



RÉHABILITATION DU MOULIN D'EN BAS, COMMUNE DE CRONAY ETUDE D'AVANT PROJET

Rapport final

Auteurs

MHyLab

En Platé, 1354 Montcherand, info@mhyllab.com, www.mhyllab.com

RWB Eau & Environnement SA

Epervier 4, 2053 Cernier, cernier@rwb.ch, www.rwb.ch



Date 26.09.07

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

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

Numéro de projet: 101266

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	6
Hydrologie	7
Débits de la Mentue à la station de mesures	7
Débits de la Mentue au Moulin de Cronay	8
Débits résiduels et débits de la passe à poissons	8
Débit maximal d'équipement selon la courbe des débits classés	11
Dénivellation exploitable	11
Deux variantes de niveau d'eau en amont du seuil	11
Evolution des niveaux d'eau en fonction du débit de la Mentue	12
Evolution de la dénivellation en fonction du débit de la Mentue	13
Situation actuelle: variante A	14
Débit d'équipement et tunnel d'amenée	14
Vitesse d'approche	14
Perte de charge dans le tunnel	15
Calcul de la chute nette	15
Débit d'équipement optimal et énergie hydraulique	16
Installation d'une nouvelle turbine	16
Calcul de la production	16
Variante B : retour au seuil concédé	18
Débits turbinables	18
Perte de charge dans le tunnel	19
Chute nette	20
Choix du débit d'équipement et installation d'une turbine	20
Calcul de la production	20
Comparaison technique des variantes A et B	22
Description détaillée de la variante B	23
Descriptif des ouvrages de génie Civil	23
Barrage	23
Bassin de captage	24
Prise d'eau	25
Canal ou tunnel d'amenée	27
Local turbinage	27
Exutoire	28
Passe à poissons	29



Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	30
Turbine	31
Génératrice	31
Vannes, batardeaux et grilles de l'installation.....	31
Contrôle commande	32
Dispositif de sécurité.....	32
Raccordement électrique	33
Etude économique de la variante B	33
Investissements	33
Electromécanique	33
Génie civil.....	33
Résumé des investissements	34
Frais d'exploitation	34
Calculs économiques.....	34
Conclusions, remarques et suggestions	35
Annexes.....	35



Résumé

Le Moulin d'en Bas, situé sur la Mentue, dans la commune de Cronay, dispose d'une concession datant de 1952 qui définit une dénivellation maximale de 6.94 m et un "débit moyen utilisable" de 300 l/s.

L'étude développe ici deux variantes:

- la variante A exploite la dénivellation maximale de 4.72 m, en considérant le niveau actuel du seuil, soit à 477.20m,
- la variante B exploite la dénivellation maximale de 6.74 m, en considérant un niveau du seuil à 479.22 m comme mentionné dans la concession.

D'une puissance électrique de 25 kW, le turbogroupe de la variante A, composé d'une turbine Kaplan à 4 pales réglables, produira en moyenne 160'000 kWh/an.

La variante B implique notamment une adaptation du barrage et de la passe à poissons dans le but de revenir au niveau d'eau amont concédé de 479.22 m. D'une puissance électrique maximale de 80 kW, le turbogroupe produira en moyenne 353'000 kWh/an (60 % environ en hiver), selon un prix de revient de 28.15 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 Mme Liliane Baptiste pour effectuer une étude détaillée de faisabilité de la réhabilitation du Moulin de Cronay, sur la Mentue.

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 11 juillet 2007.

L'acte de concession n°5 établi en 1952 définit les caractéristiques suivantes:

- le sommet du barrage est à 478.27 m d'altitude, et il est équipé de plateaux amovibles pouvant être montés en période d'étiage afin de permettre à la centrale de fonctionner par éclusées: le sommet du barrage est alors de 479.22 m,
- la restitution à la Mentue s'effectue à 472.28 m d'altitude,
- le débit "moyen utilisable" est admis "empiriquement" à 0.3 m³/s.

Ainsi, la dénivellation concédée est de 5.99 m (478.27 – 472.28 m), et de 6.94 m en période d'étiage (479.22 – 472.28 m).

Il mentionne également l'installation de 5 turbines:

- I: turbine principale "à pales", d'un débit de 1 m³/s, d'une puissance nominale de 30 CV (41 kW), actionnant une scie,
- II: turbine Francis, d'une puissance nominale de 18 CV, actionnant une dynamo,
- III: turbine Francis, d'une puissance nominale de 12 CV, actionnant une scie,
- IV: turbine, d'une puissance nominale de 15 CV actionnant une scie,
- V: turbine Francis, d'une puissance nominale de 3 CV, actionnant une meule.

En 1982, une turbine à flux traversant, d'un débit d'équipement de 250 l/s, d'une puissance de 10 kW est installée, et sera exploitée jusqu'en 1988.

Cet acte de concession, valable 40 ans, est échu depuis 1991.

Suite à la perte de la concession, le SESA a entrepris la rénovation du barrage et la construction d'une nouvelle passe à poissons en rive droite en 2003. Jusqu'à cette date, les aménagements ayant été laissés plus ou moins sans maintenance, le barrage s'était peu à peu effondré, entraînant un abaissement du niveau d'eau amont. C'est de ce niveau d'eau amont que sont partis les travaux entrepris du SESA et non de celui de la concession.

Ainsi, l'installation actuelle du moulin de Cronay comprend (se référer au plan de situation et au profil en long en annexe):

- un seuil sur la Mentue, en bon état,
- une passe à poissons, en bon état,
- un tunnel de section irrégulière creusé dans la molasse de 79 m de long servant de canal d'amenée, à curer
- un local de turbinage à l'abandon,
- un canal de fuite à l'abandon.

Données de base

Les constantes de base suivantes sont considérées :



Accélération de la pesanteur	g	m/s ²	9.806
Température moyenne de l'eau	T _{eau}	°C	10
Masse volumique de l'eau à 10°C	ρ	kg/m ³	999.7

HYDROLOGIE

Débits de la Mentue à la station de mesures

Une station de mesures, située à Yvonand, à moins de 4 km en aval du Moulin de Cronay, et gérée par l'Office Fédéral de l'Environnement, compile les moyennes journalières des débits de la Mentue depuis 1971.

La Mentue, à Yvonand, présente:

- une période de basses eaux en été et de hautes eaux en hiver (cf. Figure 2),
- un débit minimum journalier de 0.140 m³/s, mesuré en juin 1976,
- un module annuel minimum de 0.760 m³/s, correspondant à l'année 1972,
- un module interannuel de 1.590 m³/s,
- un module annuel maximum de 2.680 m³/s, correspondant à l'année 2001.

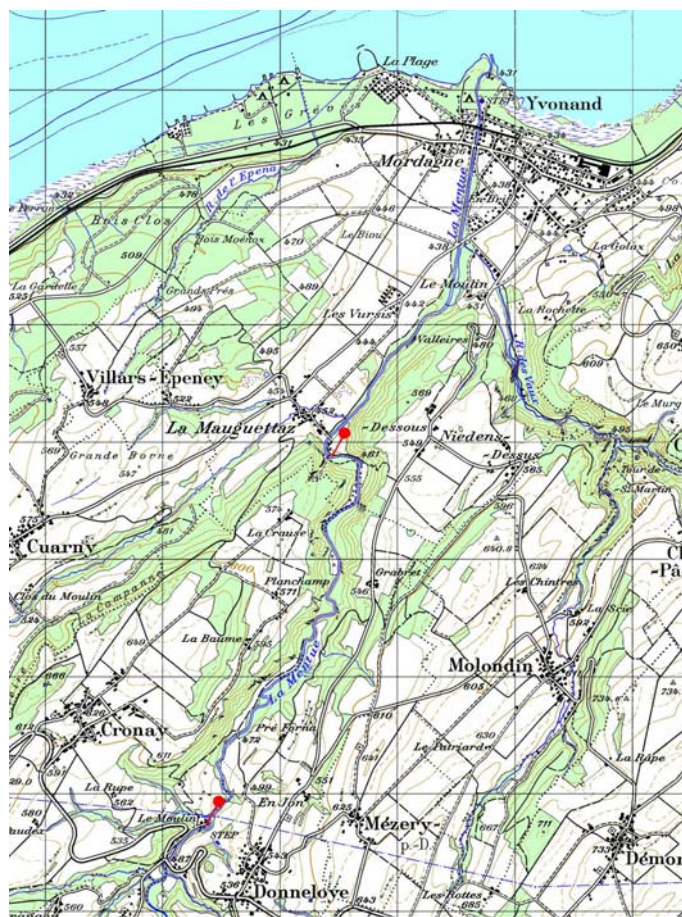


Figure 1. Carte de La Mentue, avec repérage du Moulin de Cronay et de la station de mesures des débits à Yvonand



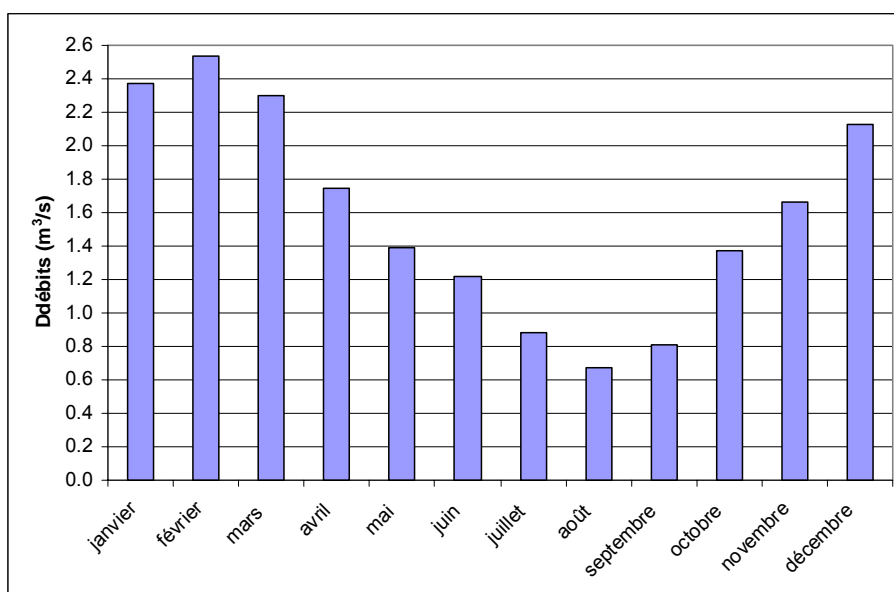


Figure 2. Débits mensuels moyens de la Mentue pour les années 1971 – 2005 à la station de mesures d'Yvonand (source: OFEV)

La Figure 6 montre la courbe moyenne des débits classés de la Mentue à Yvonand pour les années 1971 à 2005.

Débits de la Mentue au Moulin de Cronay

Connaissant la surface des bassins versants, les débits de la Mentue au niveau de la prise d'eau du Moulin de Cronay peuvent être interpolés comme explicité dans la formule suivante:

$$Q_{Cronay} = Q_{Yvonand} \cdot \frac{S_{Cronay}}{S_{Yvonand}} \quad [m^3/s]$$

Avec:

- Q_{Cronay} : débit de la Mentue, au niveau de la prise d'eau du Moulin de Cronay [m³/s]
- $Q_{Yvonand}$: débit de la Mentue, à la station de mesure d'Yvonand [m³/s]
- S_{Cronay} : surface du bassin versant alimentant le cours d'eau en amont de la prise d'eau du Moulin de Cronay, soit 95.2 d'après la carte des bassins versants fournies par le SESA (cf. Annexe 1) [km²]
- $S_{Yvonand}$: surface du bassin versant alimentant le cours d'eau au niveau d'Yvonand, soit 105.0 (donnée de l'annuaire hydrologique) [km²]

Finalement: $Q_{Cronay} = 0.91 \cdot Q_{Yvonand} \quad [m^3/s]$

Débits résiduels et débits de la passe à poissons

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 272 l/s au niveau du Moulin pour les années 1971 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 209 l/s.

$$Q_r = 160 + \frac{272 - 160}{10} \cdot 4.4 = 209 \quad [l/s]$$



L'acte de concession de 1952 mentionne que "le concessionnaire doit laisser constamment s'écouler l'eau nécessaire à l'alimentation de la passe à poissons et à l'existence du poisson dans la section de la Mentue utilisée", mais ne précise pas la valeur de ce débit résiduel.

En 2003, une passe à poissons fut construite en rive droite de la Mentue. Son débit est fonction du niveau d'eau de la rivière au niveau de la prise d'eau, comme présenté à la Figure 4. Ainsi, ce débit peut atteindre les 590 l/s, lorsque le niveau de la Mentue est de 478.2 m au seuil de réglage, c'est-à-dire le seuil entre le barrage et la prise d'eau de la passe à poissons. Par contre, il est inférieur à 200 l/s plus de 200 jours par année selon la courbe des débits et des niveaux d'eau classés du Moulin de Cronay.

Finalement, un débit résiduel sera pris en compte dans les calculs de production qui suivront, de manière à ce que la somme du débit transitant par la passe à poissons et de celui restant dans le lit de la rivière (ou déversant au niveau du seuil) soit au moins égal à 209 l/s.

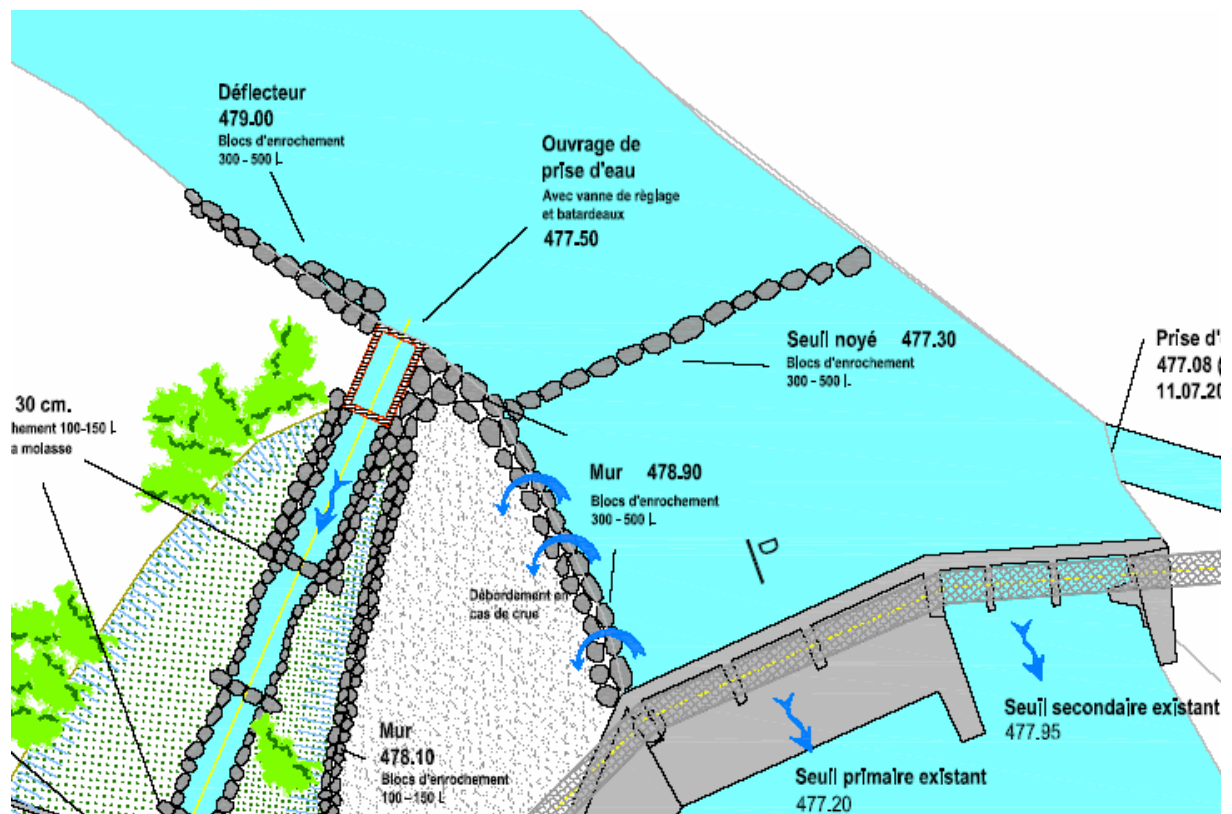


Figure 3. Situation de la prise d'eau de la passe à poissons (source: SESA et RWB)(cf. **Photo 9**)



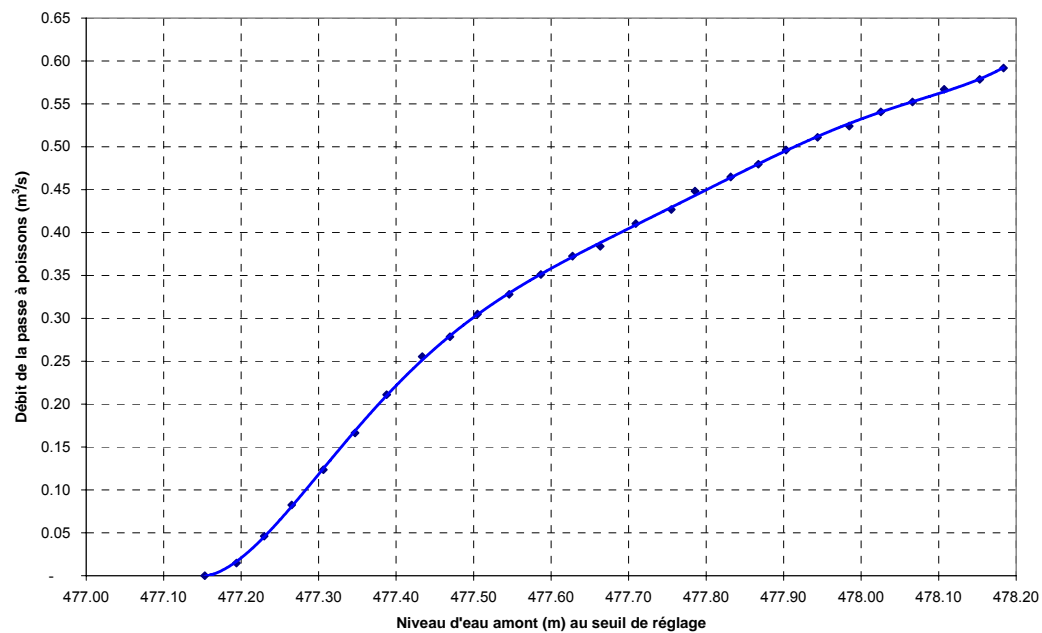


Figure 4. Evolution du débit de la passe à poissons en fonction du niveau de la Mentue au seuil de réglage (source: SESA)

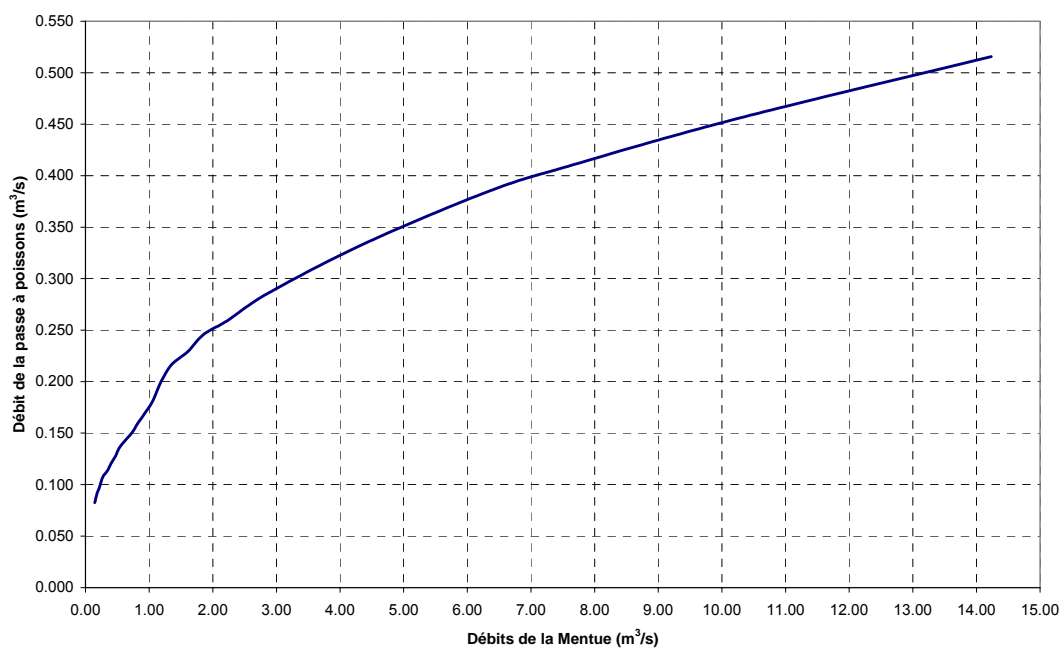


Figure 5. Evolution du débit de la passe à poissons en fonction du débit de la Mentue



Débit maximal d'équipement selon la courbe des débits classés

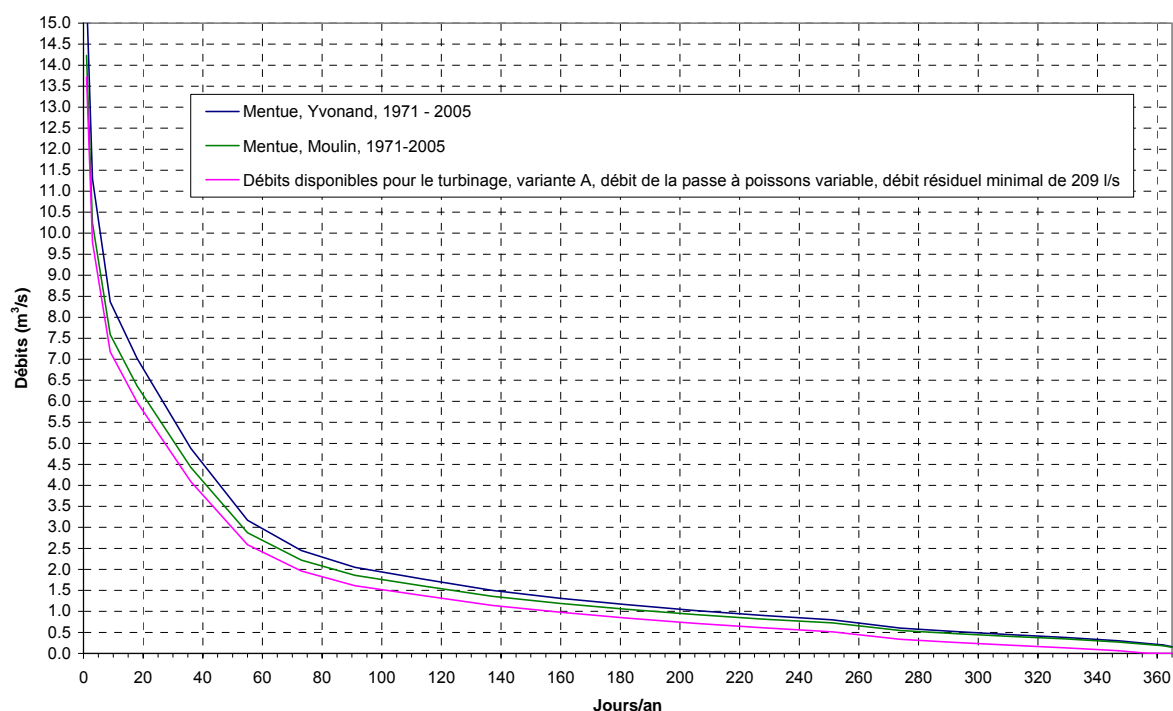


Figure 6. Courbes des débits classés pour la Mentue et des débits disponibles pour le turbinage dans la situation actuelle

Face à la courbe des débits disponibles pour le turbinage (prenant en compte la variation du débit de la passe à poissons, et un débit résiduel minimal de 209 l/s), **le débit d'équipement maximal envisageable est de 2.3 m³/s**, atteint ou dépassé plus de 60 jours dans l'année.

Compte tenu de la courbe des débits classés et des débits résiduels, le turbogroupe ne pourra pas fonctionner plus de 350 jours par an en moyenne.

DÉNIVELLATION EXPLOITABLE

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

Deux variantes de niveau d'eau en amont du seuil

Aujourd'hui, le barrage se compose de 3 seuils:

- le seuil secondaire, attendant à la prise d'eau du tunnel,
- le seuil tertiaire, qui n'est utilisé qu'en période de hautes eaux, sur la rive droite, attendant à la passe à poissons,
- le seuil primaire, se trouvant entre les deux précédents.

La crête de déversement de ces seuils est aujourd'hui à quelques centimètres au dessus du fond du lit à 477.08 m (suivant l'accumulation de matériaux), soit à:

- 477.20 m pour le seuil primaire,
- 477.95 m pour le seuil secondaire,
- 477.60 m pour le seuil tertiaire.

Finalement, alors que la concession précisait une crête de barrage hors période d'étiage de 478.27 m, et de 479.22 m en période d'étiage, le niveau d'eau amont est aujourd'hui abaissé de 1.07 m ou, respectivement de 2.02 m.

Finalement, deux variantes de niveaux d'eau en amont du seuil seront ici étudiées:

- **Variante A: situation actuelle avec une crête de barrage à 477.20 m,**
- **Variante B: retour à la situation de la concession, avec une crête de barrage à 479.22 m.**



Evolution des niveaux d'eau en fonction du débit de la Mentue

Niveau d'eau amont

Le graphe suivant montre l'évolution du niveau d'eau en fonction des débits de la Mentue à la prise d'eau de la passe à poissons (cf. Photo 9), comme établi par le SESA. A ce stade de l'étude, nous supposons que les niveaux d'eau au seuil sur la Mentue sont sensiblement identiques à ceux aux abords de la prise d'eau de la passe à poissons.

La Figure 7 montre l'évolution des niveaux d'eau amont en fonction des débits de la Mentue pour chacune des variantes A et B.

Pour la variante B, les travaux sur le barrage intégreront des vannes secteurs qui régleront automatiquement le niveau amont à la cote constante de 479.22 m.

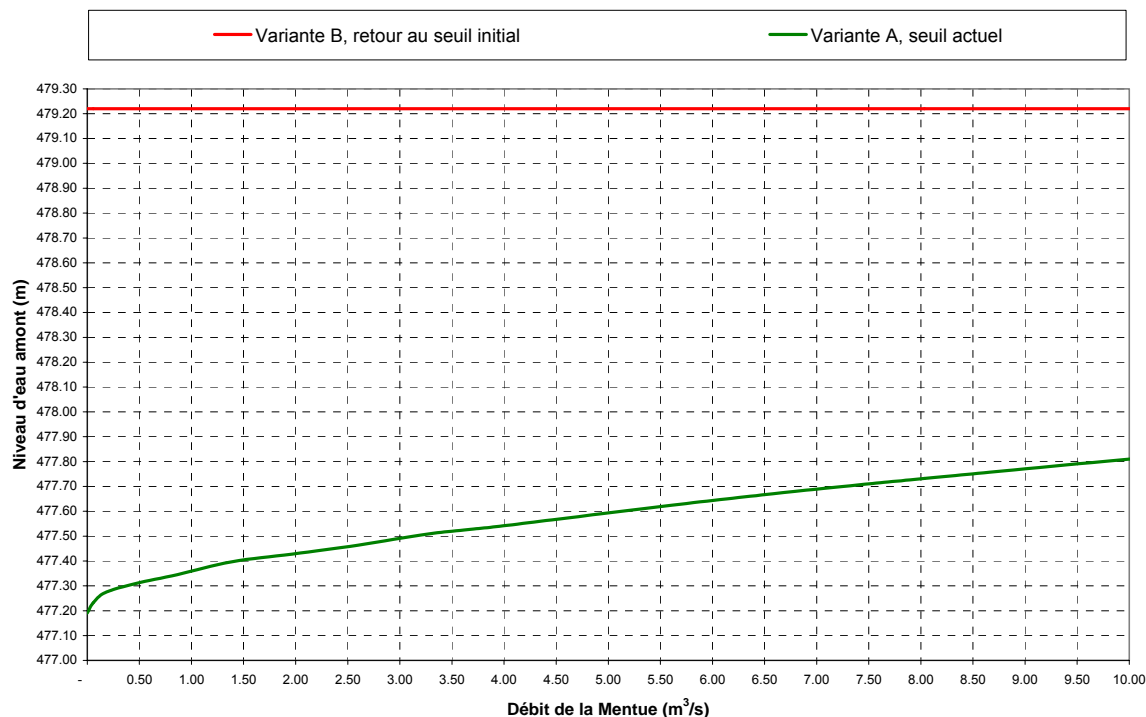


Figure 7. Evolution du niveau d'eau amont en fonction des débits de la Mentue pour chaque variante de niveau du seuil (source SESA)

Niveau d'eau aval

Le tableau suivant donne les données disponibles sur l'évolution des niveaux d'eau aval.

Date			Plan de concession 1952	Plan de concession 1952	27.07.1994	11.07.2007	
Débit de la rivière	Qriv	m³/s	0	2	0.55	2.7	14.23
Niveau d'eau aval	Z2	m	472.28	472.88	472.66	472.95	474.50
Remarques			Niveau aval = fond de la Mentue	Hypothèse de débit	Période de très basses eaux	Relevés des hauteurs sur place	Débit mensuel maximal, hypothèse de niveau

Tableau 1. Données disponibles sur l'évolution des niveaux d'eau aval

Afin de limiter les dépôts de matières dans le canal de fuite, et de garantir une immersion de l'aspirateur, un mur-déversoir sera construit en fin de canal de fuite en bordure de rivière, dont la crête est, à ce stade de l'étude, définie à 472.48 m, soit 20 cm au-dessus du lit de la Mentue.

Il est à noter que le niveau d'eau aval augmente plus vite avec le niveau de la Mentue que le niveau d'eau amont. De plus, l'estimation de l'évolution de ce niveau est pessimiste en terme de production.



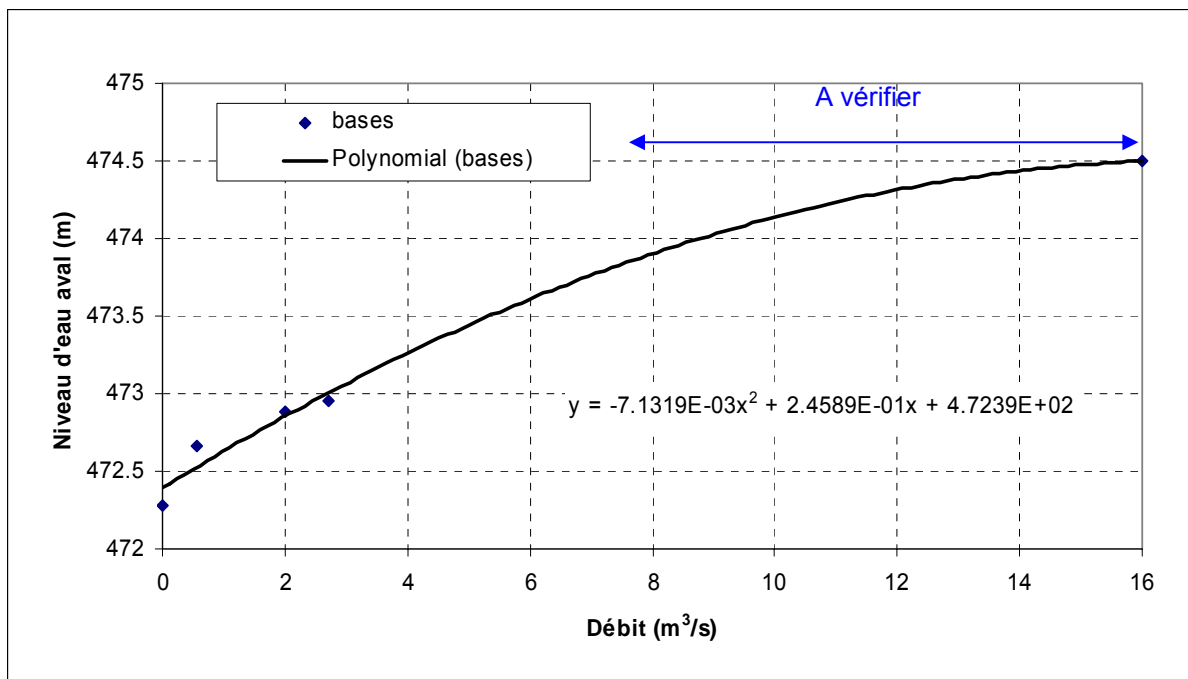


Figure 8. Hypothèse d'évolution du niveau d'eau aval de la rivière en fonction des débits de la Mentue

Evolution de la dénivellation en fonction du débit de la Mentue

La Figure 9 présente l'évolution de la dénivellation en fonction des débits de la Mentue pour chaque variante.

La dénivellation maximale, correspondant au débit nul, s'élève à:

- pour la variante A: 4.72 m
 - niveau d'eau amont minimal: 477.20 m,
 - niveau d'eau aval minimal: 472.48 m,
- pour la variante B: 6.74 m
 - niveau d'eau amont minimal: 479.22 m,
 - niveau d'eau aval minimal: 472.48 m.



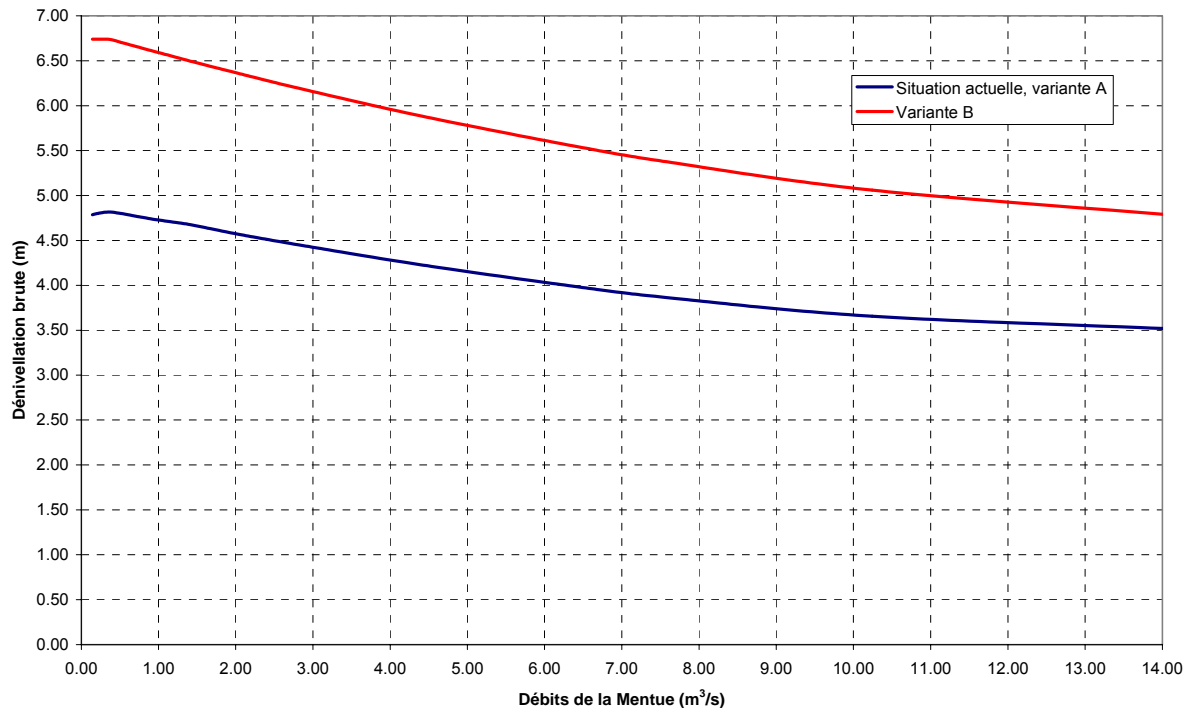


Figure 9. Evolution de la dénivellation en fonction des débits de la Mentue pour chaque variante

Situation actuelle: variante A

DÉBIT D'ÉQUIPEMENT ET TUNNEL D'AMENÉE

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 l'infrastructure actuelle, et en particulier dans le tunnel, le canal de fuite n'étant pas limitant.

Le tunnel, d'une longueur de 79 m, présente un tracé et des sections de passage non réguliers. A ce stade de l'étude, les pertes dues aux courbes du tunnel ne seront pas détaillées.

Deux tronçons principaux peuvent être distingués, selon les plans de 1996:

- 1^{er} tronçon de 15 m de longueur environ, selon une section pratiquement circulaire de 2.0 m de diamètre environ,
- 2^{ème} tronçon de 64 m de longueur environ, avec une section trapézoïdale, d'une largeur moyenne de 0.65 m, pour une hauteur moyenne de 1.95 m.

A ce stade de l'étude, on considère que le tunnel, de 79 m de longueur environ, a une section moyenne rectangulaire de passage, d'une largeur de 0.65 m et d'une hauteur variant en fonction du niveau d'eau amont de la Mentue.

Le point haut de l'entrée du tunnel étant à 477.98 m, et celui du tunnel complet à 478.36 m, le tunnel ne sera pas en charge. Ainsi, la hauteur de la section de passage est définie, à ce stade de l'étude, comme la différence entre le point bas de l'entrée à 476.22 m et le niveau de la Mentue en ce même point.

Vitesse d'approche

La section de passage dans le tunnel définit une vitesse d'approche de l'eau à la turbine, qui doit être inférieure à 1 m/s pour garantir un écoulement homogène en entrée de turbine.

Finalement, cette vitesse d'approche constitue le premier facteur limitant en terme de débit:

$$Q_{\max} = S \cdot v_{\max} = l \cdot (Z_0(Q_{\text{riv}}) - Z_{\text{otunnel}}) \cdot v_{\max} = 0.65 \cdot (Z_0(Q_{\text{riv}}) - 476.22) \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$



avec:

- Q_{\max} : débit maximal turbinable ou débit d'équipement pour la variante A [m³/s]
- S : section de passage dans le tunnel [m²]
- v_{\max} : vitesse d'approche maximale, fixée à 1 [m/s]
- l : largeur moyenne de la section de passage du tunnel, soit 0.65 [m]
- $Z_0(Q_{riv})$: niveau d'eau amont à l'entrée du tunnel, fonction du débit de la Mentue [m]
- $Z_{0tunnel}$: altitude du point bas de l'entrée du tunnel, soit 476.22 [m]

Perte de charge dans le tunnel

La perte de charge, $H_r(Q)$, dans le tunnel, déterminée à partir du diagramme de Moody, en considérant une rugosité de $K_s = 25$ mm, est donnée, pour chaque débit turbiné et chaque niveau d'eau amont correspondant, par:

$$H_r(Q) = f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1) \quad [m]$$

avec:

- L : longueur du tunnel, soit 79 [m]
- f : coefficient de frottement issu du diagramme de Moody [-]
- D_h : diamètre hydraulique équivalent [m]

La section de passage moyenne du tunnel étant ramenée à un rectangle, le diamètre hydraulique, D_h , équivalent est calculé comme suit:

$$D_h = \frac{4 \cdot l \cdot (Z_o(Q_{riv}) - Z_{0tunnel})}{l + 2 \cdot (Z_o(Q_{riv}) - Z_{0tunnel})} = \frac{4 \cdot 0.65 \cdot (Z_o(Q_{riv}) - 476.22)}{0.65 + 2 \cdot (Z_o(Q_{riv}) - 476.22)} \quad [m]$$

Calcul de la chute nette

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

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

$$H(Q) = \Delta Z(Q) - H_r(Q) - \frac{\left(v_2 \cdot \frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2}{2g} \quad [m]$$

- Avec:
- $H(Q)$: chute nette au débit turbiné [m]
 - Q_{\max} : débit d'équipement, [m³/s]
 - $\Delta Z(Q)$: dénivellation fonction du débit turbiné et de celui de la Mentue [m]
 - v_2 : vitesse en sortie d'aspirateur, soit 2 [m/s]

La vitesse de 2 m/s au débit maximal 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.

Débit d'équipement optimal et énergie hydraulique

Finalement, le débit maximal transitant dans le tunnel, c'est-à-dire le débit d'équipement de la turbine, choisi ici, correspond à l'énergie hydraulique nette la plus élevée possible, calculée comme suit:

$$E_h = 10^{-3} \int \rho Q g H(Q) dt \quad [\text{kWh/an}]$$

Après plusieurs simulations, il s'avère que le débit d'équipement de **0.74 m³/s**, atteint ou dépassé plus de 200 jours par an, correspond à l'énergie hydraulique nette la plus élevée, soit **203'000 kWh/an**. En effet, au-delà de ce débit, vu les courbes des débits et des niveaux d'eau amont classés, une vitesse d'approche de moins de 1 m/s ne peut plus être assurée toute l'année.

La Figure 12 présente la courbe des puissances hydrauliques classées, la surface entre cette courbe et les axes représentant l'énergie.

INSTALLATION D'UNE NOUVELLE TURBINE

La dénivellation et la courbe des débits classés imposent le choix d'une turbine axiale Kaplan à 4 pales mobiles et à distributeur fixe.

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 choisi de manière à ce que la turbine soit en prise directe avec la génératrice, afin de limiter la taille du turbogroupe, de favoriser son intégration au site, d'éviter l'utilisation d'un multiplicateur de vitesse, et de limiter les coûts,
- la turbine ne risque aucun problème de cavitation, ce qui n'est pas un point limitant pour le dimensionnement de ce type de turbines développées en laboratoire.

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 0.74 m³/s étant raisonnable.

Le Tableau 3 présente les principales caractéristiques du turbogroupe pour la variante A.

CALCUL DE LA PRODUCTION

La production électrique annuelle, E_e , est calculée par intégration de la courbe des puissances électriques classées, grâce à l'expression:

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

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:

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

avec:

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



D'où:

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

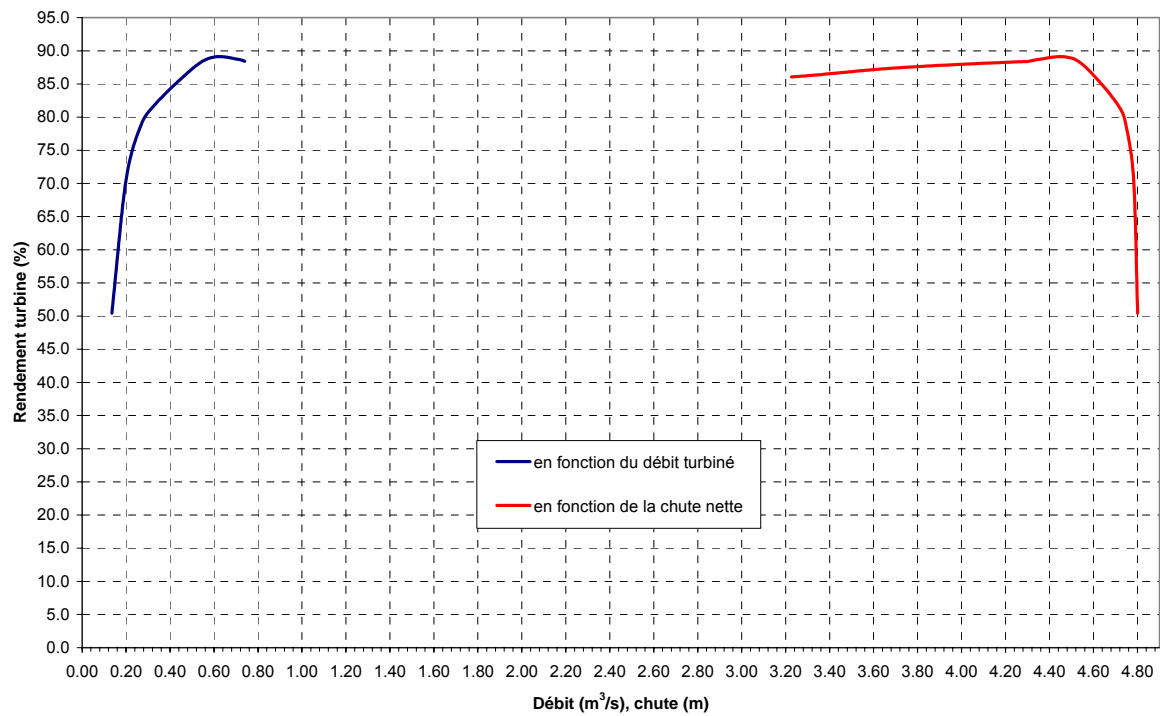


Figure 10. Evolution du rendement turbine en fonction du débit et de la chute nette disponibles pour la variante A

Il est à noter que la priorité en terme de rendements élevés est donnée aux débits maximaux et non aux chutes maximales. Ainsi, aux chutes maximales, le rendement est faible car correspondant à de faibles débits turbinés.

Le rendement de la génératrice est donné selon des débits relatifs au débit d'équipement, comme montré sur la Figure 11, avec un maximum à 93.1 %.

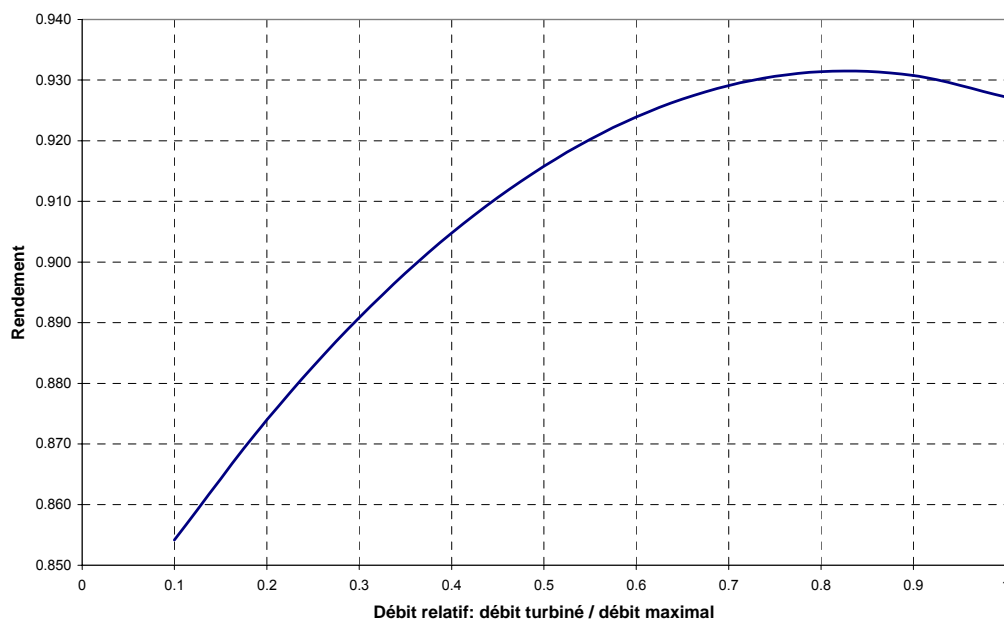


Figure 11. Courbe-type de rendement de la génératrice



Finalement, la production électrique de la variante A s'élève à 160'000 kWh/an.

La Figure 12 montre le graphe des chutes, des débits et des puissances classés pour la variante A. Il s'avère que jusqu'au 200^{ème} jour, la puissance augmente, la turbine étant à son ouverture maximale, tandis que la chute augmente (avec les débits de la Mentue, le niveau d'eau aval s'abaissant plus vite que le niveau d'eau amont). Puis la puissance diminue, le débit diminuant, tandis que la chute continue d'augmenter, la perte de charge et le niveau d'eau aval diminuant.

Le Tableau 3 présente les principales caractéristiques de la variante A en terme de puissance et d'énergie.

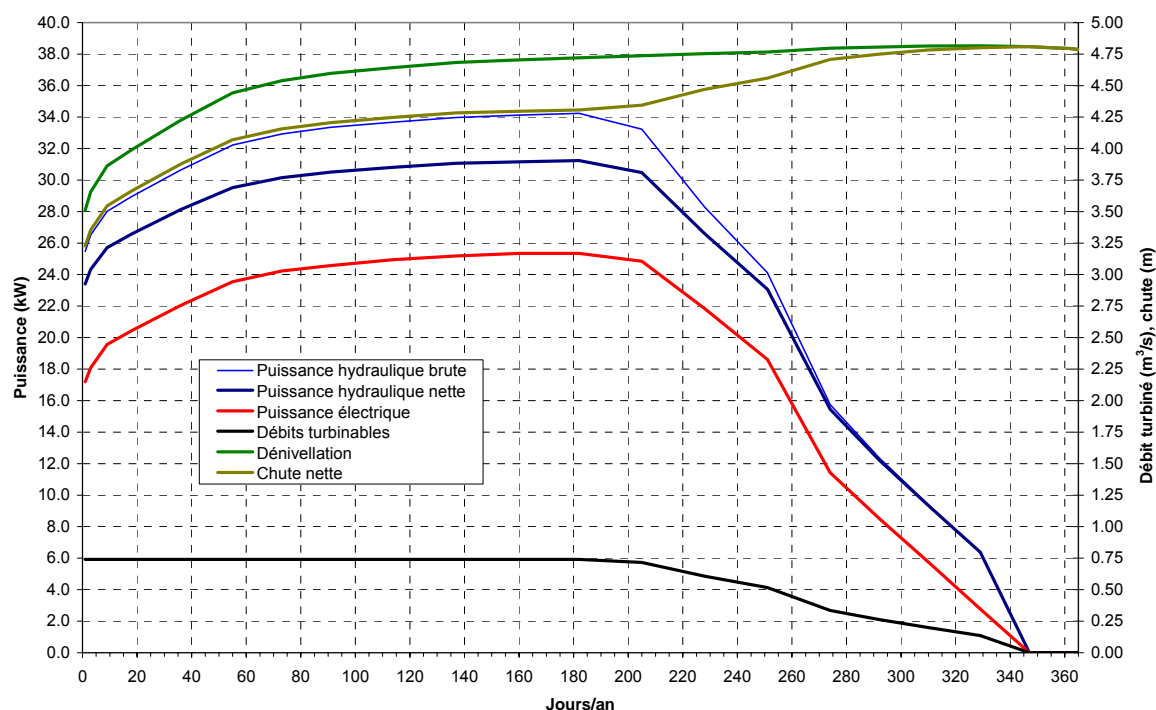


Figure 12. Courbe des chutes, débits et puissances classés pour la variante A

Variante B : retour au seuil concédé

Cette deuxième variante a pour objectif de revenir à la situation de la concession datant de 1952. Elle implique le rehaussement de la crête actuelle du seuil de 2.02 m (en prenant le seuil secondaire à 477.20 m comme référence).

DÉBITS TURBINABLES

Le rehaussement du seuil actuel à 479.22 m entraîne la modification de la passe à poissons, et en particulier de sa prise d'eau.

A ce stade de l'étude, le débit de la passe à poissons adaptée est posé constant tout au long de l'année et égal au débit résiduel de 209 l/s, d'autant plus que dans cette configuration, le niveau de la Mentue est maintenu constant. Par conséquent, la courbe des débits disponibles pour le turbinage présentée dans la Figure 6 est à rehausser sur les 160 premiers jours.



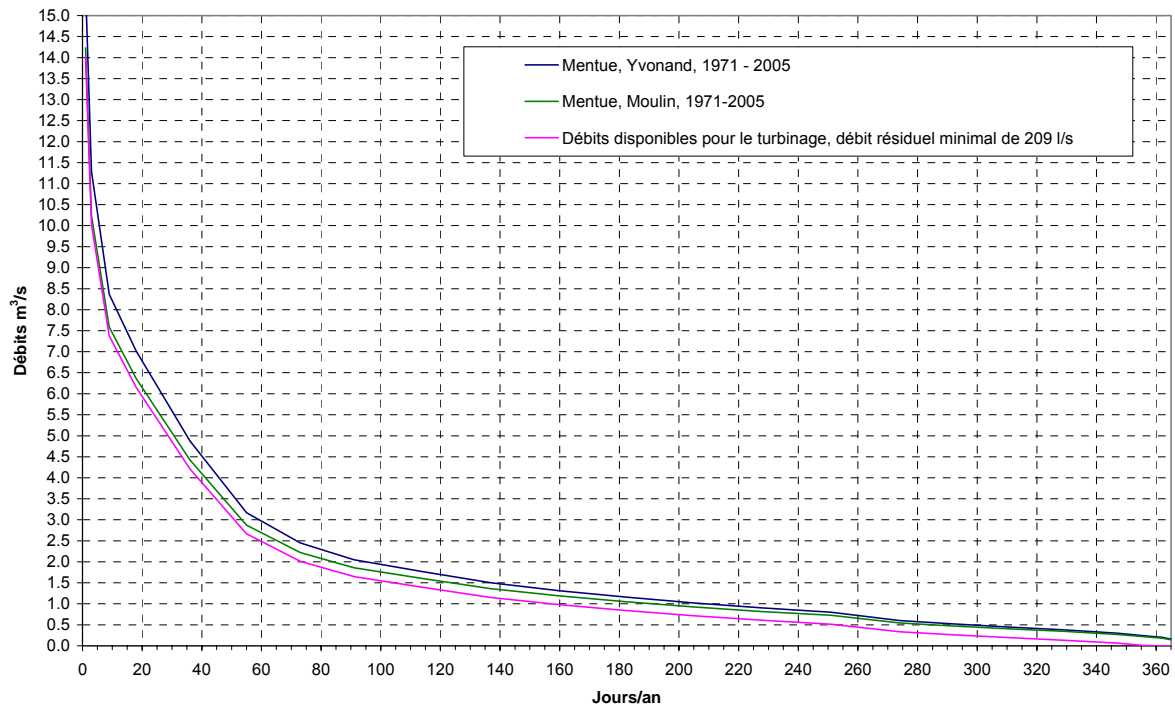


Figure 13. Courbe des débits classés pour la variante B

D'après la courbe des débits classés disponibles pour le turbinage pour la variante B, le **débit d'équipement maximal** du turbogroupe est de **2.4 m³/s**, atteint ou dépassé plus de 60 jours dans l'année.

PERTE DE CHARGE DANS LE TUNNEL

La crête du seuil étant à 479.22 m et le point haut du tunnel à 477.98 m, le tunnel sera en charge quels que soient le débit de la rivière et son niveau.

Le calcul de la perte de charge dans le tunnel pour la variante B reprend la méthodologie de la variante A. Ainsi, ici, compte tenu des hypothèses posées, la section moyenne du tunnel, constante, est de 1.27 m² (0.65 x 1.95), soit un diamètre hydraulique de 0.98 m.

$$D_h = \frac{2 \cdot l \cdot h}{l + h} = \frac{2 \cdot 0.65 \cdot 1.95}{0.65 + 1.95} = 0.98 \quad [\text{m}]$$

La section et le diamètre hydraulique étant constants quels que soient le débit et le niveau d'eau amont, la formule (1) de la perte de charge devient:

$$Hr(Q) = K_{Hr} \cdot Q^2 \quad [\text{m}]$$

avec:

- K_{Hr} : coefficient de perte de charge du tunnel, fonction de la rugosité, de la longueur, de la section, du diamètre hydraulique du tunnel $[\text{s}^2/\text{m}^5]$

Finalement:

$$Hr(Q) = f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.055 \cdot \frac{79}{0.98} \cdot \frac{1}{2 \cdot 9.806 \cdot 1.27^2} \cdot Q^2 = 0.14 \cdot Q^2 \quad [\text{m}]$$

Le tableau suivant propose des débits maximaux transitant dans le tunnel, de manière à ce que celui-ci ait un rendement similaire aux équipements électromécaniques, soit d'au moins 90 %, en considérant la dénivellation de 6.82 m comme référence.



Altitude du seuil	Z_0 (m)	479.22	
Altitude du déversoir aval	Z_2 (m)	472.48	
Dénivellation	m	6.74	
Coefficient de perte de charge du tunnel	KHr (s^2/m^5)	0.14	
Rendement du tunnel	%	90	95
Perte de charge maximale	m	0.674	0.337
Débit maximal transitant	m^3/s	2.18	1.54

Tableau 2. Débits maximaux transitant et rendement du tunnel

Par conséquent, tandis que la courbe des débits classés fixait un débit d'équipement maximal de $2.40 m^3/s$, **le tunnel limite ce débit à $2.18 m^3/s$.**

CHUTE NETTE

La chute nette est calculée en prenant en compte la perte de charge et la perte cinétique en sortie d'aspirateur pour chaque débit turbiné.

CHOIX DU DÉBIT D'ÉQUIPEMENT ET INSTALLATION D'UNE TURBINE

Le choix du débit d'équipement de la turbine est fonction:

- de la courbe des débits classés, qui fixe un maximum de $2.40 m^3/s$,
- de la perte de charge dans le tunnel qui fixe un maximum de $2.18 m^3/s$,
- de la taille de la turbine: plus le débit est élevé, plus importante est la taille de la turbine,
- de la vitesse de rotation de la machine: il est préférable que la turbine soit en prise directe avec la génératrice, afin d'éviter l'intégration d'un multiplicateur de vitesse (dont le rendement est de l'ordre des 95 %),
- du débit minimum turbinable, celui-ci étant en général égal à 15 % du débit d'équipement, ce qui définit le nombre de jours de fonctionnement par année, et pour lequel la chute est plus élevée que celle du débit d'équipement,
- de la production électrique.

La dénivellation et la courbe des débits classés imposent également le choix d'une turbine axiale Kaplan à 4 pales mobiles et à distributeur fixe. Son dimensionnement prend en compte les mêmes critères que la variante A.

Il s'avère que les débits d'équipement supérieurs à $1.8 m^3/s$ ne permettent pas une prise directe de la turbine avec la génératrice, selon des rendements intéressants, la vitesse minimale pour la prise directe étant fixée ici à 428.6 t/min.

Finalement, après plusieurs simulations, c'est **le débit d'équipement de $1.8 m^3/s$, atteint ou dépassé plus de 70 jours par an qui est retenu pour la variante B.**

Le Tableau 3 présente les principales caractéristiques du turbogroupe pour la variante B.

CALCUL DE LA PRODUCTION

Le calcul de la production est similaire à celui de la variante A.

Le rendement de la turbine en fonction du débit turbiné et de la chute disponible est présenté à la Figure 14.

La Figure 15 montre les courbes des puissances, des débits et des chutes classés pour la variante B. Ainsi, jusqu'au 73^{ème} jour, la puissance augmente, la turbine étant à son débit d'équipement de $1.8 m^3/s$, tandis que la dénivellation augmente. Puis la puissance diminue avec le débit, l'augmentation de la chute nette n'étant pas suffisante.

Finalement, la production électrique s'élève à 353'000 kWh/an, pour une énergie hydraulique brute de



492'000 kWh/an, soit un rendement global de l'installation de 72 %.

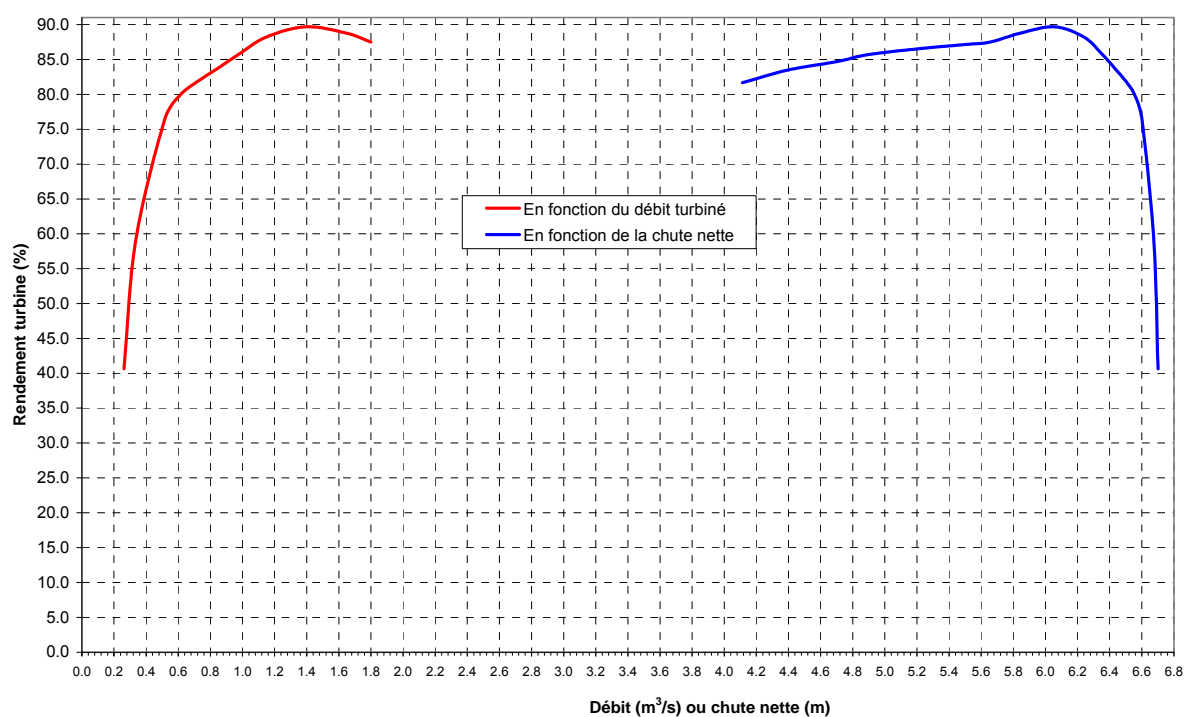


Figure 14. Evolution du rendement turbine en fonction du débit turbiné et de la chute nette disponibles pour la variante B

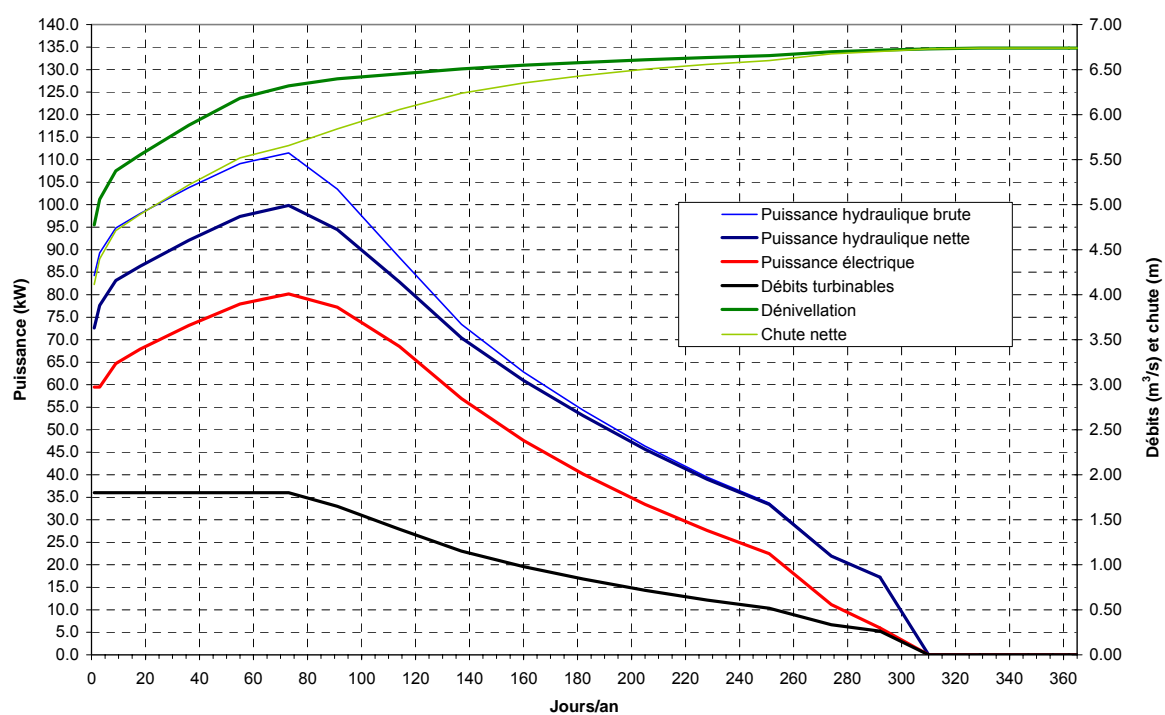


Figure 15. Courbes des puissances, des débits et des chutes classés pour la variante B



Comparaison technique des variantes A et B

Variante		A	B
Altitude du seuil	Z_0 (m)	477.20	479.22
Altitude du déversoir aval	Z_2 (m)	472.48	472.48
Débit d'équipement	Q_{\max} (m ³ /s)	0.74	1.80
Niveau d'eau amont de référence	m	477.36	479.22
Niveau d'eau aval de référence	m	472.64	472.90
Dénivellation brute de référence	ΔZ (m)	4.72	6.32
Structure d'amenée		tunnel actuel	tunnel actuel
Chute nette maximale à Q_{\max}	H_n (m)	4.31	5.66
Rendement de la structure d'amenée à Q_{\max} par rapport à ΔZ	%	95.5	92.7
Type de turbine		axiale	axiale
Nombre de pales	(-)	4	4
Nombre de Turbines	Z_T (-)	1	1
Débit maximal	Q_{\max} (m ³ /s)	0.74	1.80
Débit minimal	Q_{\min} (m ³ /s)	0.11	0.22
Energie massique à Q max	$g H$ (J/kg)	42	55
Type de réglage		Distributeur fixe, pales réglables	Distributeur fixe, pales réglables
Ouverture du distributeur fixe	(°)	40	40
Hauteur d'aspiration maximale	H_s (m)	> 6.0	> 3.5
Diamètre externe de la roue	D_e (mm)	540	740
Vitesse de rotation	N' (t/min)	500	428.6
Puissance hydraulique brute	P_h (kW)	34	112
Puissance hydraulique nette	P_{hn} (kW)	31	100
Rendement maximal de la turbine	%	89.2	89.8
Rendement des paliers	%	99.0	99.0
Puissance mécanique maximale	P_m (kW)	28	85
Puissance électrique maximale	P_e (kW)	25	80
Energie hydraulique brute	E_h (kWh/an)	218'000	492'000
Energie hydraulique nette	E_{hn} (kWh/an)	203'000	457'000
Production électrique	E_e (KWh/an)	160'000	353'000
Rendement de l'installation	%	73	72
Nombre de jours de fonctionnement	jours /an	347	310

Tableau 3. Principales caractéristiques techniques des variantes A et B

Il s'avère donc que le retour au niveau de crête concédé de 479.22 m permet de multiplier la production par 2.2.

La Figure 16 compare les courbes des débits, des chutes et des puissances classées pour les deux variantes.



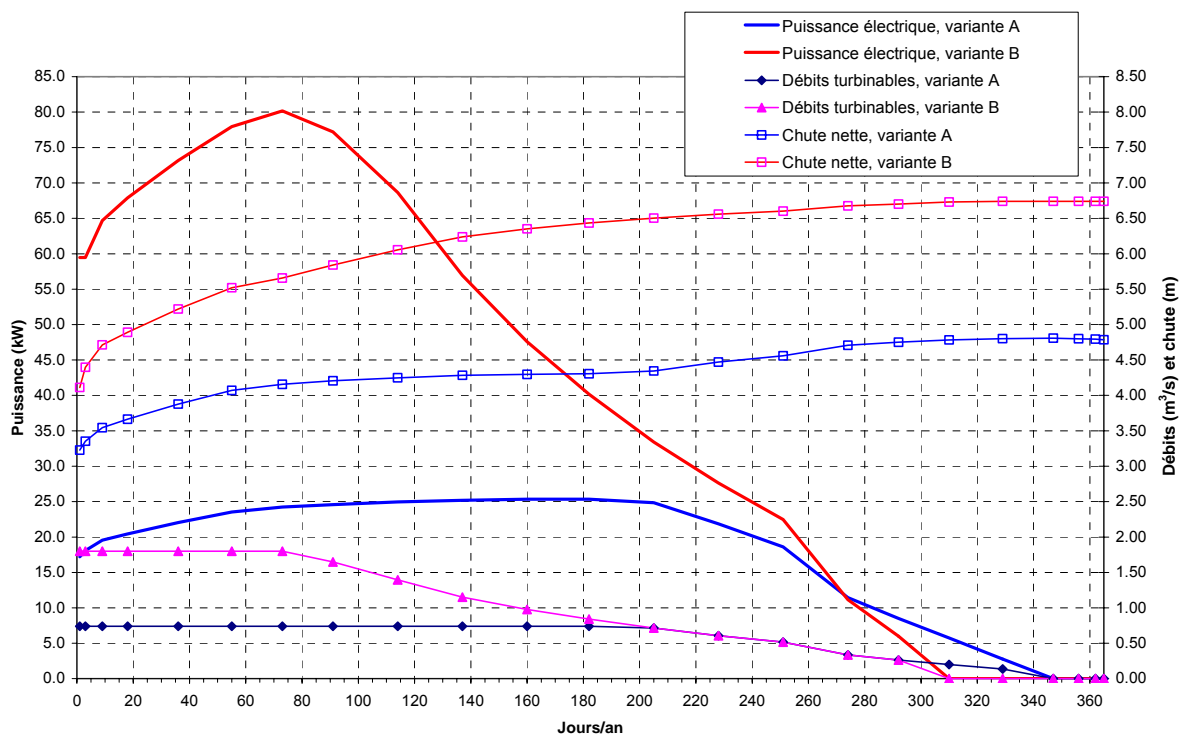


Figure 16. Courbes des puissances, des débits et des chutes classés pour les variantes A et B

Description détaillée de la variante B

DESCRIPTIF DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

A ce stade de l'étude, il s'agit de décrire sommairement le type de travaux à entreprendre, et de s'assurer que ces modifications ou ces nouvelles constructions sont possibles.

Aucune expertise des ouvrages existants n'a été réalisée afin de définir l'état de ceux-ci. Il a été admis que les structures existantes sont saines et peuvent recevoir les nouveaux ouvrages.

Barrage

Le barrage sera adapté de manière à retrouver le niveau initial de la concession à 479.22 m, niveau qui sera maintenu par la manœuvre de vannes secteur insérées dans le seuil primaire.

Une vanne secteur est caractérisée par un effort de manœuvre qui ne dépend que très peu de la pression hydraulique appliquée à sa surface. Elle a donc le net avantage de demander peu d'énergie pour fonctionner. Cependant une importante infrastructure en béton armé doit être construite afin de reprendre ces efforts.





Photo 1. Barrage – passage de l'eau sur le seuil primaire

Un batardeau constitué de planches fixes sera mis en place sur le seuil secondaire. Il n'y aura pas de possibilité mécanique de réglage du niveau de ce seuil.

La digue du seuil tertiaire sera simplement rehaussée avec des matériaux étanches et des enrochements.

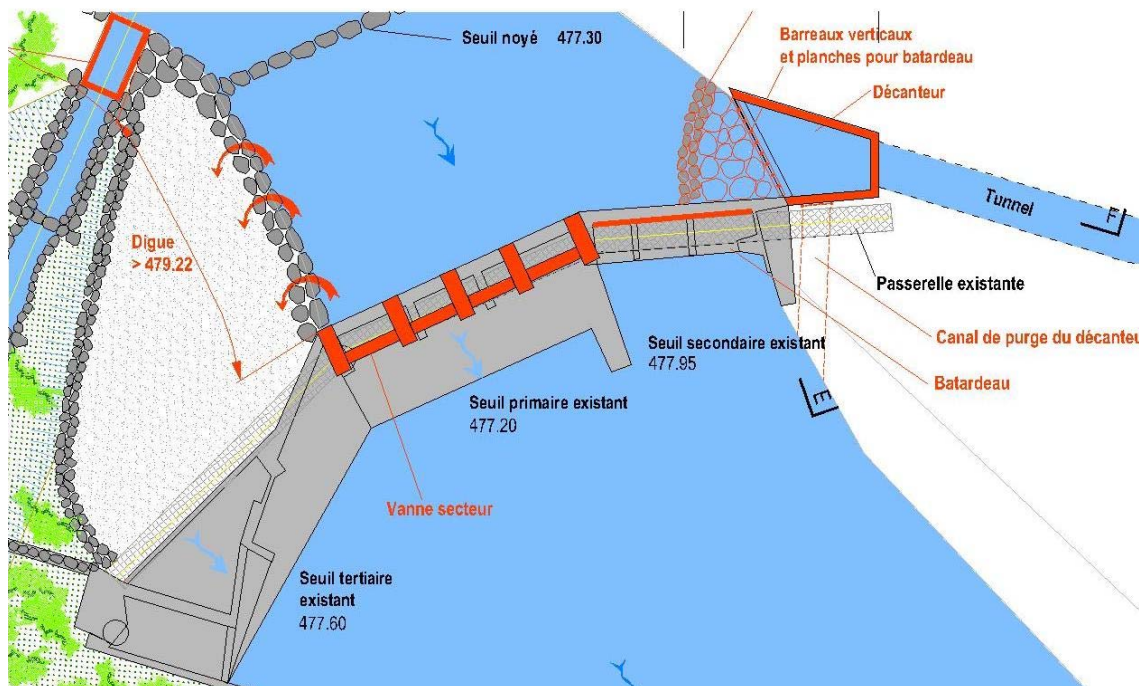


Figure 17. Vue en plan des différents seuils composant le barrage

Une expertise statique de l'état actuel du barrage devra être réalisée afin de s'assurer que la mise en place de batardeaux afin de rehausser le niveau de l'eau puisse être reprise par les infrastructures existantes du barrage.

Bassin de captage

Le bassin de captage est nécessaire afin de dévier l'eau de la rivière vers la prise d'eau. Le fond de ce bassin doit être au niveau du tunnel d'amenée (altitude 476.22 m), donc plus bas que le niveau du lit actuel.





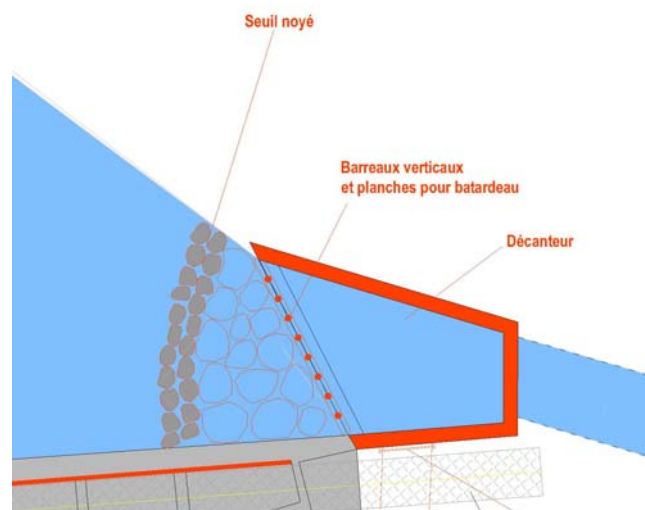
Photo 2. Emplacement du bassin de captage devant la prise d'eau

Le niveau du lit actuel est dû aux dépôts au fond de la rivière devant le tunnel, l'ancienne prise d'eau n'ayant pas été entretenue.

Le fond de rivière devant la prise d'eau sera donc curé pour retrouver le niveau du lit d'origine. Un seuil noyé, constitué d'enrochements, sera construit devant la prise d'eau. Le fond du bassin de captage sera également constitué d'enrochements.

Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes :

- Longueur du seuil : environ 5.0 m
- Hauteur du seuil : environ 1.0 m
- Surface du bassin : 7.0 m²



*Figure 18. Vue en plan du bassin de captage et de la prise d'eau (cf. **Annexe 6**)*

Prise d'eau

La prise d'eau existante à l'entrée du tunnel est actuellement complètement obstruée de branchages, tandis que le tunnel est rempli de matériaux sur plus de la moitié de sa hauteur.





Photo 3. Prise d'eau actuelle

Cette prise d'eau devra donc complètement être refaite, et au même endroit. Elle sera constituée d'une grille grossière afin d'éviter que les branches ou autres corps flottants ne puissent entrer dans le tunnel, et obstruer la partie supérieure de celui-ci. Les flottants ainsi retenus seront évacués par-dessus la vanne batardeau fixe du barrage. Si d'autres déchets sont bloqués dans la grille, ceux-ci pourront être enlevés depuis la berge en amont ou depuis le talus sur le décanteur.

A l'entrée du tunnel est prévu un décanteur afin d'éviter que des pierres ou autres corps lourds charriés par la rivière se déposent dans le tunnel, ce qui demanderait un curage régulier et pénible du lit du tunnel. La purge de ce bassin de décantation s'effectuera gravitairement par une conduite jusqu'en aval du barrage.

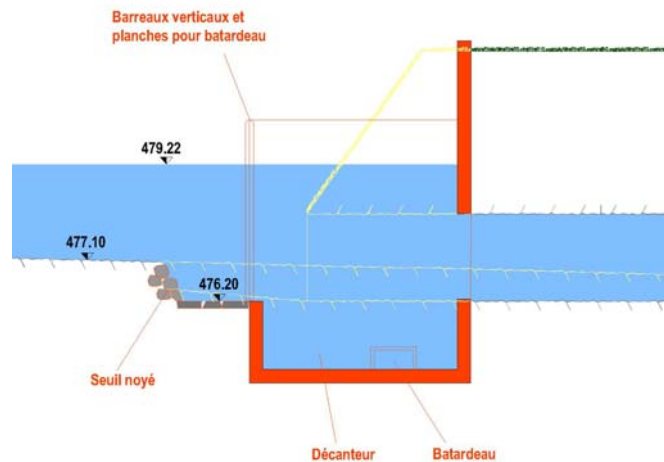


Figure 19. Profil en long de la prise d'eau (cf. **Annexe 7**)

L'ensemble des ouvrages nécessaires au turbinage pourra être mis hors d'eau, pour entretien et curage, grâce aux batardeaux posés contre la grille avant le décanteur.



Canal ou tunnel d'amenée



Le tunnel existant sera conservé. Il n'est pas prévu d'augmenter sa section ou de modifier son revêtement.

Il s'agit d'un canal taillé dans la molasse avec un tracé sinueux. (voir Annexe 6), dont les caractéristiques sont les suivantes (source: projet de réhabilitation du site de juin 1996) :

- Largeur à la base : 80 cm
- Largeur au plafond : 50 cm
- Hauteur : 180 à 210 cm
- Section arrondie en amont: diamètre de 200 cm
- Longueur totale : environ 79 m

Il est admis que l'intérieur du canal est en ordre et ne nécessite aucun assainissement. Seul un curage de la partie amont, actuellement remplie de matériaux provenant de la rivière, sera entrepris.

Photo 4. Vue du tunnel

Local turbinage

La nouvelle turbine ainsi que la chambre nécessaire à son alimentation seront entièrement installées dans la maison existante sous la scierie, c'est-à-dire là où se trouvent les anciennes turbines.

Actuellement l'ensemble des turbines existantes se trouvent dans l'axe du canal d'amenée et sont intégrées sur toute la hauteur du bâtiment, y compris leurs chambres d'eau. Ces éléments seront démolis sur toute la hauteur afin de libérer un volume suffisant pour la nouvelle installation.



Photo 5 Local d'accès à la chambre d'eau



Photo 6. Chambre d'eau

Le sol de la scierie actuel devra également être démonté afin de pouvoir travailler depuis le niveau supérieur. Un accès de chantier au niveau inférieur sera aussi nécessaire. Selon les plans d'époque, ce chemin existe déjà.

Un important étayage de la toiture existante ainsi que des murs devra être mis en place au fur et à mesure de la démolition des planchers et murs.

Une fois, cette « tranchée » dans la maison entièrement ouverte, il s'agira de reconstruire les infrastructures pour recevoir le nouveau turbogroupe. Celles-ci seront en béton armé coulé sur place. Les travaux s'effectueront depuis le haut et par étapes. L'ensemble de cette nouvelle structure sera complètement indépendant de la maison actuelle, afin d'éviter d'éventuels problèmes de tassement, si



celle-ci était liée à l'ancien bâtiment. Les fondations seront refaites au niveau de l'exutoire.

L'état des murs existants est inconnu à ce jour, de même que les principes statiques du bâtiment. Les travaux devront se dérouler par petites étapes afin de ne pas déstabiliser la maison et les étayages seront modifiés selon les phases de construction.

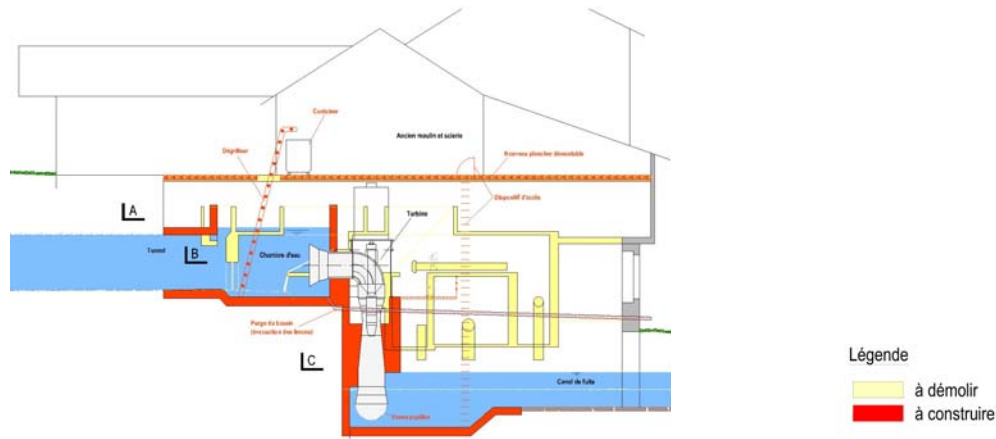


Figure 20. Coupe du local de turbinage (cf. Annexe 8)

Les étapes d'exécution des travaux sont les suivantes :

- Démolition du plancher de la scierie,
- Etayage des murs latéraux à conserver et de la charpente,
- Démolitions des murs, dalles et turbines existantes,
- Fouilles à la main dans l'exutoire existant ou reprises en sous-œuvre sous les murs existants pour créer de nouvelles fondations,
- Bétonnage par étapes verticales et horizontales des fondations et sous-œuvres,
- Bétonnage des murs et dalles par étapes,
- Mise en place de la serrurerie.

L'ensemble des éléments électromécaniques (turbogroupe, grille et dégrilleur principalement) seront mis en place avec une auto-grue depuis le niveau du plancher de la scierie. Ce nouveau plancher sera entièrement démontable afin de pouvoir ressortir le turbogroupe pour tout type d'interventions. Il n'est pas prévu de palan fixe.

Une grille avec un nettoyage automatique à râteau sera installée dans la chambre d'eau qui évacuera les débris dans un container situé au niveau de la scierie. La vidange de ce container se fera latéralement à la grille.

La chambre d'eau fera également office de désableur afin d'éviter que des matières en suspension (boues) ou sédiments (sable, gravier) ne pénètrent dans la turbine. Celui-ci devra être le plus large possible afin de réduire la vitesse de l'eau et permettre le dépôt des matériaux. La purge de ce bassin se fera avec une conduite de décharge amenant les matériaux devant la maison au niveau inférieur, où ils seront collectés pour être ensuite éliminés.

Exutoire

Au niveau inférieur, le canal de fuite sera complètement refait à neuf, car celui-ci doit être approfondi d'environ 1.50 m. sous la turbine.



Ce nouveau fond en béton armé servira de fondation pour les nouvelles structures.



Photo 7. Exutoire à la sortie du local de turbinage



Photo 8. Exutoire à l'arrivée dans la Mentue

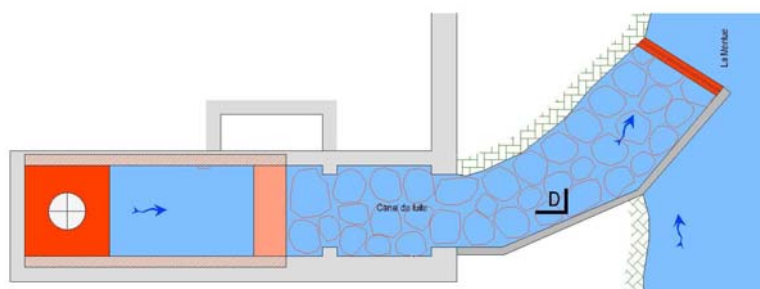


Figure 21. Vue en plan du canal de fuite

L'exutoire à l'arrivée dans la Mentue sera également refait en « dur », c'est-à-dire avec un fond en enrochement, facilitant ainsi le curage.

Au bout du canal de fuite, avant le rejet dans la Mentue, une vanne batardeau sera installée sur le déversoir, afin de mettre hors d'eau l'exutoire.

Passe à poissons

La passe à poissons actuelle, réalisée en 2003, a été dimensionnée avec un niveau d'eau maximum de la Mentue de 478.20 m. Or, le niveau d'eau prévu de la variante B pour le turbinage est de 479.22 m, soit environ 1.0 m au dessus du niveau que peut accepter la passe à poissons. De plus, les berges de part et d'autre de l'ouvrage de prise sont à environ 479.00 m.



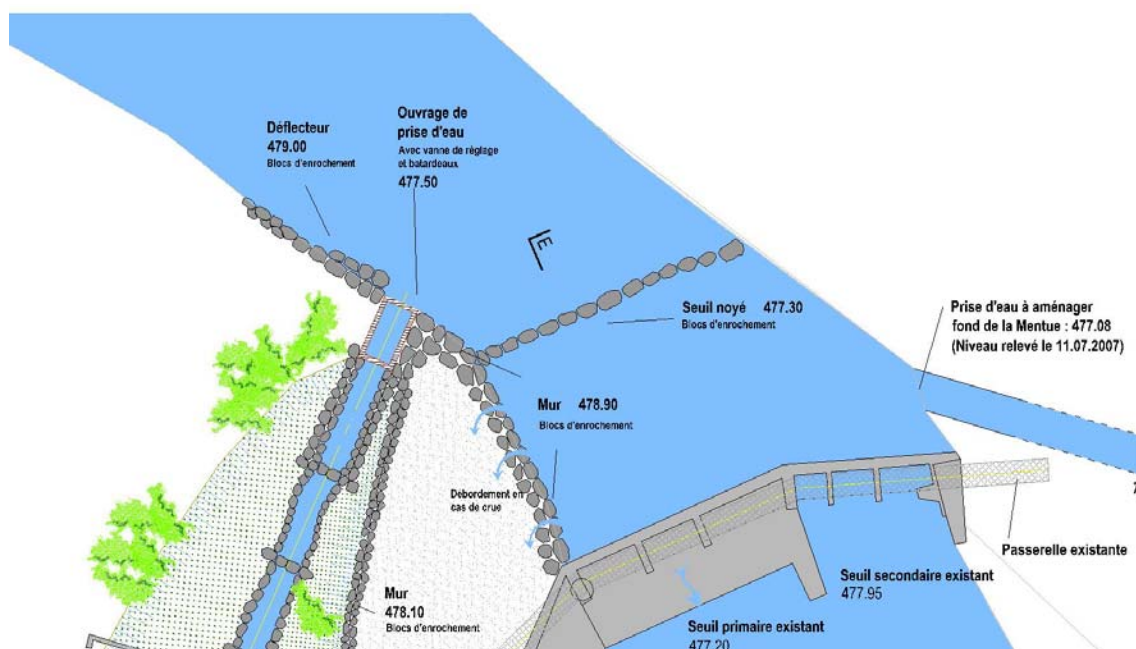


Figure 22. Situation actuelle: barrage et début de la passe à poissons

Afin de pouvoir atteindre le niveau d'eau de 479.22 m, les berges en amont de la passe à poissons devront être rehaussées, vraisemblablement sur plusieurs centaines de mètres. Un relevé du profil en long des berges doit être effectué afin de définir l'ampleur de ces travaux de surélévation des berges.

Le canal de la passe à poisson pourrait être prolongé en amont afin que l'ouvrage de prise puisse fonctionner avec un niveau maximum de 479.22 m. La longueur de ce prolongement dépendra du profil en long du lit de la rivière.

L'ensemble de ces travaux devra être discuté avec le SESA avant l'établissement du projet définitif.



Photo 9. Prise d'eau de la passe à poissons



Photo 10. Canal de la passe à poissons

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE

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

- Le niveau d'eau à la prise d'eau est maintenu constant par la manœuvre de l'organe de réglage du débit de la turbine (pales de la roue motrice en l'occurrence).
- Dès que le débit du cours d'eau est supérieur à la somme de celui de la passe à poisson et du débit d'équipement de la turbine, les vannes secteur s'abaissent pour maintenir le niveau d'eau amont.



- Tant que le niveau d'eau à la prise d'eau est inférieur au niveau de consigne, la turbine est à l'arrêt.

TURBINE

Se reporter au croquis de principe de l'annexe 2 et à la coupe dans le local de turbinage de l'Annexe 8.

Les indications issues des travaux MHyLab 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 une turbine de type Kaplan à axe vertical, dont l'entonnement amont est à section carrée.

L'aspirateur est dimensionné de manière à obtenir une vitesse de 2 m/s en sortie au débit maximal, soit un diamètre de sortie de 1070 mm pour un débit d'équipement de 1.8 m³/s. Il est de type droit (sans coude), et débite dans un petit bassin qui sera creusé en amont du canal de fuite, dans le local de turbinage.

Un muret-déversoir sera construit en sortie du canal de fuite, c'est-à-dire à l'arrivée dans la Mentue. Ce déversoir isole le canal de fuite du cours d'eau, et des limons charriés par celui-ci. Ainsi, il sera équipé d'un système de batardeaux pour permettre son nettoyage. De plus, sa crête étant à 472.40 m, il garantit une immersion permanente de la sortie de l'aspirateur.

GÉNÉRATRICE

Type		synchrone
Fréquence	Hz	50
Tension triphasée aux bornes	V	400
Vitesse de rotation	t/min	428.6
Puissance électrique	P _{el}	80
Cos φ		0.9
Puissance apparente	kVA	89
Classe de protection		IP23
Classe de refroidissement		IC 01

Tableau 4. 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.

VANNES, BATARDEAUX ET GRILLES DE L'INSTALLATION

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

- Dans le barrage:
 - vannes secteur automatiques pour maintenir le niveau de la Mentue constant dans le seuil primaire,
 - batardeau de planches fixes pour l'évacuation des crues dans le seuil secondaire.
- A l'entrée de la prise d'eau: la grille sera équipée d'un système de batardeaux pour isoler la prise d'eau et le tunnel, et les nettoyer.
- Dans la chambre d'eau de la turbine: la grille équipée d'un dégrilleur sera équipée également d'un



système de batardeaux pour isoler la chambre de d'eau et la nettoyer.

- A la sortie de l'aspirateur de la turbine: vanne papillon automatique pour l'arrêt de la turbine et son nettoyage
- A la sortie du canal de fuite: le muret-déversoir sera équipé d'un batardeau pour isoler le canal de fuite et le nettoyer.

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 $\cos \varphi$ (si non inclus dans l'alternateur).

Les indicateurs suivants seront à fournir :

- Voltmètre, wattmètre, fréquencemètre, mesure du $\cos \varphi$, 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 des pales de la roue motrice et du distributeur. Elle consistera à fermer la vanne aval de la turbine pour provoquer un remous. Elle sera commandée suivant un algorithme mettant en relation une baisse de puissance associée à la mesure de la dénivellation et de l'ouverture des pales.

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 limiter la survitesse du groupe.

RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE

Le raccordement électrique de la petite centrale demande le renforcement du réseau, ce qui implique le changement des câbles et l'installation d'un nouveau transformateur. Pour des questions notamment de fiabilité, Romande Energie, distributeur local, privilégierait la variante souterraine par rapport à celle aérienne.

Etude économique de la variante B

Cette étude économique 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

Le coût du turbogroupe a été estimé à 350'000 CHF en se basant sur des aménagements semblables.

Pour le raccordement électrique, les coûts ont été estimés par Romande Energie. Dans le cas d'une variante aérienne, le montant total est de 25'000 CHF (nouveaux câble et transformateur). Romande Energie privilégiant une variante souterraine, le montant devient 43'000 CHF. Toutefois, à ce jour, suivant leur suggestion, la différence de coût sera prise en charge par le distributeur.

Génie civil

A ce stade de l'étude, les coûts des travaux sur la passe à poissons ne sont pas évalués. Ceux-ci devront faire l'objet d'une étude spécifique.

Barrage	225'000
Bassin de captage	19'000
Prise d'eau	50'000
Canal d'amenée	5'000
Local de turbinage	196'000
Exutoire	39'000
Passe à poissons et digue	-
Investissement en génie civil	534'000

Tableau 5. Investissement en génie civil (CHF) (hormis les travaux sur la passe à poissons)

Le Tableau 5 présente les coûts de génie civil propres à chaque aménagement. Le devis complet est donné à l'Annexe 9.



Résumé des investissements

Les frais d'ingénierie sont estimés à **10.0 %** de l'investissement, de même que les divers et imprévus.

Electromécanique	375'000
Contrôle commande	50'000
Génie civil	534'000
Frais d'ingénierie	96'000
Divers et imprévus	96'000
Investissement total	1'151'000

Tableau 6. Résumé des investissements pour la variante B

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 **30'000 CHF/an**.

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 **5 %**, taux que l'on peut considérer comme prudent sur le moyen terme.
- 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.

Investissement total	CHF	1'151'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	30'000
Production annuelle	MWhe/an	353
Taux d'intérêt	%	5.00
Coefficient d'annuité pondéré	%	6.57
Annuité	CHF/an	69'000
Prix de revient	cts/kWh	28.15

Tableau 7. Calculs économiques pour la variante B



Conclusions, remarques et suggestions

- Le retour du seuil à son niveau concédé de 479.22 m, soit un rehaussement de 2 m environ, permet un gain en terme de production électrique de **193'000 kWh/an**. En effet, le site dans son état actuel permettrait d'installer une turbine de 25 kW (débit d'équipement de 0.74 m³/s, pour une chute nette maximale de 4.31 m), soit une production électrique de 160'000 kWh/an (variante A). Le site réadapté à la concession permettrait quant à lui d'installer une turbine de 80 kW (débit d'équipement de 1.80 m³/s, pour une chute nette maximale de 5.66 m), soit une production électrique de **353'000 kWh/an** (variante B).
- Le prix de revient de cette variante B est de **28.15 cts/kWh**. Il s'agit d'un coût minimal, les travaux sur la passe à poissons n'étant pas inclus. Une étude spécifique devra être menée afin de préciser ces coûts. En considérant qu'une passe à poisson coûte de l'ordre de 100'000 CHF par mètre de dénivelé, soit 200'000 CHF de travaux dans ce cas précis, l'investissement total serait de 1'390'000 CHF environ, soit un prix de revient final pour la variante B de **31.8 cts/kWh**.
- Dans le cas de la variante B, la puissance équivalente étant de 40 kW, la chute brute étant de 6.32 m, les travaux de génie civil s'élevant à plus de 30 % de l'investissement total, la rétribution selon l'ordonnance sur l'énergie en cours de révision est de l'ordre des **31.2 cts/kWh** (plafond à 35.0 cts/kWh). Par conséquent, la rentabilité du projet dépend du coût de la modification de la passe à poissons.
- La phase suivante consistera principalement à effectuer des études spécifiques de la passe à poissons et de l'impact général de la modification du niveau d'eau amont sur l'environnement et la gestion des crues.

Annexes

Annexe 1. Carte des bassins versants entre la station de mesure d'Yvonand et le Moulin de Cronay (source: SESA, août 2007)

Annexe 2. Croquis d'encombrement de la turbine axiale (source: MHyLab, août 2007)

Annexe 3. Plan de situation de l'existant, Moulin de Cronay (source: RWB SA, juillet 2007)

Annexe 4. Profil en long de l'existant, Elévation, Moulin de Cronay (source: RWB SA, juillet 2007)

Annexe 5. Détails et vues en plan de l'existant (prise d'eau, local de turbinage), Moulin de Cronay (source: RWB SA, juillet 2007)

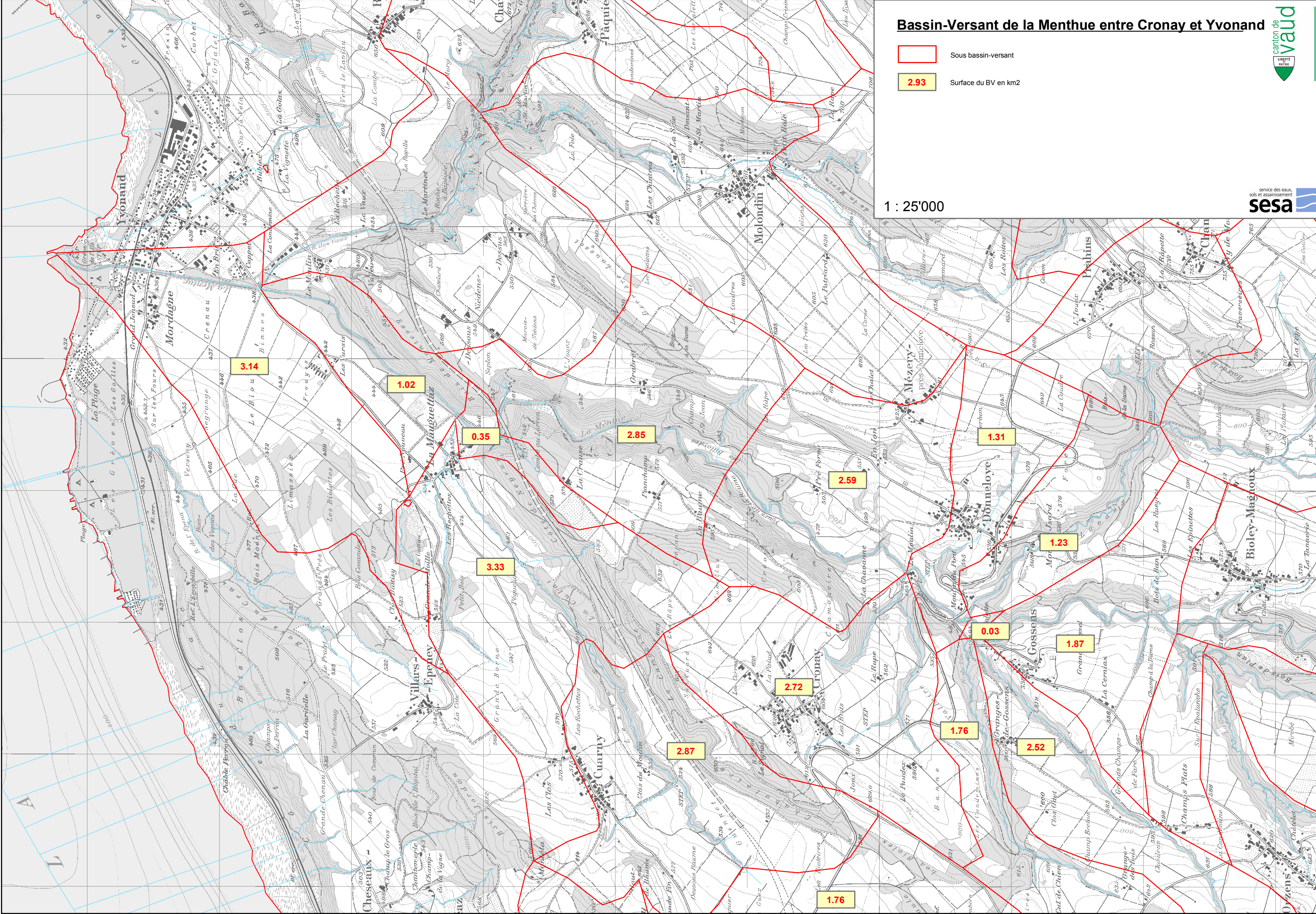
Annexe 6. Plan de situation du nouvel aménagement, Moulin de Cronay (source: RWB SA, août 2007)

Annexe 7. Profil en long du nouvel aménagement et détails de la prise d'eau, Moulin de Cronay (source: RWB SA, août 2007)


Annexe 8. Local de turbinage, Moulin de Cronay (source: RWB SA, août 2007)

Annexe 9. Devis de génie civil (source: RWB SA, septembre 2007)





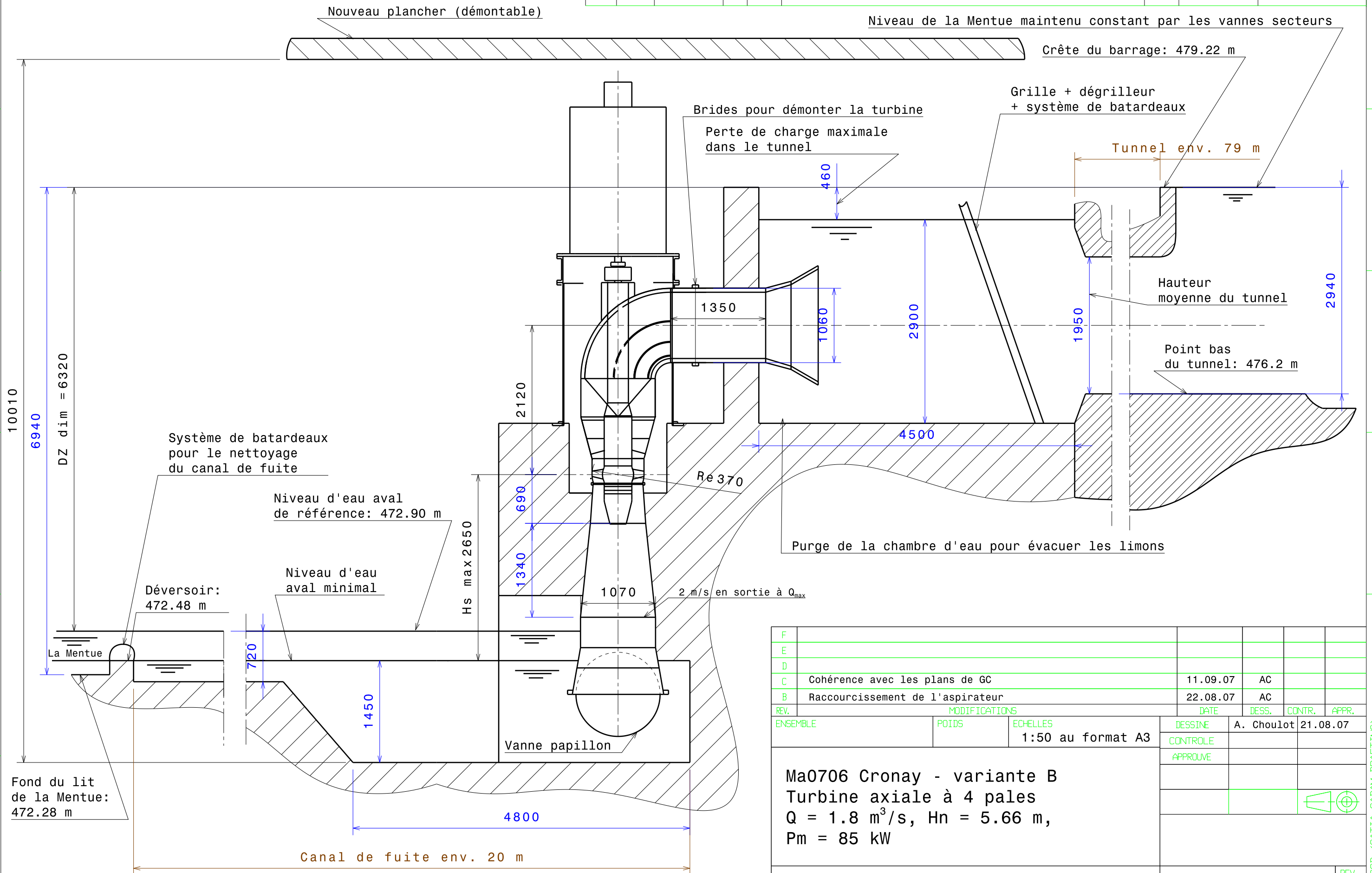
Bassin-Versant de la Menthue entre Cronay et Yvonand


 Sous bassin-versant

 Surface du BV en km²

1 : 25'000

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.

[illegible]

F					
E					
D					
C	Cohérence avec les plans de GC	11.09.07	AC		
B	Raccourcissement de l'aspirateur	22.08.07	AC		
REV.	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	CONTR.	APPR.
ENSEMBLE		POIDS	ECHELLES 1:50 au format A3		DESSINE A. Choulot 21.08.07
					CONTROLE
					APPROUVE
<p>Ma0706 Cronay - variante B</p> <p>Turbine axiale à 4 pales</p> <p>$Q = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_n = 5.66 \text{ m}$,</p> <p>$P_m = 85 \text{ kW}$</p>					
 <div style="margin-left: 100px;">Laboratoire de Mini-Hydraulique 1354 MONTCHERAND SUISSE</div>					REV. C
Ma0706-0001-3					

PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE

Turbinage des eaux de la Mentue

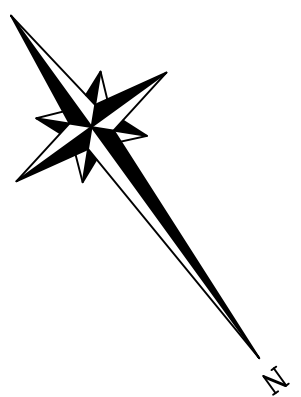
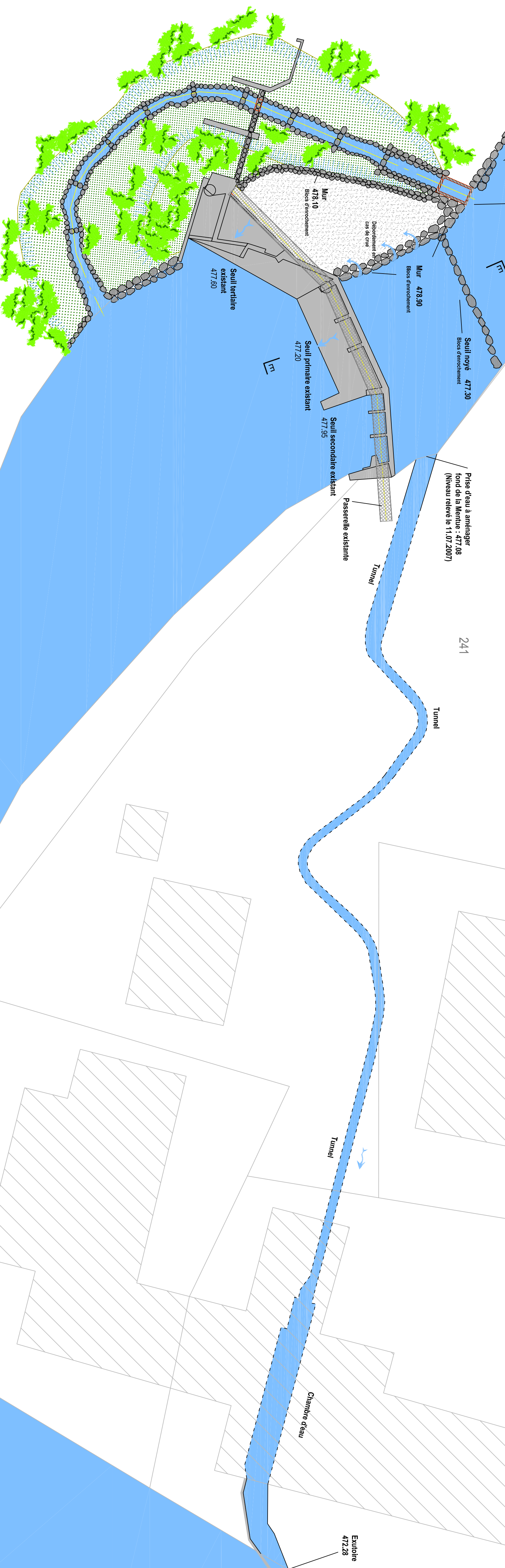


SITUATION GENERALE

Etat existant

SITUATION 1:200

07:21:10	N° de grupo	22.07.07
IRKOOC	Disc	
	Inst / CP	
	Apellidos	
100 x 60	Sex	
	email : yvendon@mbach	
	site : www.mbach	
	fax : +41 0023 423 95 79	
	tel : +41 0023 423 95 70	
	Rue de Calles 15	
	411 300 Yvendon-les-bains	



PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE

Turbinage des eaux de la Mentue



LOCAL DE TURBINAGE

Projet
Turbine axiale à 4 pales

VUES EN PLAN ET COUPE 1:50

Site de La Mentue
CPI-1000 Virelleschamps

Tel. +33 (0)34 223 95 70
Fax. +33 (0)34 223 95 79
contact@virelleschamps.fr
Site: www.virelleschamps.fr

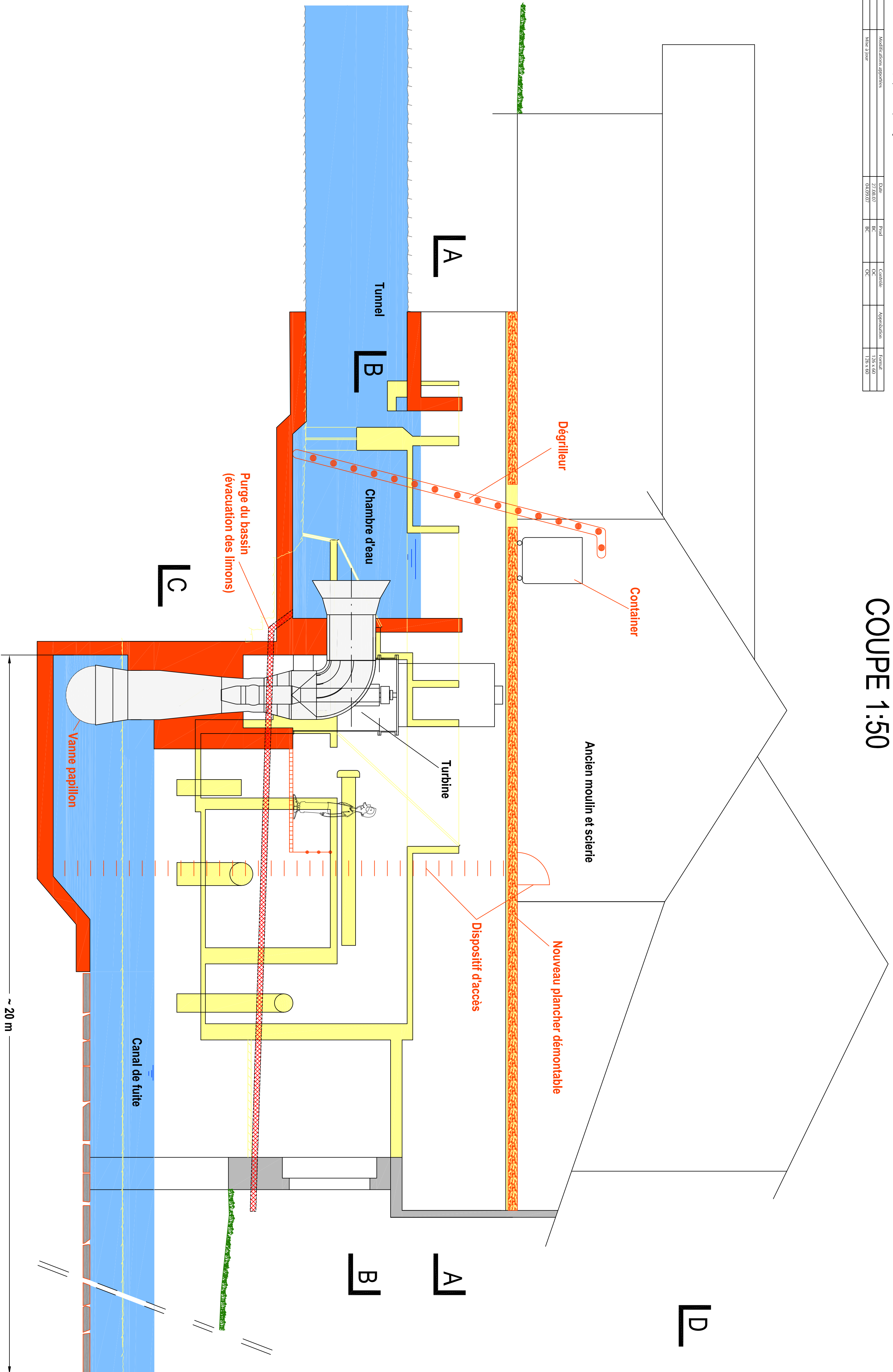
Projet
Date
Révisé
Approuvé
Niveau

05/11/2023
05/11/2023
05/11/2023
05/11/2023
1/20.000

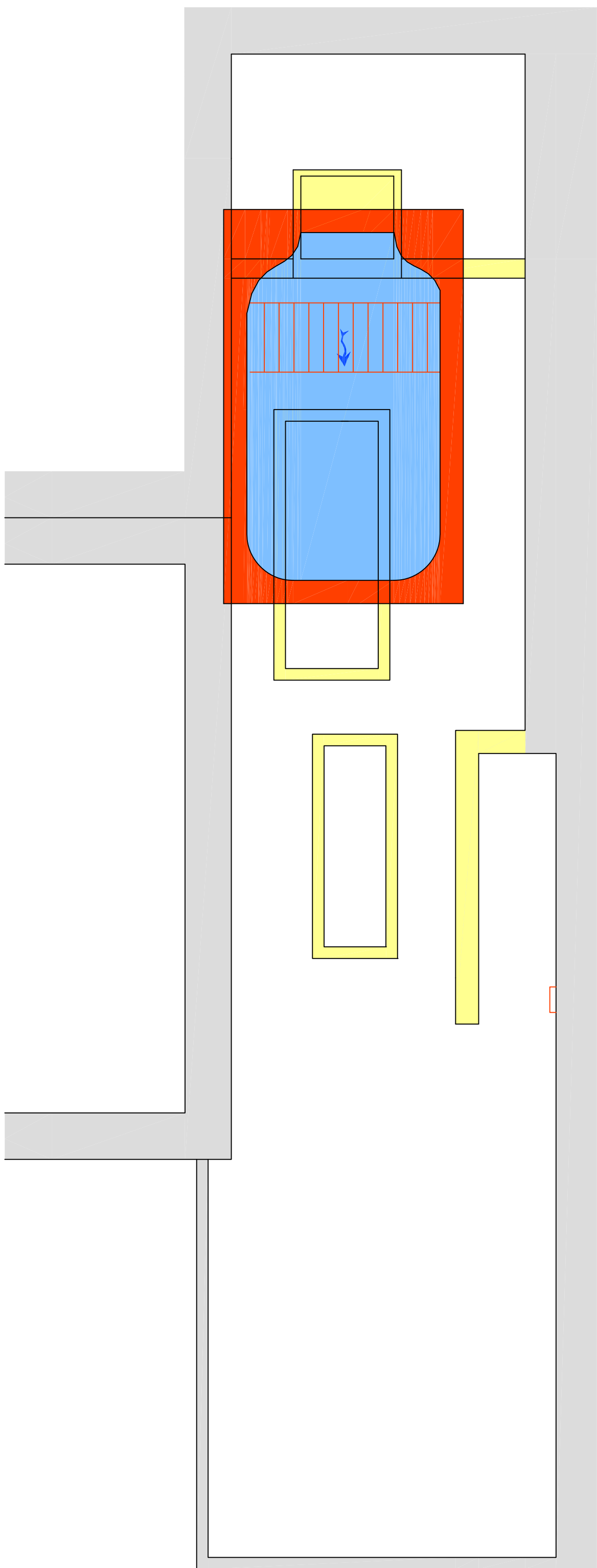
PROJET	DATE	PROJET	DATE	PROJET	DATE	PROJET	DATE	PROJET	DATE
PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023
PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023
PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023	PROJET	05/11/2023

Légende
à démolir
à construire

COUPE 1:50

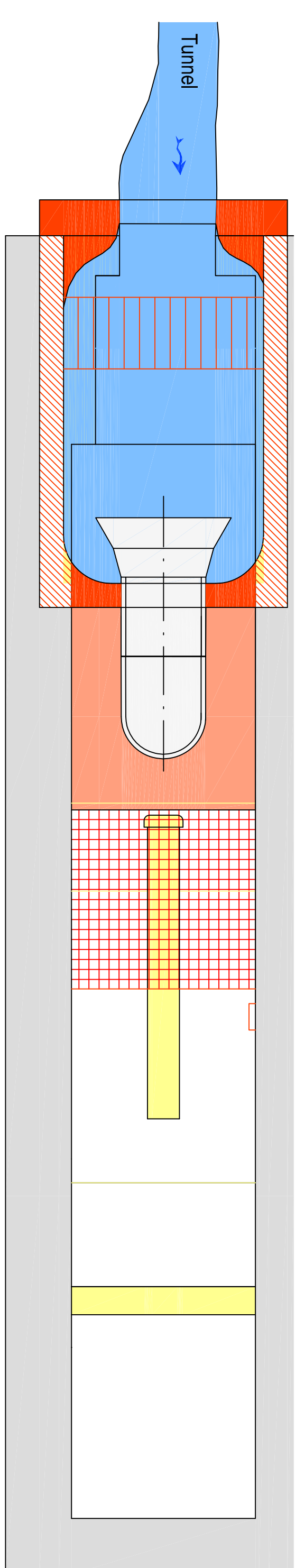


B



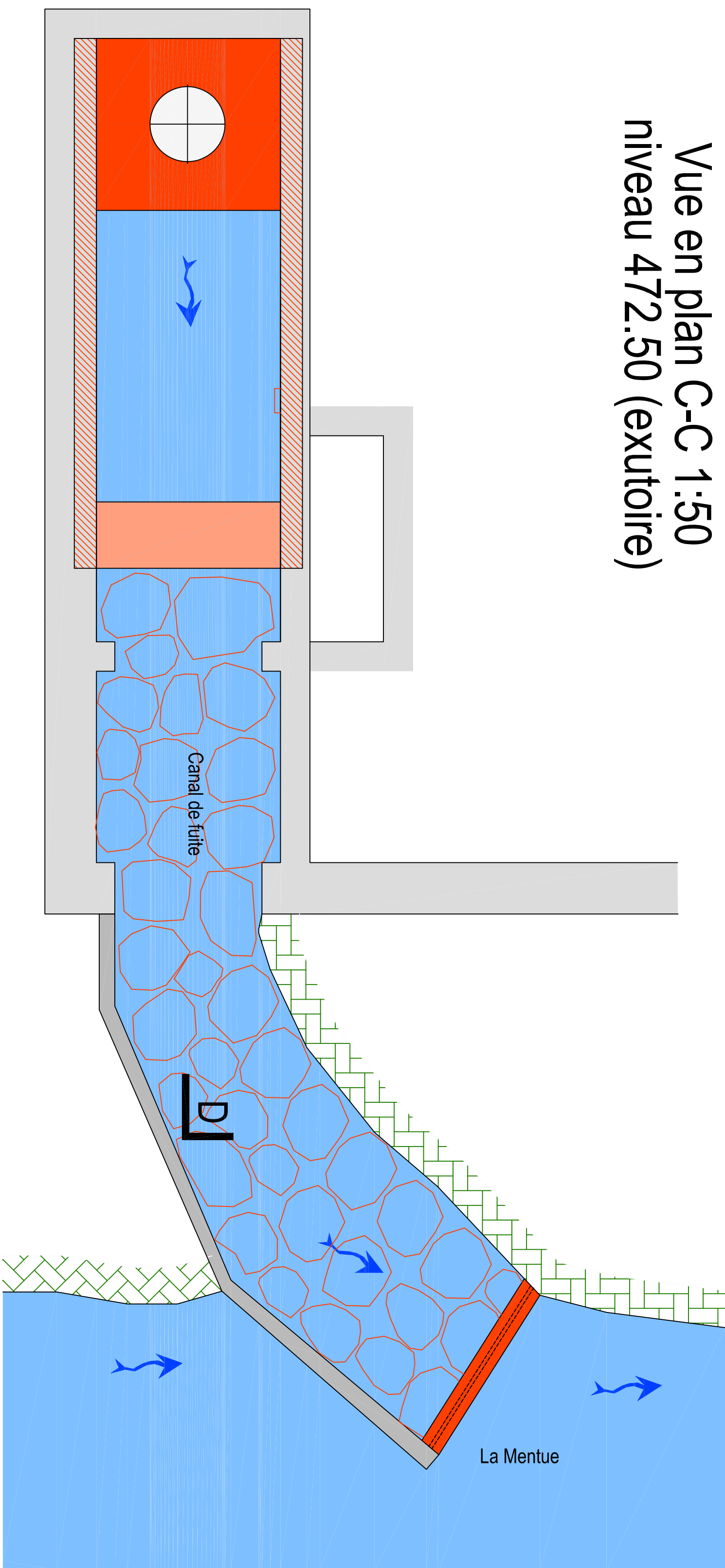
Vue en plan A-A 1:50
niveau 479.00

B



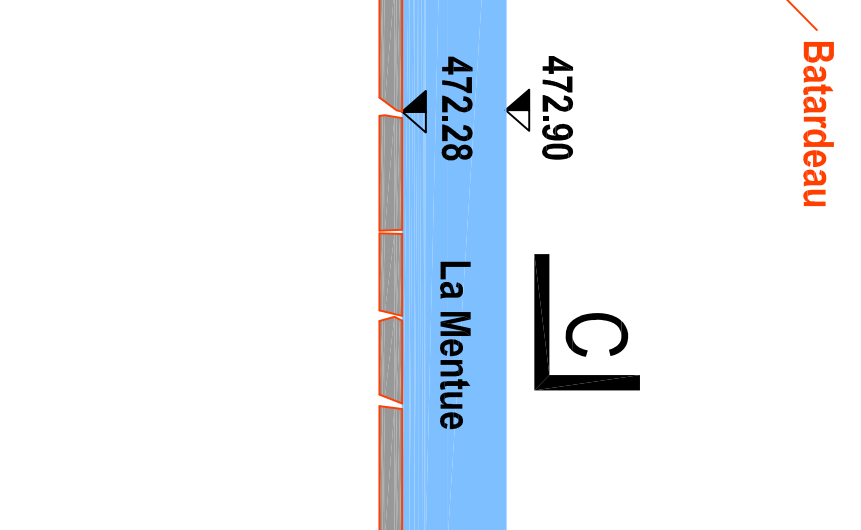
Vue en plan B-B 1:50
niveau 477.00 (chambres d'eau)

B



Vue en plan C-C 1:50
niveau 472.50 (exutoire)

B




Batardeau

472.90

472.28

La Mentue

~ 20 m

 RWB eau et environnement SA	VARIANTE DEFINITIVE			
	prix estimés (sans offre de fournisseur)			
Ma0706 PCH Cronay	U	Métrés	PU	total
Devis des travaux de génie civil				
Bassin de captage				19'000
batardeau y c. entretien	m	7	1'000	7'000
curage du fond et du canal	j	6	1'000	6'000
seuil en enrochement	j	3	1'000	3'000
fond en enrochement 30 cm x 2t/m3 x 200.-/to	j	3	1'000	3'000
Prise d'eau				49'400
excavation	m3	200	20	4'000
décharge	m3	150	40	6'000
remblai	m3	50	20	1'000
béton armé (m3 métré)	m3	11	1'000	11'000
tuyau vidange	m	6	400	2'400
grille verticale	gl	1	10'000	10'000
vanne batardeau vidange 100x50	p	1	5'000	5'000
batardeau sur grille 4x4m	p	1	10'000	10'000
canal d'amenée				5'000
curage	j	5	1'000	5'000
Local de turbinage				196'000
démolition (m3 SIA)	m3	400	70	28'000
éclayage	gl	1	15'000	15'000
excavation	m3	50	200	10'000
béton armé (m3 métré)	m3	67	1'200	80'400
béton remplissage turbine	m3	22	500	11'000
conduite purge limons	m	13	200	2'600
caillebotis et échelles	gl	1	10'000	10'000
nouveau plancher scierie	m2	60	150	9'000
dégrilleur et container	gl	1	30'000	30'000
Exutoire				39'000
excavation	m3	35	200	7'000
éclayage	gl	1	7'000	7'000
béton armé (m3 métré)	m3	7	1'200	8'400
fond enrochement	m2	34	150	5'100
seuil	m	3	500	1'500
vanne batardeau	gl	1	10'000	10'000
Barrage				225'000
vanne batardeau longueur 6 m	gl	1	20'000	20'000
renforcement de la structure pour vanne batardeau	gl	1	15'000	15'000
structure pour vanne secteur	gl	1	60'000	60'000
vanne secteur largeur 2 m, haut 2 m	p	4	25'000	100'000
mise en pace des vanne par autogrue	gl	1	12'000	12'000
automation	gl	1	10'000	10'000
réhaussement digues amont	m	10	800	8'000
Passe à poissons et digues				
rallongement du canal				0
nouvelle prise d'eau				0
rehaussement seuil aval				0
TOTAL TRAVAUX I				533'400
divers et imprévus		10%		53'340
TOTAL TRAVAUX II				586'740
Honoraires		12%		70'409
TOTAL TRAVAUX II				657'149
TVA		7.60%		49'943
TOTAL TRAVAUX TTC				707'092