plan de la prise d'eau – coupe E-E – en annexe).



Variantes		A1	B1	A2	B2	A3	B3
Tronçons (*)		0+1+2	1+2	0+1+2	1+2	0+1+2	1+2
<b>Diamètre interne</b>	<b>mm</b>	<b>1200</b>	<b>900</b>	<b>1100</b>	<b>900</b>	<b>1000</b>	<b>800</b>
Longueur	m	495	156	495	156	495	156
Rugosité (estimée)	mm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Dénivellation maximale à $Q_{\max}$	m	14.9	13.9	15.0	14.0	15.1	14.1
Débit maximal	$\text{m}^3/\text{s}$	1.5	1.5	1.2	1.2	1	1
Coefficient de perte de charge, $K_{Hr}$	$\text{s}^2/\text{m}^5$	0.2	0.3	0.4	0.3	0.6	0.5
Perte de charge	m	0.5	0.7	0.5	0.4	0.6	0.5
Chute fonction de la perte de charge	m	14.5	13.2	14.5	13.6	14.5	13.5
Rendement de la conduite au débit max	%	97	95	97	97	96	96

Tableau 4. Détermination du diamètre interne de la nouvelle conduite pour chaque variante

(\*): Les tronçons sont définis comme suit:

- le tronçon 0, de 346 m de longueur, correspond au canal d'amenée actuel,
- le tronçon 1, de 118 m de longueur, correspond à la conduite actuelle en écoulement libre,
- le tronçon 2, de 38 m de longueur, correspond à la conduite forcée actuelle.

Suivant les débits d'équipement, la **variante A** nécessite la pose de **495 m de conduite de 1000, 1100 ou 1200 mm** de diamètre interne, tandis que la **variante B** correspond à une **conduite de 156 m de 800 ou 900 mm** de diamètre interne.

Il est entendu que la variante B demande de plus, le renforcement du canal d'amenée existant.

## CALCUL DE LA CHUTE NETTE

Face à la précision de l'évolution de la dénivellation en fonction des débits du Talent, la perte de charge dans les infrastructures autres que la conduite (prise d'eau, dégrilleur, etc) est négligée.

Finalement, la chute nette, prenant en compte la perte de charge dans la conduite et la perte cinétique en sortie d'aspirateur de la turbine, peut être calculée comme suit:

$$H(Q_t) = \Delta Z(Q_t) - K_{Hr} Q_t^2 - \frac{\left(v \cdot \frac{Q_t}{Q_{\max}}\right)^2}{2g}$$

Avec:  $H(Q_t)$ : chute nette au débit turbiné [m]

$Q_{\max}$ : débit d'équipement, soit 1.5, 1.2 ou 1.0 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\Delta Z (Q_t)$ : dénivellation fonction du débit turbiné et de celui du Talent [m]

$K_{Hr}$  : coefficient de perte de charge (cf. Tableau 4) [ $\text{s}^2/\text{m}^5$ ]

$v$ : vitesse en sortie d'aspirateur, soit 2 [m/s]

La vitesse de 2 m/s est généralement considérée comme optimale pour assurer un bon fonctionnement du diffuseur.

Il en résulte une énergie cinétique maximale perdue correspondant à 0.2 m à la sortie de l'aspirateur de la turbine.



Variante		A1	B1	A2	B2	A3	B3
Débit d'équipement	m <sup>3</sup> /s	1.5	1.5	1.2	1.2	1.0	1.0
Niveau d'eau amont	m	473.2	472.2	473.2	472.2	473.2	472.2
Niveau d'eau aval minimal	m	458.3	458.3	458.2	458.2	458.1	458.1
Dénivellation maximale	m	14.9	13.9	15.0	14.0	15.1	14.1
Perte de charge dans la conduite	m	0.5	0.7	0.5	0.4	0.6	0.5
Chute nette maximale	m	14.3	13.0	14.3	13.4	14.3	13.3

Tableau 5. Chute nette pour chaque variante

## Installation d'une nouvelle turbine

### PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU TURBOGROUPE POUR CHAQUE VARIANTE

Vu la dénivellation et la courbe des débits classés, le choix d'une turbine axiale Kaplan à 6 pales mobiles et à distributeur fixe s'impose.

Le dimensionnement de la turbine prend en compte les critères suivants:

- la répartition des rendements en fonction des débits et des chutes disponibles est optimale,
- le diamètre de roue est minimal, et la vitesse de rotation pour une génératrice en prise directe est maximale (pas de multiplicateur de vitesse), afin de limiter la taille du turbogroupe, de favoriser son intégration au site, et de limiter les coûts,
- la turbine ne risque aucun problème de cavitation, ce qui est un point important vu la dénivellation.

De plus, il s'avère que le choix d'installer deux turbines n'est pas pertinent en terme de taille et de coûts, la taille d'une turbine avec un débit nominal de 1.5 m<sup>3</sup>/s étant raisonnable.

Le Tableau 6 présente les principales caractéristiques du turbogroupe pour les 6 variantes.

Les variantes A1, B1 et B2 sont relativement semblables avec un diamètre externe de roue de 640 à 660 mm, et une vitesse de rotation de 600 t/min, soit une différence de coût pour le turbogroupe faible. L'Annexe 5 présente le croquis d'encombrement de la variante A1.

Les 3 autres variantes, A2, A3 et B3 sont relativement semblables avec un diamètre externe de roue de 540 à 560 mm, et une vitesse de rotation de 750 t/min, soit une différence de coût pour le turbogroupe faible.

Ces 3 dernières variantes (A2, A3, B3) sont moins encombrantes que les 3 premières, et correspondent à un coût de turbogroupe inférieur.



Variante		A1	B1	A2	B2	A3	B3
Altitude niveau amont	$Z_0$ (m)	473.2	472.2	473.2	472.2	473.2	472.2
Altitude niveau aval de référence	$Z_2$ (m)	458.3	458.3	458.2	458.2	458.1	458.1
Débit d'équipement	$Q_{\max}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1.5	1.5	1.2	1.2	1	1
Dénivellation de référence	DZ (m)	14.9	13.9	15.0	14.0	15.1	14.1
Diamètre interne de la conduite	mm	1200	900	1100	900	1000	800
Coefficient de perte de charge	$KH_r$ ( $\text{s}^2/\text{m}^5$ )	0.2	0.3	0.4	0.3	0.6	0.5
Chute nette maximale à $Q_{\max}$	$H_n$ (m)	14.3	13.0	14.3	13.4	14.3	13.3
Type de turbine		Axiale, distributeur fixe, pales réglables					
Nombre de pales	(-)	6	6	6	6	6	6
Débit minimal	$Q_{\min}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.27	0.27	0.23	0.23	0.20	0.20
Energie massique à $Q_{\max}$	g H (J/kg)	140	128	140	131	140	131
Ouverture du distributeur fixe	(°)	27.5	32.5	32.5	27.5	30.0	30.0
Hauteur d'aspiration maximale	$H_s$ (m)	3.6	2.8	1.2	4.7	3.7	3.4
<b>Diamètre externe de la roue</b>	<b><math>D_e</math> (mm)</b>	<b>660</b>	<b>640</b>	<b>560</b>	<b>640</b>	<b>540</b>	<b>540</b>
<b>Vitesse de rotation</b>	<b>N' (t/min)</b>	<b>600</b>	<b>600</b>	<b>750</b>	<b>600</b>	<b>750</b>	<b>750</b>
Puissance hydraulique maximale	$P_h$ (kW)	210	192	168	157	140	131
Rendement maximal de la turbine	%	90.9	90.8	90.7	90.8	90.8	90.9
Rendement des paliers	%	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Puissance mécanique maximale	$P_m$ (kW)	187	173	152	143	127	118
Rendement maximal de la génératrice	%	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1
<b>Puissance électrique maximale</b>	<b><math>P_e</math> (kW)</b>	<b>172</b>	<b>159</b>	<b>139</b>	<b>131</b>	<b>117</b>	<b>108</b>
Production hydraulique nette	$E_h$ (kWh/an)	765'000	703'000	689'000	644'000	627'000	583'000
<b>Production électrique</b>	<b><math>E_e</math> (KWh/an)</b>	<b>531'000</b>	<b>496'000</b>	<b>499'000</b>	<b>459'000</b>	<b>463'000</b>	<b>431'000</b>
Rendement de l'installation	%	69	71	72	71	74	74

Tableau 6. Caractéristiques principales des différentes variantes



## CALCUL DE LA PRODUCTION

La production électrique annuelle,  $E_{\text{tot}}$ , est calculée par intégration de la courbe des puissances électriques classées, grâce à l'expression:

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

où  $\eta(Q_t)$  = rendement global de l'installation, produit du rendement mécanique et de celui de l'alternateur, fonction du débit [-]

Le rendement mécanique est ici défini par la formule suivante:

$$\eta_{\text{mécanique}}(Q_t) = \eta_{\text{turbine}}(Q_t) \cdot \eta_{\text{palier}}$$

avec:

- $\eta_{\text{turbine}}(Q_t)$  : rendement de la turbine, fonction du débit turbiné (cf. Figure 9) et de la chute disponible (cf. Figure 10),
- $\eta_{\text{palier}}$  : rendement des paliers, fixé à 0.99 quels que soient le débit turbiné et la chute disponible,

D'où:

$$\eta_{\text{mécanique}}(Q_t) = 0.99 \cdot \eta_{\text{turbine}}(Q_t)$$

Il est à noter que la chute disponible pour la turbine augmente lorsque le débit de la rivière diminue, donc lorsque le débit turbiné diminue (dans le cas où le débit disponible pour le turbinage est inférieur au débit d'équipement). Ainsi, pour les chutes maximales turbinables, le rendement de la turbine sera faible car correspondant à un débit turbiné faible (cf. Figure 10).

Le rendement de la génératrice est donné selon des débits relatifs au débit d'équipement, comme montré sur la Figure 8, avec un maximum à 93.1 %.

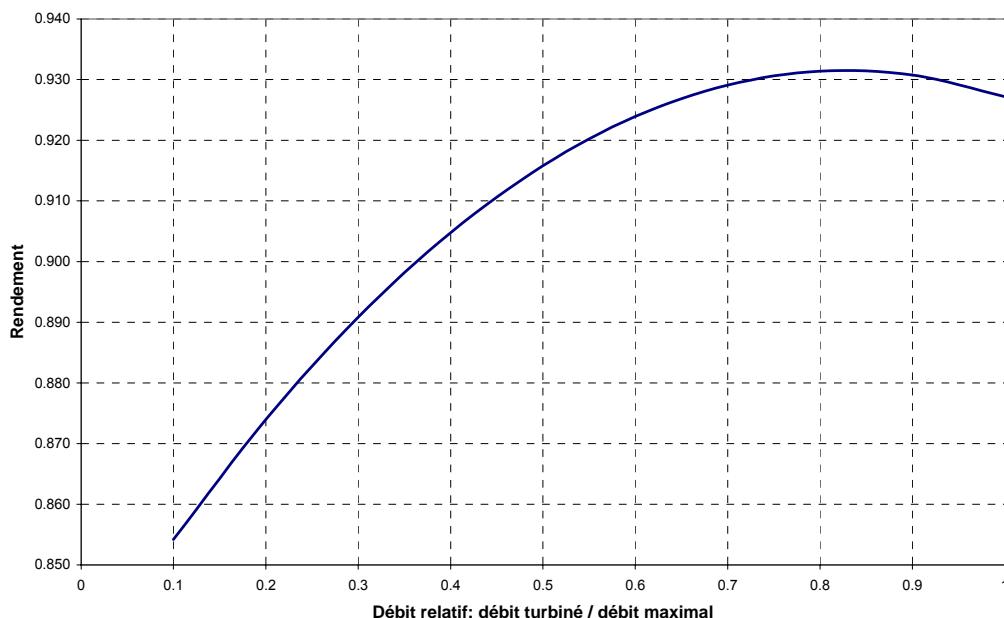


Figure 8. Courbe-type de rendement de la génératrice

La Figure 11 montre le graphe des puissances classées pour les différentes variantes, la surface délimitée par les courbes représentant l'énergie.

Le Tableau 6 présente l'énergie hydraulique et la production électrique pour chaque variante.

Compte tenu des hypothèses d'évolution de la dénivellation en fonction du débit du Talent, et des différentes variantes de débit d'équipement et de conduite la production électrique annuelle moyenne varie entre **431'000 et 531'000 kWh/an**.



L'installation devrait fonctionner en moyenne entre **228 et 257 jours par an**, le débit minimal turbiné étant de **200 à 270 l/s** selon les variantes.

Jusqu'au 60<sup>ème</sup> jour, la production de la variante 1 est en augmentation, compte tenu du fait que le débit turbiné est de 1.5 m<sup>3</sup>/s pour une chute qui augmente tandis que le débit de la rivière diminue.

Le passage d'un débit d'équipement de 1.0 m<sup>3</sup>/s à 1.2 m<sup>3</sup>/s, et de 1.2 m<sup>3</sup>/s à 1.5 m<sup>3</sup>/s, permet un gain de production de l'ordre des **30'000 à 38'000 kWh/an**, soit entre 6 et 8 % selon les variantes de conduite.

Il s'avère que le remplacement du canal d'amenée par une conduite forcée entraîne un gain de l'ordre des **32'000 à 42'000 kWh/an**, soit entre 7 et 9 % de gain, selon les variantes de débits d'équipement.

Compte tenu des travaux de renforcement et de maintenance du canal d'amenée pour faire transiter des débits supérieurs à 1 m<sup>3</sup>/s (soit plus de 50 cm d'eau dans le canal en moyenne), vu les talus en molasse qui ont tendance à s'éroder et la nécessité d'évacuer les feuilles, seules **les variantes A1, A2, A3, correspondant à un remplacement du canal d'amenée par une conduite forcée sont finalement retenues**.

**La variante A1 correspondant à un débit d'équipement de 1.5 m<sup>3</sup>/s et à une conduite forcée en DN 1200, est la plus intéressante, du point de vue de la production.**



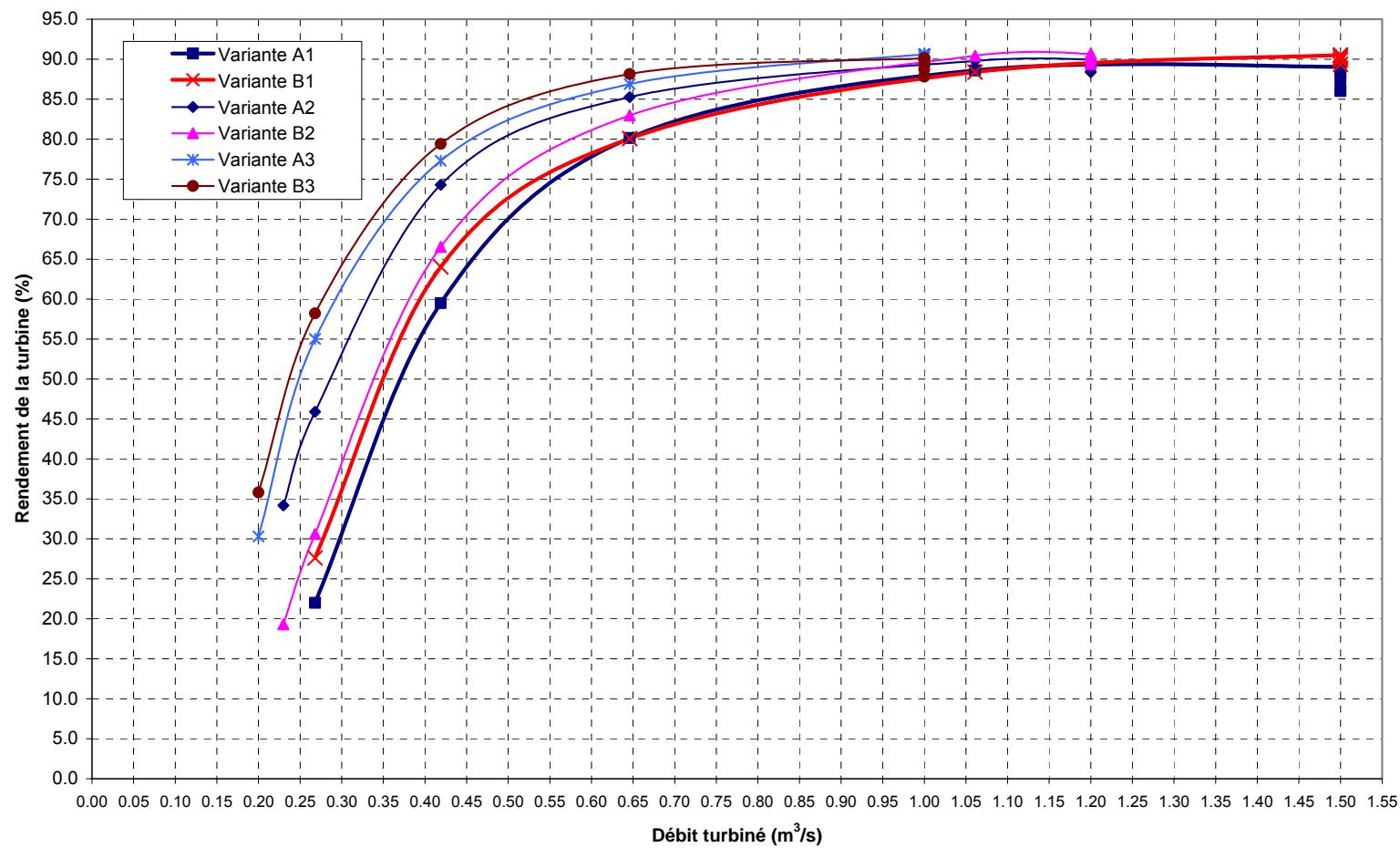


Figure 9. Evolution du rendement turbine en fonction du débit disponible pour chaque variante



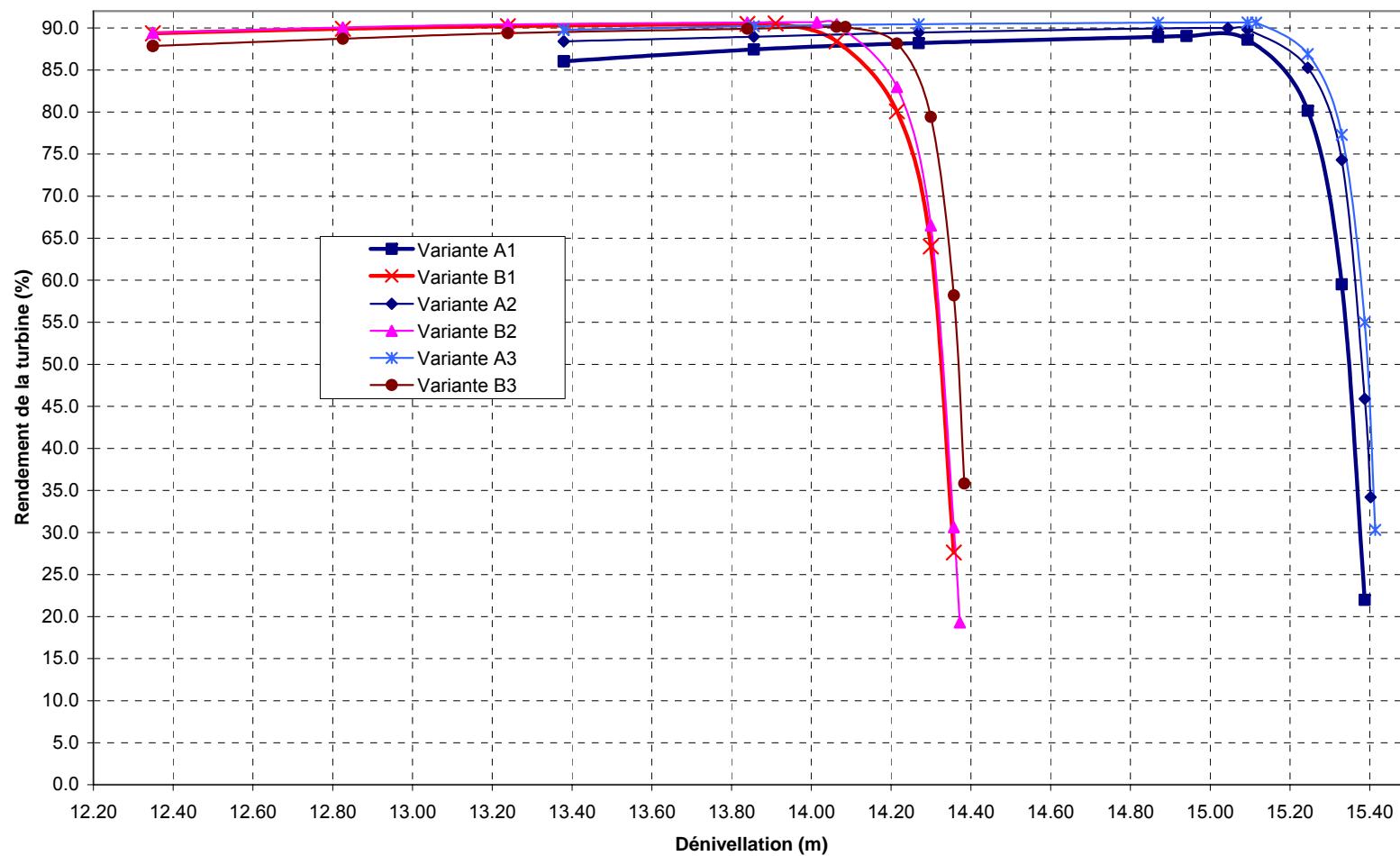


Figure 10. Evolution du rendement turbine en fonction de la dénivellation disponible pour chaque variante



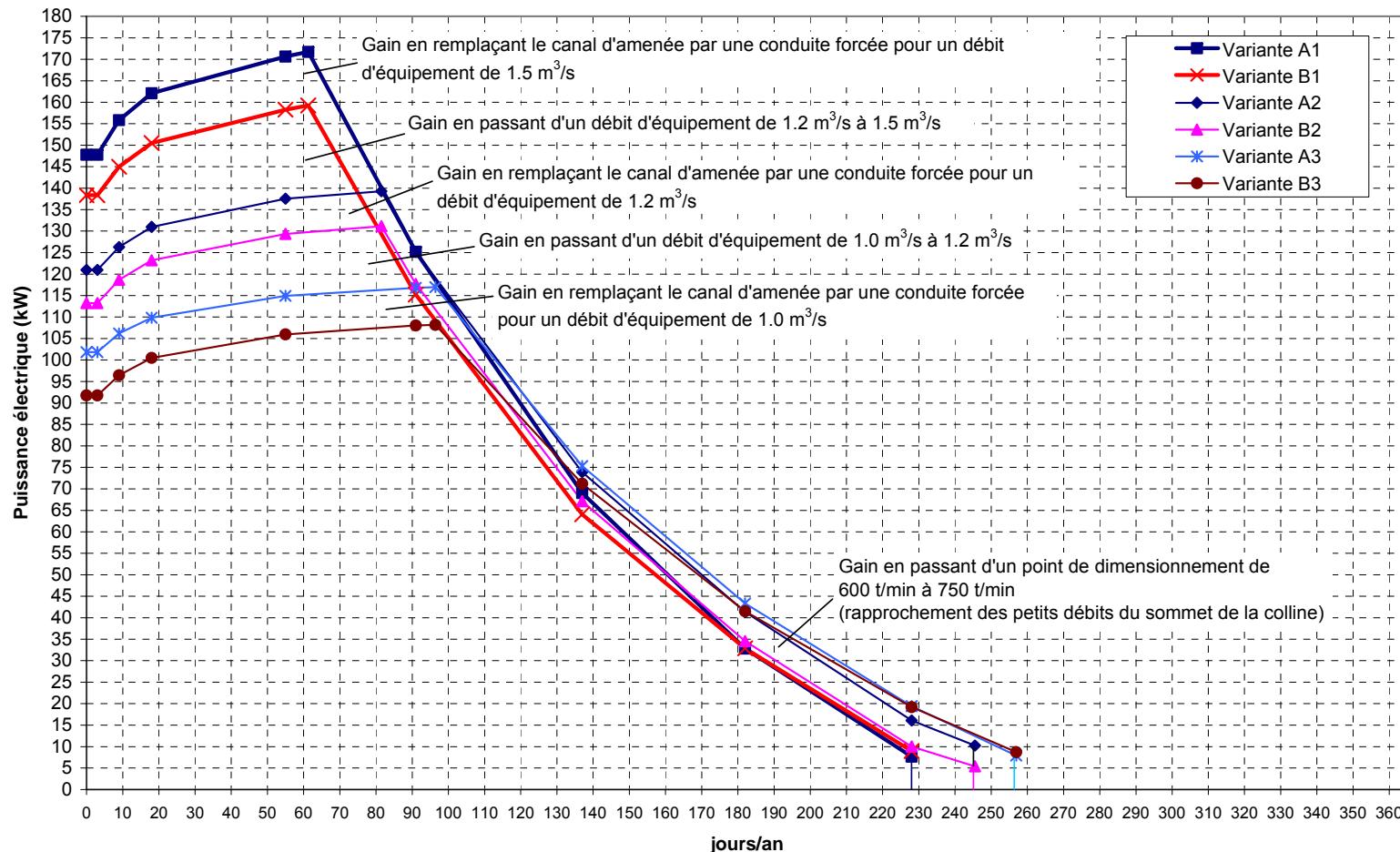


Figure 11. Courbe des puissances électriques classées de la nouvelle turbine axiale pour chaque variante



## Etude économique

Cette étude économique, visant à départager les variantes A1, A2 et A3, a pour but d'approcher le prix de revient du kWh électrique **à plus ou moins 20%**.

Tous les coûts sont donnés hors taxe.

## INVESTISSEMENTS

### Electromécanique

Pour le turbogroupe, l'estimation des coûts, résumée dans le Tableau 7, a été faite en se basant sur des aménagements semblables. Compte tenu des vitesses de rotation et donc des diamètres externes de roue (cf. Tableau 6), elle considère deux groupes de prix.

Variantes	A1	A2, A3
Turbogroupe	270'000	240'000
Contrôle-commande	50'000	50'000
<b>Total pour le turbogroupe complet</b>	<b>320'000</b>	<b>290'000</b>

Tableau 7. Investissement en électromécanique (CHF)

Pour le raccordement électrique, l'estimation des coûts, résumée dans le Tableau 8 correspond à une offre budgétaire de Romande Energie, datée du 15.06.07 pour les coûts de raccordement électrique, communs à toutes les variantes.

Matériel	Nouvelle station transformatrice et câble d'alimentation en 20 kV	80'000.-
Génie civil	Autorisation, IF <sup>2</sup> , pousse tube sous le Talent et diverses ouvertures	60'000.-
Main-d'oeuvre	Etude, suivi du projet et montage sur le terrain	34'000.-
<b>Total</b>		<b>174'000.-</b>

Tableau 8. Investissement pour le raccordement électrique (CHF) commun à toutes les variantes

### Génie civil

Le Tableau 9 présente les coûts de génie civil communs aux 3 variantes A, en excluant ceux de la conduite, présentés quant à eux dans le Tableau 10.

Le turbogroupe des variantes A2 et A3 étant moins encombrants, les coûts relatifs au local de turbinage seront moins élevés. Toutefois, à ce stade de l'étude, cette différence est négligée (précision de ± 20 %).

<sup>2</sup> IF: Inspection Fédérale des installations à courant fort (ESTI)



		Unité	Métrés	PU	total
Lit rivière	curage amont	j	6	1'000	6'000
	fond	m <sup>2</sup>	200	50	10'000
Prise d'eau	terrassement	m <sup>3</sup>	150	20	3'000
	béton armé	m <sup>3</sup>	180	300	54'000
	grille	p	1	3'000	3'000
	batardeau	p	4	5'000	20'000
	grille plate	p	1	10'000	10'000
Centrale	démolition ancienne	m <sup>3</sup>	40	100	4'000
	béton armé	m <sup>3</sup>	280	300	84'000
	Serrurerie (*)	gl	1	10'000	10'000
<b>Total génie civil (hors conduite)</b>					<b>204'000</b>

Tableau 9. Investissement en génie civil (CHF) commun aux 3 variantes

(\*) serrurerie: pose d'une porte, d'une fenêtre et d'un caillebotis.

Variantes	Diamètre interne de la conduite	longueur	Montant	Coût total
		m	CHF/m	CHF
A1	DN 1200	495	1'600	<b>792'000</b>
A2	DN 1100	495	1'500	<b>743'000</b>
A3	DN 1000	495	1'300	<b>644'000</b>

Tableau 10. Investissement pour la nouvelle conduite pour chaque variante

### Résumé des investissements

Les frais d'ingénierie sont de l'ordre des **7.0 %** de l'investissement, soit de 100'000 CHF quelles que soient les variantes. Les divers et imprévus sont estimés à **10.0 %** de l'investissement.

Variantes	A1	A2	A3
Electromécanique	444'000	414'000	414'000
Contrôle commande	50'000	50'000	50'000
Génie civil	996'000	947'000	848'000
Frais d'ingénierie	100'000	100'000	100'000
Divers et imprévus	149'000	141'000	131'000
<b>Investissement total</b>	<b>1'739'000</b>	<b>1'652'000</b>	<b>1'543'000</b>

Tableau 11. Résumé des investissements pour chaque variante

### FRAIS D'EXPLOITATION

Les frais d'exploitation, comprenant les frais d'assurance, ainsi que les coûts de maintenance, d'entretien courant et de consommation d'énergie sont estimés à partir d'installations similaires à **15'000 CHF/an** pour chaque variante.

Le changement des paliers de l'alternateur, réalisé de manière préventive, est prévu tous les 10 ans. Les frais inhérents à cette opération sont évalués à CHF 10'000.-.

Un changement de l'ensemble du contrôle commande peut être envisagé tous les 15 ans. Le montant de cette opération est chiffré à CHF 30'000.-.

### CALCULS ÉCONOMIQUES

Les calculs économiques prennent en compte les éléments suivants:



- L'analyse économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.
- Le **taux d'intérêt** considéré dans cette étude est de **4 %.**, taux que l'on peut considérer comme prudent sur le moyen terme.
- Le modèle économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.
- L'étude économique se base sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les **durées d'amortissement** suivantes:
  - 12 ans pour le contrôle commande,
  - 25 ans pour l'électromécanique,
  - 40 ans pour le génie civil.
- La totalité de l'investissement provient soit d'un emprunt bancaire, soit de capitaux propres rémunérés au même taux.
- Le prix de revient du kWh est déterminé en divisant la somme des frais annuels (annuité fixe et frais d'exploitation) par la production électrique annuelle, et a été calculé en considérant une année moyenne.

Variantes		A1	A2	A3
Investissement total	CHF	1'739'000	1'652'000	1'543'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	15'000	15'000	15'000
Production annuelle	MWhe/an	531	499	463
Taux d'intérêt	%	4.00	4.00	4.00
Coefficient d'annuité pondéré	%	5.65	5.65	5.69
Annuité	CHF/an	99'000	94'000	88'000
<b>Prix de revient</b>	<b>cts/kWh</b>	<b>21.4</b>	<b>21.8</b>	<b>22.2</b>

Tableau 12. Calculs économiques

**La variante A1 sera ici retenue**, car correspondant à la production électrique la plus élevée, et le prix de revient le plus faible. Toutefois, lors de l'appel d'offre, une variante à  $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$  pourra être proposée.

## Description détaillée de la variante finale

### PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUE DE LA VARIANTE RETENUE

Variante		A1
Altitude niveau amont	$Z_0 (\text{m})$	473.2
Altitude niveau aval de référence	$Z_2 (\text{m})$	458.3
Débit d'équipement	$Q_{\max} (\text{m}^3/\text{s})$	1.5
Dénivellation de référence	$DZ (\text{m})$	14.9
Diamètre interne de la conduite	mm	1200
Coefficient de perte de charge	$KH_r (\text{s}^2/\text{m}^5)$	0.2
Chute nette maximale à $Q_{\max}$	$H_n (\text{m})$	14.3
Type de turbine		Axiale, distributeur fixe, pales réglables
Nombre de pales	(-)	6
Débit minimal	$Q_{\min} (\text{m}^3/\text{s})$	0.27



Energie massique à Q max	g H (J/kg)	140
Ouverture du distributeur fixe	(°)	27.5
Hauteur d'aspiration maximale	H <sub>s</sub> (m)	3.6
<b>Diamètre externe de la roue</b>	<b>D<sub>e</sub> (mm)</b>	<b>660</b>
<b>Vitesse de rotation</b>	<b>N' (t/min)</b>	<b>600</b>
Puissance hydraulique maximale	P <sub>h</sub> (kW)	210
Rendement maximal de la turbine	%	90.9
Rendement des paliers	%	99.0
Puissance mécanique maximale	P <sub>m</sub> (kW)	187
Rendement maximal de la génératrice	%	93.1
<b>Puissance électrique maximale</b>	<b>P<sub>e</sub> (kW)</b>	<b>172</b>
Production hydraulique nette	E <sub>h</sub> (kWh/an)	765'000
<b>Production électrique</b>	<b>E<sub>e</sub> (kWh/an)</b>	<b>531'000</b>
Rendement de l'installation	%	69

Tableau 13. Caractéristiques principales de la variante finale

## TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

### Bassin de captage

Le seuil crée un bassin de captage qui dirige l'eau à turbiner actuellement sur le canal d'aménée, et, à l'avenir, sur la prise d'eau.

Aujourd'hui, seul un batardeau règle le débit dans le canal d'aménée.

- Longueur : environ 12 m.
- Largeur : de 2.0 à 10.0 m

Un curage du fond sera nécessaire afin d'abaisser le lit devant la prise d'eau. Il n'est pas prévu de refaire un nouveau fond en enrochement. Les matériaux seront évacués à la décharge.

A ce stade de l'étude, rien n'est prévu sur la paroi en rocher et moellons côté route (rive droite), aujourd'hui recouverte de végétation.



Photo 5. Bassin de captage actuel

Il faudra s'assurer par des sondages lors du projet définitif du niveau de fondation de la digue, afin de ne pas la déstabiliser lors de l'abaissement du fond.



## Prise d'eau

Une nouvelle prise d'eau sera construite, et comprendra:

1. une grille grossière : largeur d'environ 2.0 m, pas de 5 à 10 cm
2. un bassin de décantation : largeur : 2.0 m, longueur à l'axe 9.40 m
3. une prise d'eau avec grille horizontale: largeur : 2.0 m, longueur : 10.0 m

A l'entrée de la prise d'eau sera installée une grille, afin de retenir les grosses branches et autres déchets volumineux. Aucun système de nettoyage automatique de cette grille n'est prévu.

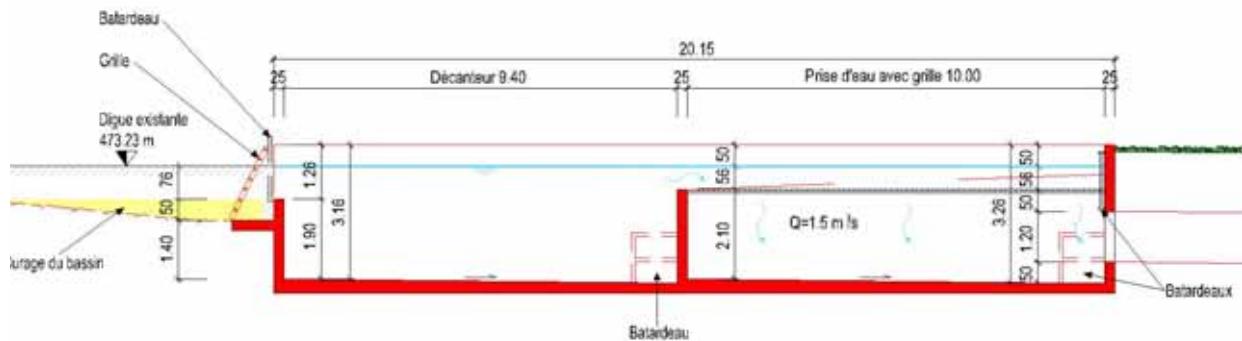


Figure 12. Profil en long de la prise d'eau (cf. Annexe 3)

Derrière la grille, se trouvera un bassin de décantation, où les matières lourdes se déposeront, au fond duquel un exutoire équipé d'un système de batardeaux permettra la vidange directement dans le lit de la rivière.

En sortie de décanteur, l'eau passera par une grille horizontale avant d'entrer dans la conduite.



Photo 6. Prise d'eau actuelle, équipée d'une grille horizontale

Ce deuxième bassin comprendra également une purge, équipée d'un batardeau située sous l'entrée de la conduite, destinée à évacuer les boues déposées.

Un système de batardeaux de révision sera également installé en entrée de conduite, afin de pouvoir l'isoler, même en cas de très hautes eaux.



## Conduite d'amenée

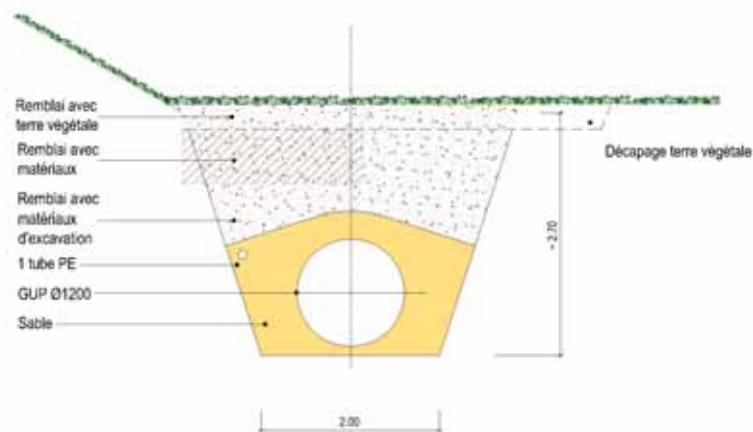


Photo 7. Coupe-type de la conduite (cf. Annexe 1)

- Diamètre : 1200 mm
- Longueur : 495 m.

La pose d'une nouvelle conduite entre la prise d'eau et le turbogroupe en lieu et place du canal d'amenée actuel évite tout entretien sur la canal à ciel ouvert actuel, face notamment aux pieds souvent érodés des talus en molasse.

A ce stade de l'étude, la conduite est prévue en GUP, ce qui correspond à de la fibre de verre renforcée, souvent avantageuse pour ce genre de diamètre. L'enrobage est prévu en sable ou autres matériaux roulés. Les matériaux d'excavation trouvés sur place pourront probablement être utilisés pour les remblais. Il n'est pas prévu d'évacuer des matériaux à la décharge, le surplus sera remis en place contre le talus existant.

Un tube en plastique (PE) est également prévu dans le remblayage, sur toute la longueur de la conduite, afin de pouvoir tirer des fils de télécommande ou câbles électriques.

Une piste de chantier devra être créée tout le long de la nouvelle conduite afin de pouvoir acheminer la conduite et les matériaux d'enrobage. Aucune fouille exécutée en rocher n'est prévue.

## Local de turbinage

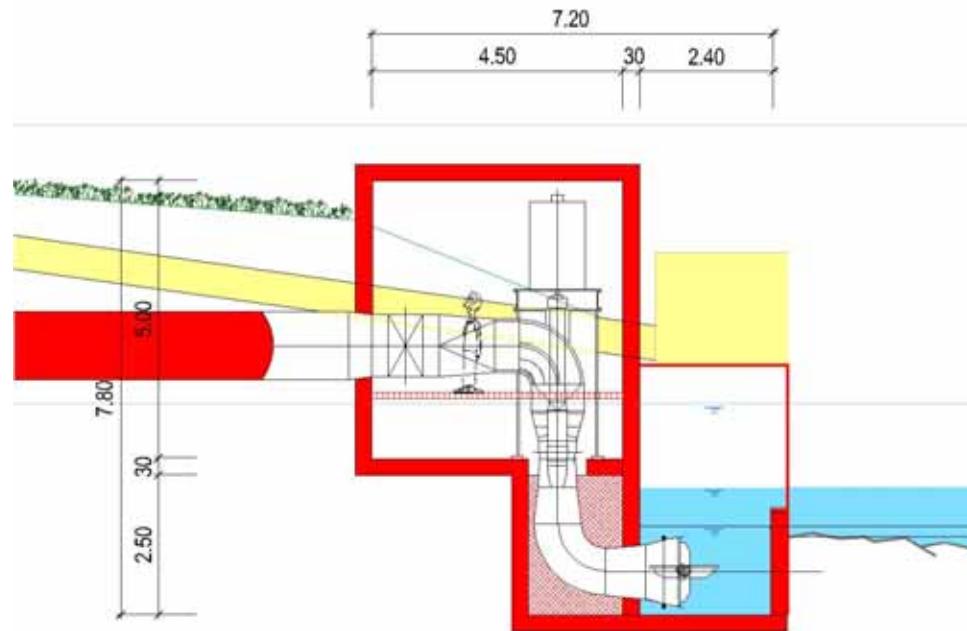
- Surface intérieure: 4.50 x 7.20 m
- Hauteur : 7.80 m

Le local existant sera entièrement démolie. Un nouveau bâtiment sera construit au même emplacement. Vu l'arrivée prévue de la conduite et l'encombrement du turbogroupe, il sera semi-enterré.

Un escalier latéral permettra l'accès au local. Aucune piste d'accès définitive pour des véhicules n'est prévue.

Ce local sera construit en béton armé et maçonnerie traditionnelle, avec un toit plat comme pour la centrale actuelle. Il n'y a pas de travaux spéciaux à entreprendre. A ce stade de l'étude, il est admis que les berges actuelles sont saines et peuvent recevoir ce local.





*Photo 8. Coupe-type de la centrale (cf. Annexe 4)*

#### **PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE**

La régulation de la turbine sera asservie à la mesure de niveau amont effectuée au niveau de la prise d'eau. Le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le niveau d'eau à la prise d'eau est inférieur au niveau de consigne, la turbine est à l'arrêt.
- Lorsque le niveau d'eau atteint celui de consigne, la turbine démarre.
- Lorsque le niveau d'eau, supérieur à celui de consigne, continue à augmenter, la turbine s'ouvre.
- Lorsque le niveau d'eau, supérieur à celui de consigne, diminue, la turbine se ferme.

#### **TURBINE**

Se reporter au croquis de principe de l'Annexe 5.

Les indications sont fournies à titre indicatif et peuvent varier en fonction du constructeur choisi. En effet, les performances de la turbine (garanties de rendement, absence de problème de cavitation, fiabilité) correspondent à une machine développée en laboratoire et pour laquelle le constructeur peut prouver indiscutablement la provenance de ses garanties.

Le choix de la turbine s'est porté sur un type saxo, dont l'entonnoir amont est à section carrée. Il répond aux exigences de forme simplifiée, de pertes de charge limitées et surtout de distribution optimale de l'énergie à l'entrée du distributeur.

L'aspirateur est dimensionné de manière à obtenir une vitesse de 2 m/s en sortie. Il est de type coudé, afin de faciliter son intégration au site, et débite dans un petit bassin attenant au Talent. Ce bassin est délimité par un muret-déversoir, qui isole la sortie de la turbine du cours d'eau, et des limons charriés par celui-ci. Ce muret, dont la crête est à 457.8 m, garantit une immersion permanente de la sortie de l'aspirateur. Il est équipé d'un système de batardeaux pour permettre son nettoyage.



## GÉNÉRATRICE

Type		synchrone
Fréquence	Hz	50
Tension triphasée aux bornes	V	400
Vitesse de rotation	t/min	600
Puissance électrique	P <sub>el</sub>	172
Cos φ		0.9
Puissance apparente	kVA	191
Classe de protection		IP23
Classe de refroidissement		IC 01

Tableau 14. Principales caractéristiques de la génératrice

Les paliers seront à roulements graissés, d'une durée de vie de 100'000 heures.

L'excitation triphasée sera à diodes tournantes, sans bague.

## VANNES, BATARDEAUX ET GRILLES DE L'INSTALLATION

Les vannes et systèmes de batardeaux à installer sont les suivants:

- A l'entrée de la prise d'eau: système de batardeaux (planches en aluminium à installer manuellement – prévoir un lieu de rangement à proximité) au niveau de la grille d'entrée, pour isoler toute la prise d'eau en cas de nettoyage ou d'arrêt de l'installation (cf. page 27, et Annexe 3).
- En fin de bassin de décantation: système de batardeaux de purge (cf. page 27, et Annexe 3).
- A l'entrée de la conduite forcée: système de batardeaux de révision pour isoler la conduite et le turbogroupe (cf. page 27, et Annexe 3).
- Sous l'entrée de la conduite forcée: purge équipée d'un batardeau pour évacuer les boues accumulées dans la prise d'eau (cf. page 27, et Annexe 3).
- A l'entrée de la turbine: éventuellement une vanne amont manuelle d'isolation de la turbine (DN 1000, PN 25).
- A la sortie de l'aspirateur de la turbine: vanne papillon automatique pour l'arrêt de la turbine.
- Sur le muret-déversoir du bassin aval: système de batardeaux pour le nettoyage du bassin.

En cas de révision de la turbine, en l'absence de vanne amont, la procédure est la suivante:

- les batardeaux sont installés en entrée de la prise d'eau,
- les batardeaux des purges sont levés,
- les batardeaux en entrée de conduite forcée sont installés,
- la vanne aval de la turbine est ouverte,
- le système de batardeaux du bassin aval n'est pas installé.

La même procédure s'applique lors d'intervention sur la prise d'eau, ou pour vider la conduite.

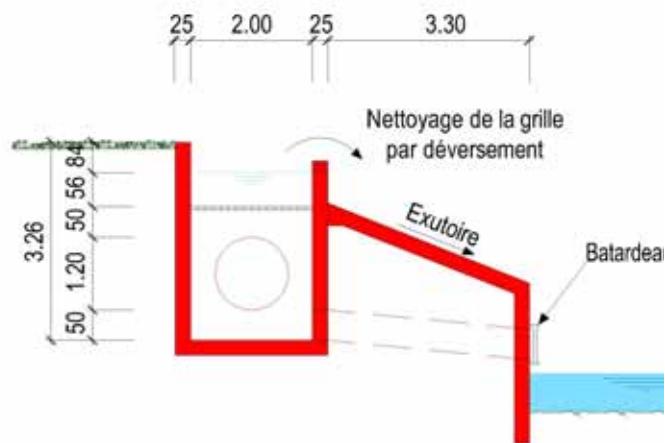
Le nettoyage de la prise d'eau est assuré par les différents systèmes de purge.

La grille horizontale de la chambre de mise en charge sera nettoyée grâce au déversement du débit résiduel et du surplus d'eau, et grâce à l'intumescence créée par la fermeture de la vanne aval de la turbine. Cette manœuvre permettra également de chasser toutes les herbes et autres végétaux collés aux distributrices et aux pales de la turbine. Le temps de fermeture de cette vanne aval sera déterminé en fonction de la résistance à la surpression de la conduite. Une automation liée à la perte de puissance (selon une consigne de puissance préprogrammée fonction des niveaux d'eau amont et aval) sera réalisée afin que la vanne aval se ferme automatiquement lorsque la grille horizontale est bou-



chée ou que d'autres matières empêchent le bon écoulement de l'eau dans la turbine.

Tous les matériaux ainsi chassés seront directement déversés dans la rivière (à environ 10 mètres en aval du seuil).



*Photo 9. Profil en travers de la prise d'eau (cf. Annexe 3)*

## CONTRÔLE COMMANDE

La petite centrale étant prévue pour fonctionner de manière entièrement automatique, sa régulation et son exploitation seront des plus simples, réduisant au minimum les interventions.

La régulation sera asservie au niveau d'eau amont. Le signal devrait être fourni en 4 – 20 mA.

La turbine pourra fonctionner en automatique ou en manuel (mise en route et couplage au réseau).

En cas de déclenchement de réseau, le redémarrage se fera de manière automatique. Il en est de même en cas d'arrêt consécutif à une alarme, si celle-ci disparaît sans intervention humaine.

Les tableaux comprendront en outre les éléments suivants :

- Commande des pales avec affichage de l'ouverture,
- Réglage de  $\text{Cos } \varphi$  (si non inclus dans l'alternateur).

Les indicateurs suivants seront à fournir :

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

Les alarmes suivantes devront être traitées :

- Niveau d'eau amont insuffisant,
- Surcharges alternateur,



- Survitesse,
- Arrêt d'urgence,
- Défaut de mise en marche,
- Roulements alternateurs,
- Bobinages,
- Retour de courant,
- Surcharge batteries,
- Défaut batterie.

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

Une régulation spéciale sera réalisée pour le nettoyage de l'installation (cf. page 30). Elle consistera à fermer la vanne aval de la turbine pour provoquer une intumescence. Elle sera commandée suivant une relation entre les niveaux d'eau amont et aval et la puissance générée comparée à une puissance de consigne.

## **DISPOSITIF DE SÉCURITÉ**

Tout dysfonctionnement de l'installation, y compris perte du réseau électrique, entraînera l'ouverture du disjoncteur principal, lequel commandera la fermeture de la vanne-papillon de l'aspirateur de la turbine, de manière à éviter l'emballlement du groupe.

## **RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE**

Le raccordement électrique de la nouvelle installation implique la construction d'une nouvelle station transformatrice et la pose d'un câble d'alimentation de 20 kV, en pousse-tube sous le Talent.

## **Conclusions, remarques et suggestions**

- La solution retenue correspond à un turbogroupe de 172 kW et générant 531'000 kWh/an pour un prix de revient de 21.4 cts/kWh. Ce turbogroupe, constitué d'une turbine de type Kaplan de 1.5 m<sup>3</sup>/s de débit d'équipement pour une chute nette de 14.3 m, implique la construction d'une prise d'eau équipée d'un système de nettoyage simple mais efficace compte tenu de la situation en Forêt du Talent, et également la pose d'une conduite forcée de 1200 m de diamètre interne, sur une longueur de 495 m.
- Face au tarif actuel de reprise de l'électricité à 15 cts/kWh, le projet s'avère ne pas être rentable. Toutefois, la révision des lois sur l'Approvisionnement en Electricité et sur l'Energie pourrait conduire pour la variante retenue de réhabilitation du Moulin de Bavois à un tarif de reprise de l'ordre des 25 cts/kWh, ce qui rend le projet financièrement intéressant.
- Une solution avec un débit d'équipement de 1.2 m<sup>3</sup>/s pourra être proposée comme variante à développer lors de l'appel d'offre. En effet, cette variante, générant 499'000 kWh/an, permet, selon des profils développés en laboratoire, une vitesse de rotation de 750 t/min (contre 600 t/min pour la solution retenue), ce qui se traduit par une machine plus petite et donc moins encombrante.
- Le niveau d'eau amont considéré ici correspond à la crête du seuil actuel (il est donc supérieur de 16 cm à celui indiqué dans la concession – 473.06 m, pour la cote de la vanne). L'élévation du seuil n'a pas ici été considérée ici compte tenu des fortes crues auxquelles sont soumis les berges du Talent.



- Il est à noter que le marché actuel des alternateurs demande un délai d'exécution de 12 à 14 mois.

## **Annexes**

Annexe 1. Plan de situation et coupes, Moulin de Bavois (source: RWB SA, juillet 2007)

Annexe 2. Profil en long, Moulin de Bavois (source: RWB SA, juillet 2007)

Annexe 3. Prise d'eau, vue en plan et coupes, Moulin de Bavois (source: RWB SA, juillet 2007)

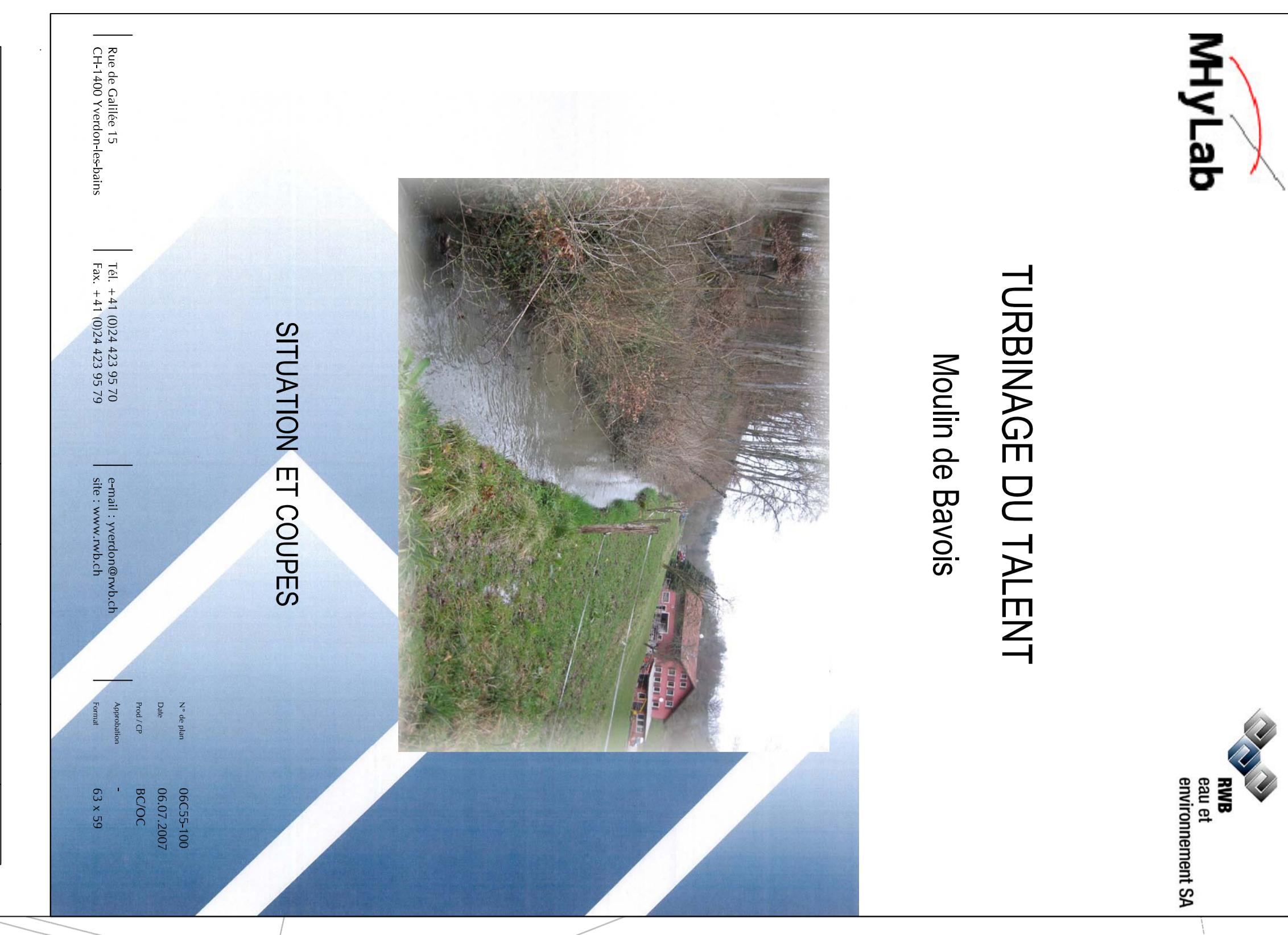
Annexe 4. Centrale, vue en plan et coupes, Moulin de Bavois (source: RWB SA, juillet 2007)

Annexe 5. Croquis d'encombrement de la turbine axiale (source: MHyLab, 04.05.07)



## TURBINAGE DU TALENT

Moulin de Bavois

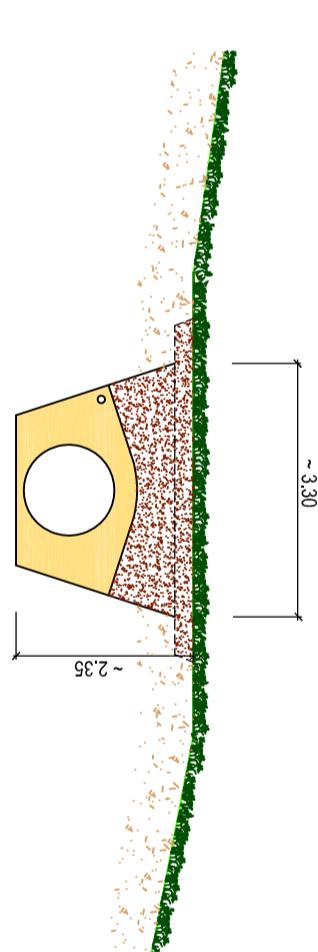


### Situation 1:1000

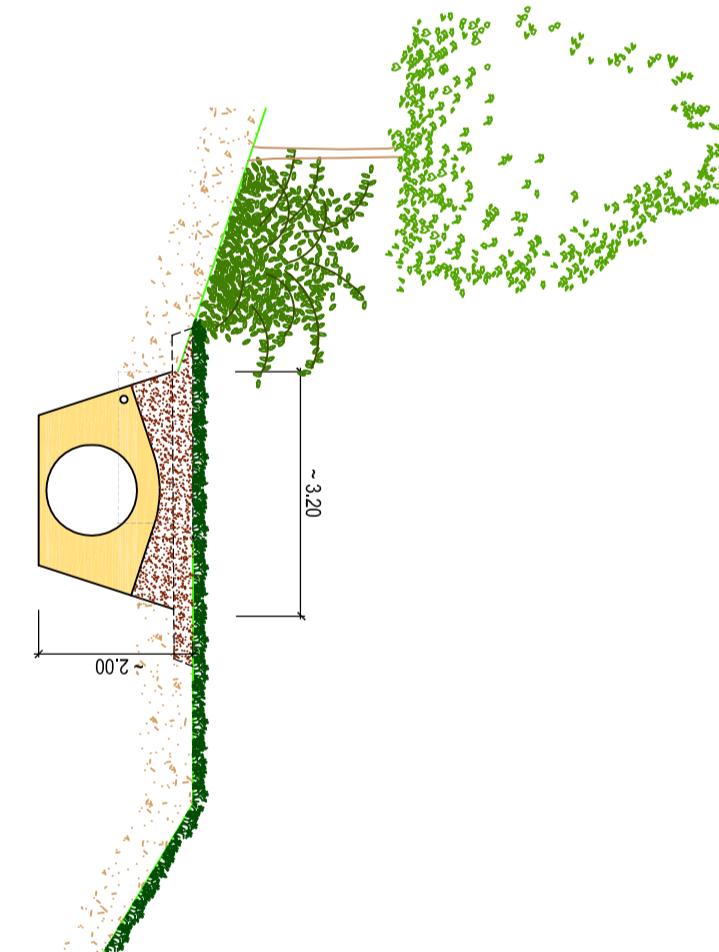
Légende

- existant
- à démolir
- à construire

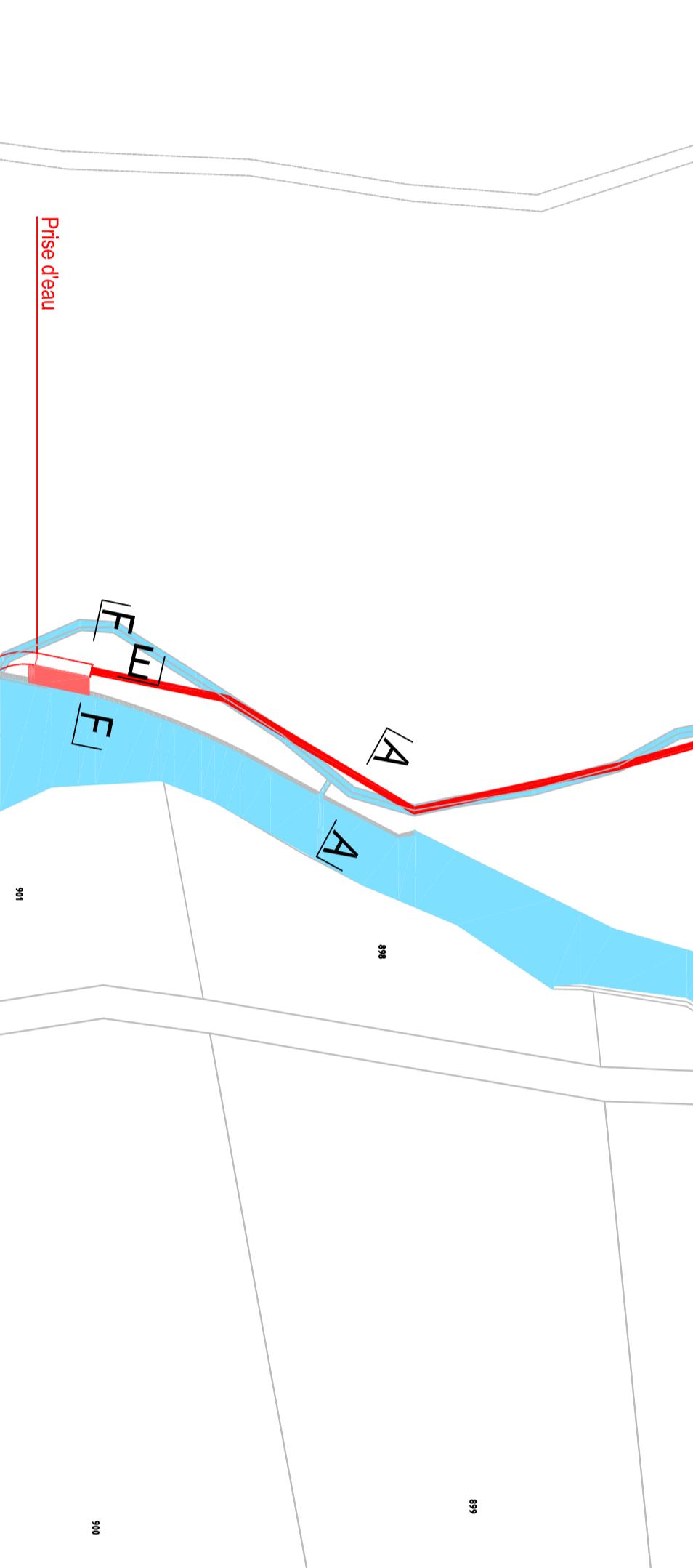
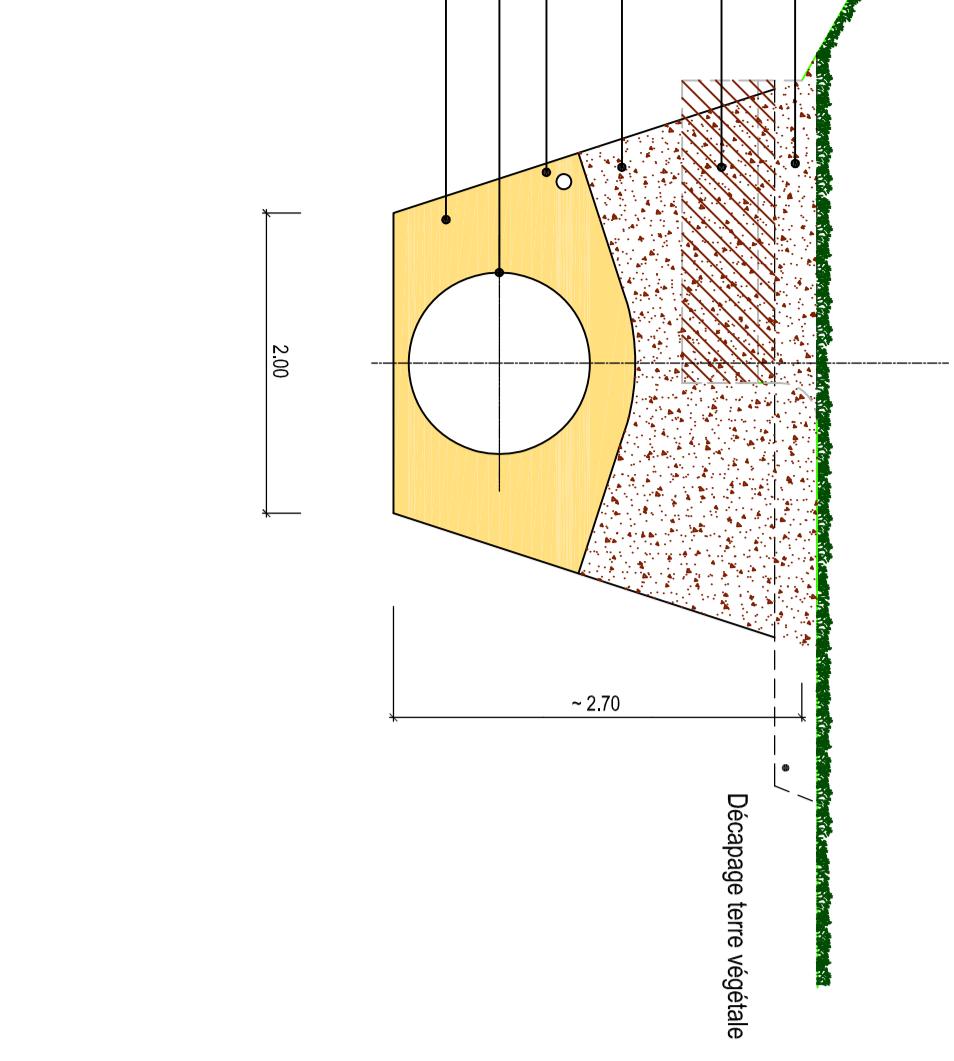
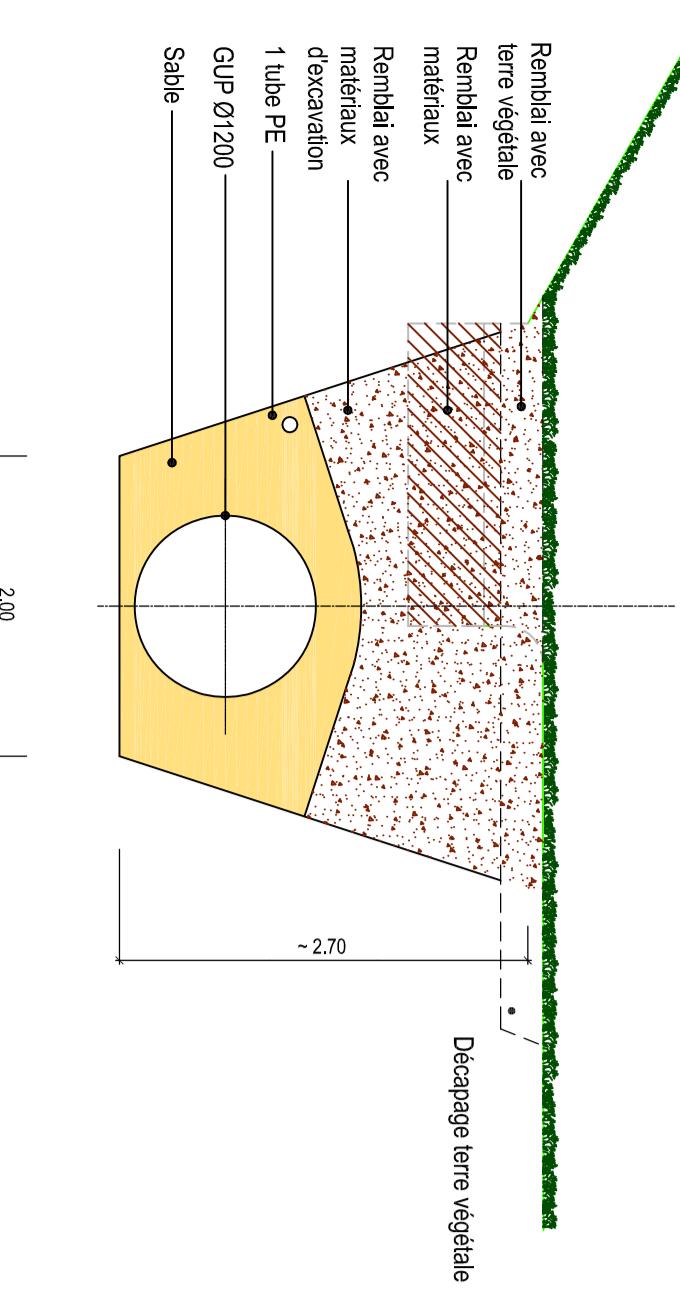
### Coupe C-C 1:100



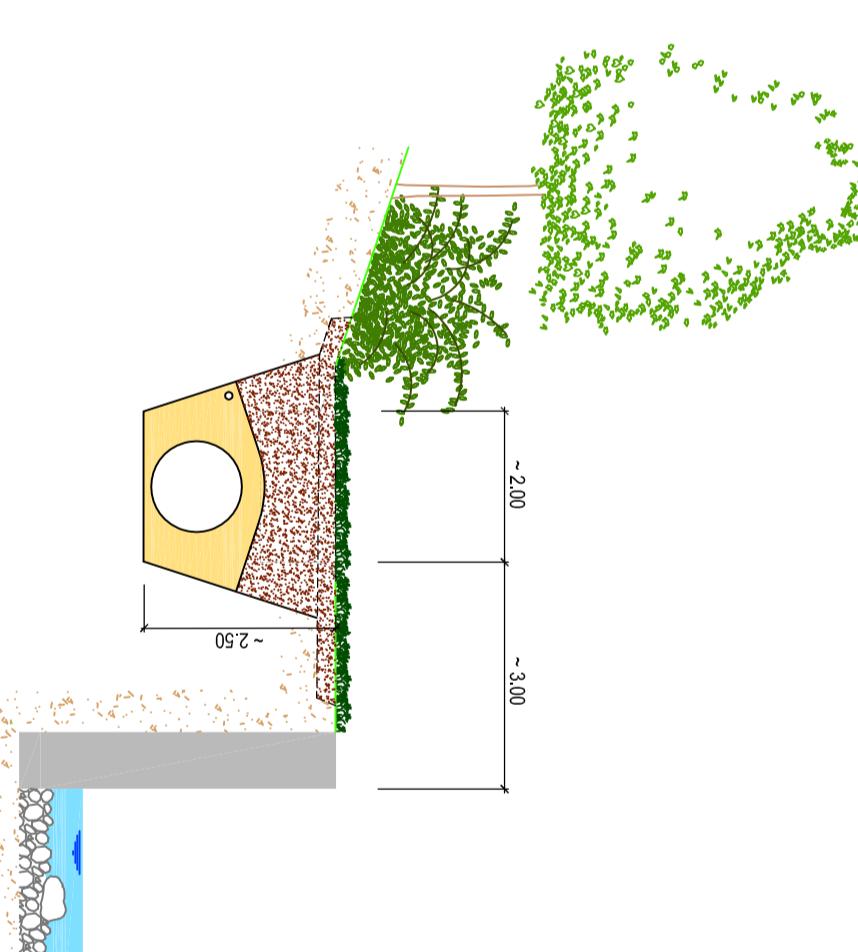
### Coupe B-B 1:100



### Coupe type 1:50

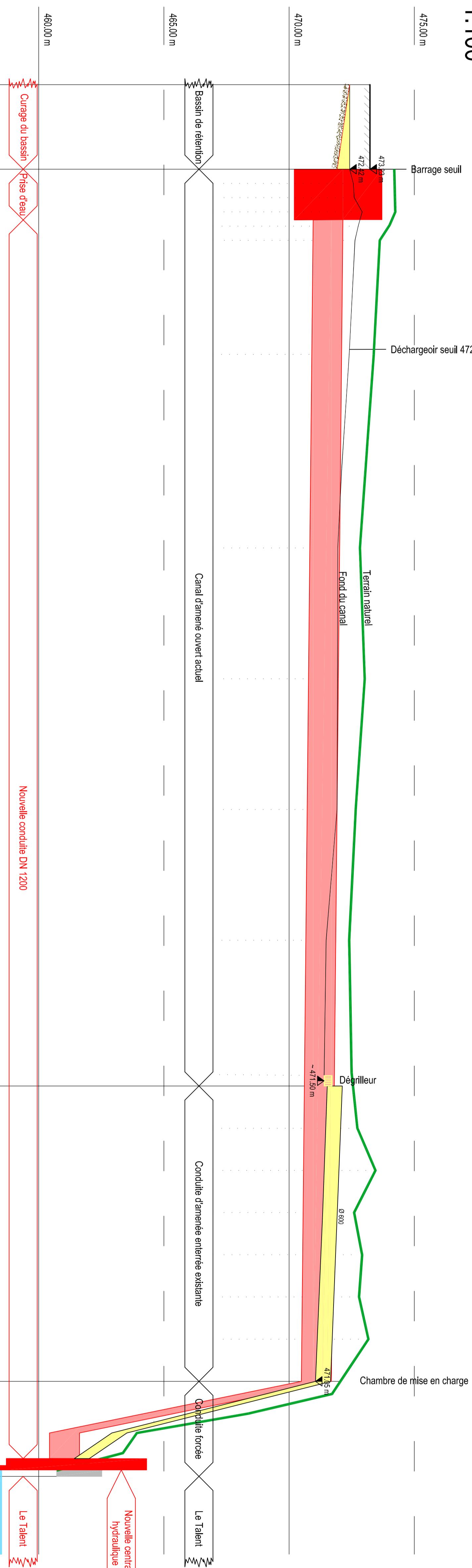


### Coupe A-A 1:100



**TURBINAGE DU TALENT**  
**Moulin de Bavois**

**Profil en long 1:1000 / 1:100**





# TURBIMAGE DU TALENT

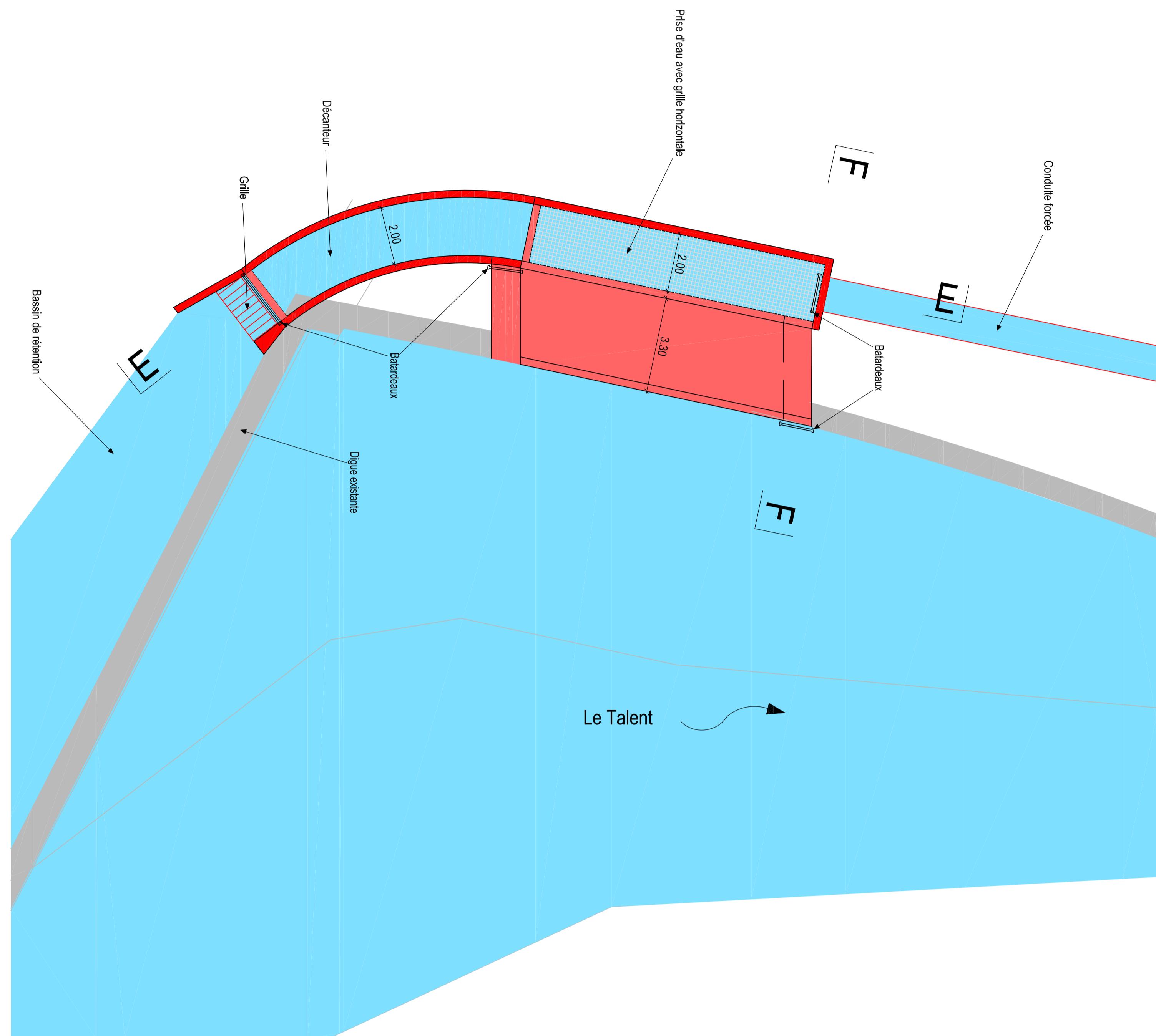
Moulin de Bavois



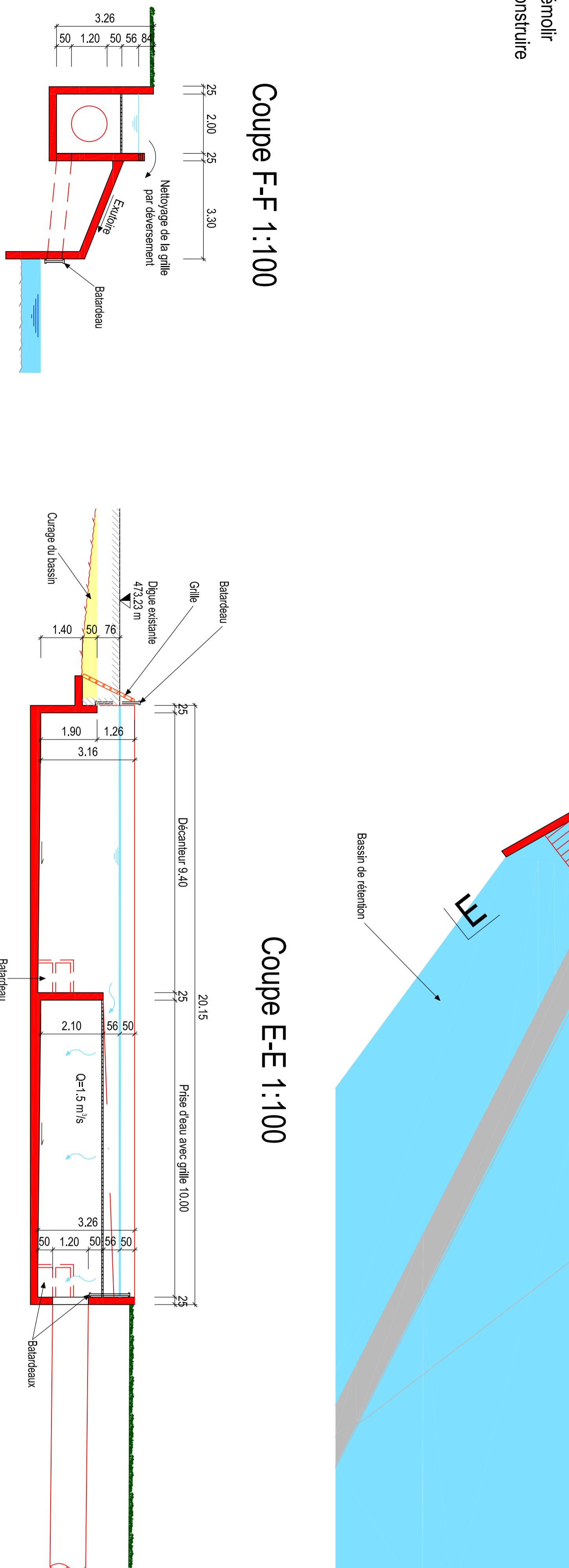


**RWB**  
eau et  
environnement SA

Vue en plan 1:100



Coupe F-F 1:100



# TURBINAGE DU TALENT

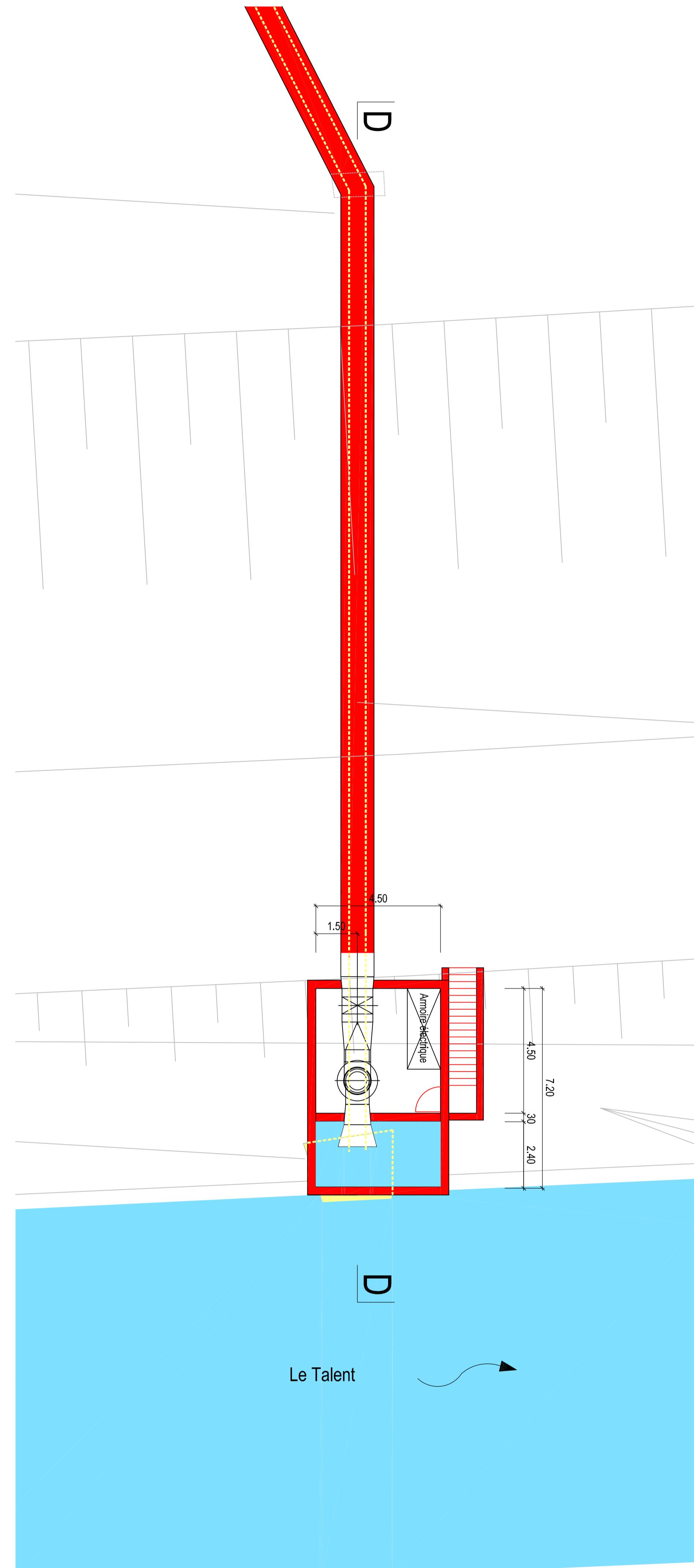
Moulin de Bavois

## CENTRALE HYDRAULIQUE

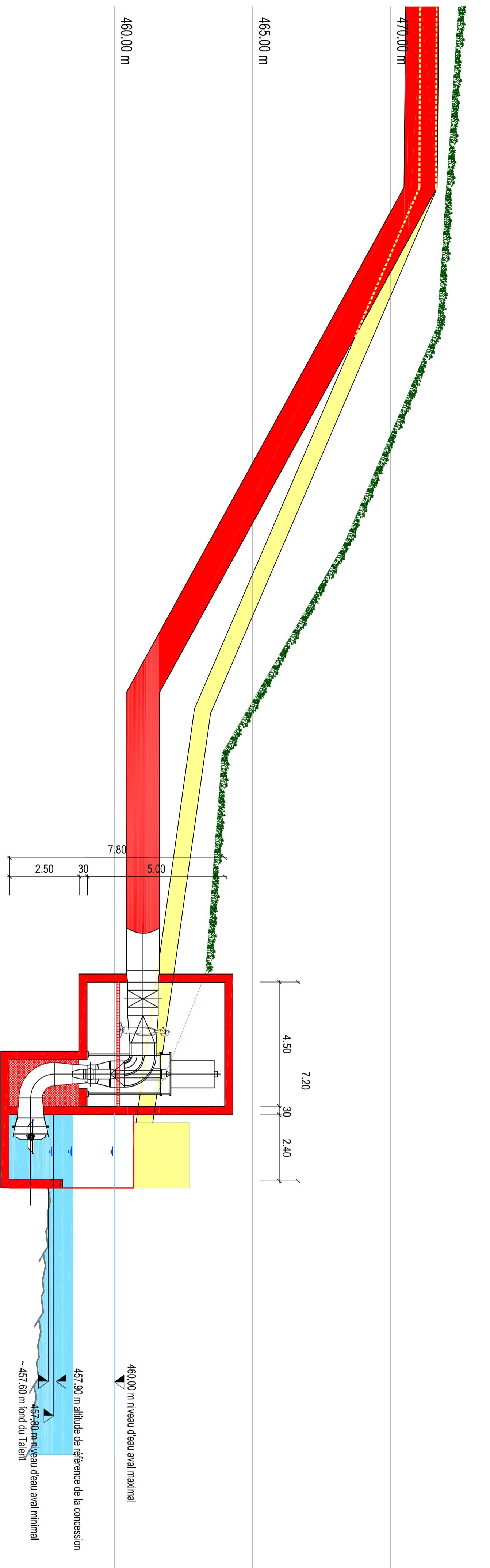
### VUE EN PLAN ET COUPE



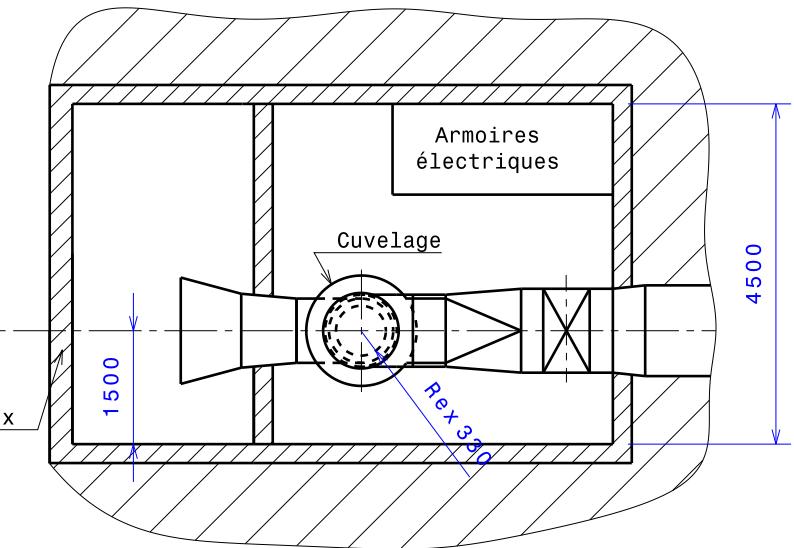
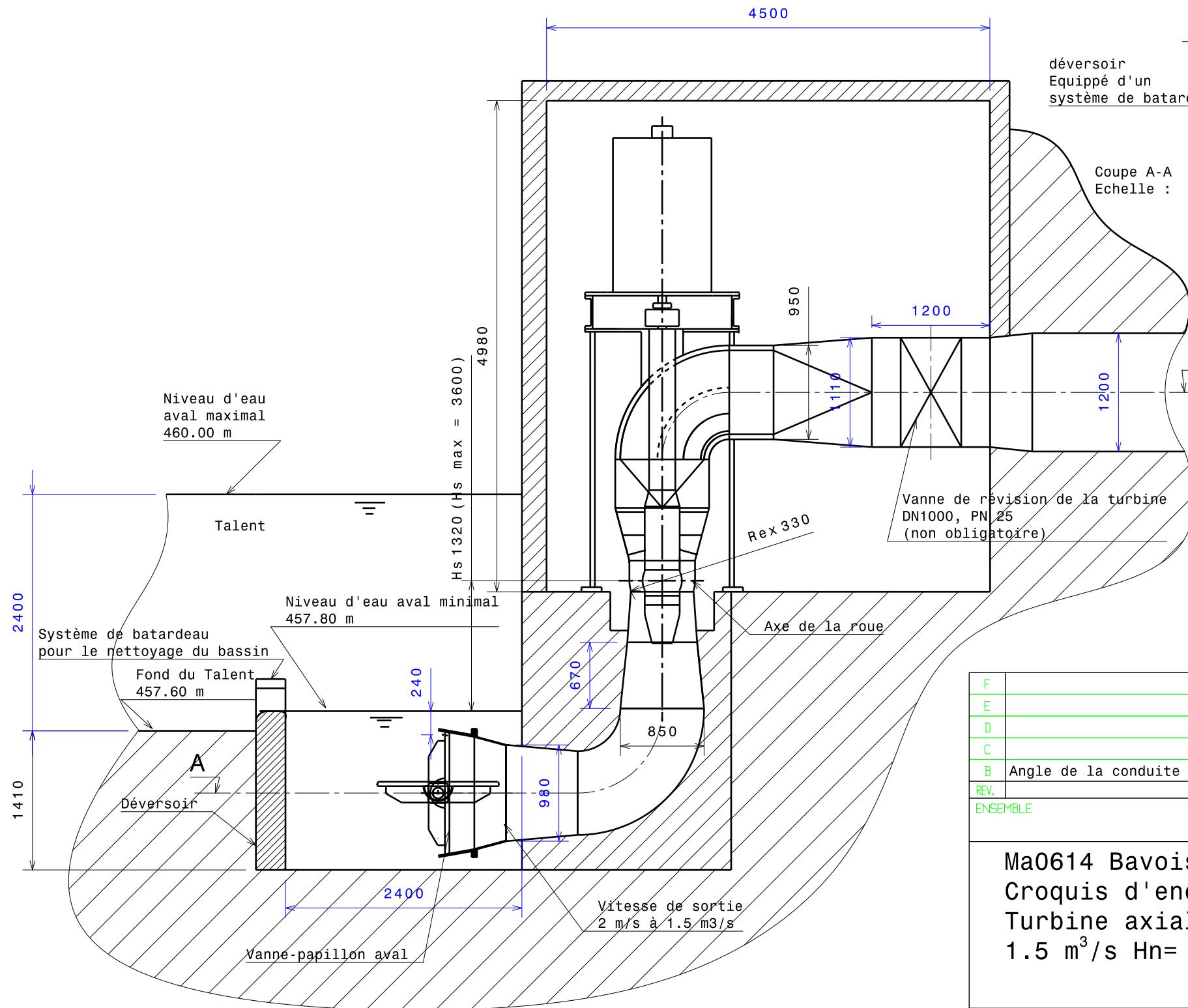
# Vue en plan 1:100



Coupe D-D 1:100



This document is the property of MHyLab and shall not be copied or disclosed to any third party without MHyLab written agreement.  
Ce document est la propriété de MHyLab et ne doit pas être copié ou transmis à un tiers sans l'accord écrit de MHyLab.



Pour information uniquement  
Non valable pour exécution