



CENTRALE DES MOULINETS

REHABILITATION DU BARRAGE DES MOULINETS ET DES TURBINES DES ANCIENS MOULINS « ROD », ORBE

Rapport d'avant-projet 2009

Auteur

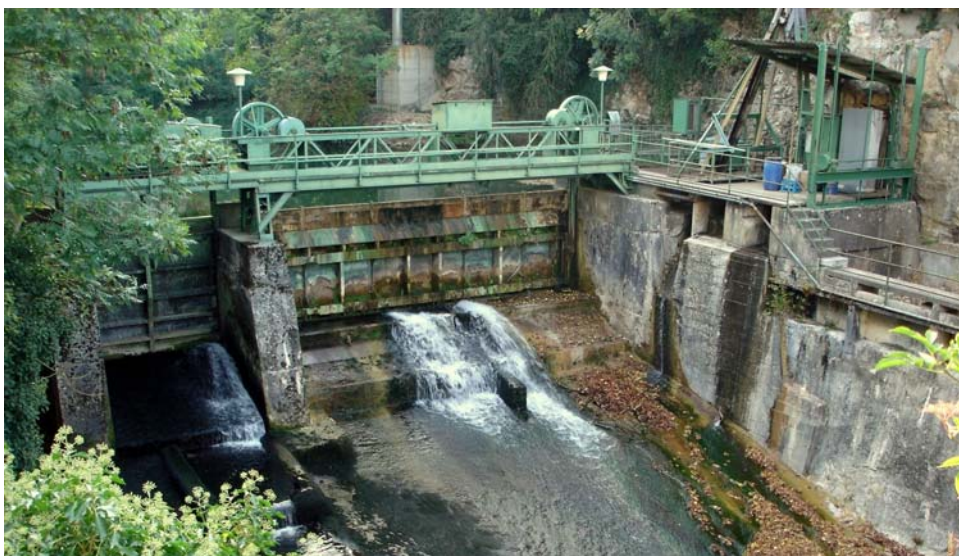
Mario Gerodetti, GEOS Ingénieurs Conseils SA
Boulevard de Grancy 1
CH-1006 Lausanne

mario.gerodetti@geos.ch
www.geos.ch

Maître d'ouvrage

VO Energies SA
Usines de l'Orbe
CH-1350 Orbe

p.rigoli@voenergies.ch
www.voenergies.ch



Date: 25 août 2009

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: 102705

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



Table des matières

Résumé	4
Zusammenfassung	4
Abstract	5
1. INTRODUCTION	6
2. DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT EXISTANT	6
3. ASPECTS LEGAUX	8
3.1 Concession actuelle de force motrice	8
3.2 Nouvelle concession et redevance	8
3.3 Assujettissement à l'OSOA	9
4. ETUDES ANTERIEURES.....	10
5. CONDITIONS NATURELLES	11
5.1 Régime hydrologique	11
5.2 Débits classés	11
5.3 Débits de crues	12
5.4 Niveaux et lignes d'eau	13
5.5 Débits minimum.....	14
5.6 Débits modulés.....	15
6. DESCRIPTION DU PROJET.....	16
6.1 Centrale hydroélectrique	16
6.2 Barrage.....	17
6.3 Ouvrages de franchissement pour les poissons et castors	18
6.4 Exécution et planning des travaux	19
7. ESTIMATION DES COUTS - ANALYSE ECONOMIQUE.....	21
7.1 Production d'énergie	21
7.2 Coût des travaux	22
7.3 Analyse économique et prix de vente	23
Annexes.....	25



Résumé

L'aménagement existant du barrage des Moulinets et de la centrale des anciens Moulins ROD comprend un barrage de prise d'eau sur l'Orbe situé en amont du pont médiéval de la rue des Moulins, un canal d'amenée situé en rive gauche contre la falaise et trois groupes de production d'énergie situés sous les bâtiments des anciens moulins, situés sur la rive gauche en aval du pont des Moulinets.

L'emplacement actuel des groupes de production, dans les sous-sols des anciens moulins aujourd'hui bâtiments classés, n'est pas propice à une modernisation. Pour une rénovation des installations hydroélectriques et une utilisation plus rationnelle du potentiel de force motrice du site, il y a lieu d'abandonner ce site, et de regrouper l'ensemble des installations de production hydroélectrique à proximité du barrage existant.

S'appuyant sur la demande de l'autorité cantonale (SESA) relative à l'optimisation de l'utilisation de la force motrice, le niveau de retenue normale a été surélevé de 40 cm dans le présent projet, augmentant ainsi les chutes disponibles d'autant.

Le projet prévoit l'installation de deux groupes de production d'électricité d'une puissance totale électrique de 1060 kW dans une nouvelle centrale hydroélectrique située en rive gauche, contre la falaise rocheuse, à l'emplacement même du canal d'amenée actuel. Cette implantation de la nouvelle usine empiète sur le barrage existant. Celui-ci nécessitant de toute façon un confortement de ses fondations à cause d'un affouillement important, il est prévu de le rénover complètement. Cette rénovation comprend la démolition des vannes et des piles existantes, la construction de deux nouvelles passes de 5.10 m de large chacune et l'installation de deux nouvelles vannes clapet.

Déoulant des obligations de la loi fédérale sur la pêche (LFP) ainsi que des obligations liées au transfert de la concession qui impose aux Usines de l'Orbe de concevoir un ouvrage permettant d'assurer la libre migration des poissons, plusieurs types d'ouvrages de franchissement pour les poissons au barrage des Moulinets ont été étudiés. Au vu des difficultés rencontrées pour l'implantation d'une passe classique à bassins successifs, le concept retenu est celui d'un ascenseur à poissons qui est une solution éprouvée dans des situations étriquées où il y a un manque évident de place.

Le coût d'investissement total est de l'ordre de CHF 10 millions, hors TVA, et comprend la construction d'une nouvelle usine hydroélectrique, la rénovation du barrage existant avec l'installation de nouvelles vannes ainsi que l'ascenseur à poissons assurant la migration des poissons à la montaison.

La production annuelle moyenne de l'aménagement est évaluée à 4.22 GWh. Le coût du kWh produit est parfaitement en accord avec le prix de rétribution de 20.8 cts/kWh selon la nouvelle ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEI) du 14 mars 2008.

Zusammenfassung

Die bestehenden Wehr- und Turbinenanlagen der ehemaligen Mühlenbetriebe „ROD“ umfassen ein Wehr und eine Wasserfassung die auf dem Fluss Orbe oberhalb der aus dem Mittelalter stammende Brücke der „Rue des Moulins“ gelegen sind, einen an der linken Felsflanke entlang gelegenen Zulaufkanal und drei Turbineneinheiten die in den alten Mühlegebäuden unterhalb der „Moulinets“ Brücke untergebracht sind.

Die Lage der bestehenden Turbinen in den Untergeschossen des unter Schutz gestellten ehemaligen Mühlebetriebs ist nicht günstig für eine Modernisierung der Anlage. Für die Erneuerung der Kraftwerksanlage und eine optimale Nutzung des vorhandenen Wasserkraftpotenzials zwingt es sich auf, diesen Standort aufzugeben und alle notwendigen Einrichtungen der Kraftwerksanlage in Wehresnähe zu platzieren.

Gestützt auf die Forderung der kantonalen Behörde bezüglich der optimalen Nutzung des vorhandenen Wasserkraftpotenzials ist die bestehende Staukote im vorliegenden Projekt um 40 cm erhöht worden, was die nutzbare Fallhöhe entsprechend erhöht.



Das Projekt sieht die Einrichtung von zwei Turbinengruppen mit einer Gesamtleistung von 1060 kW in einem neuen an der linken Felsflanke anliegenden Kraftwerkhaus vor, an Stelle des heutigen Zulaufkanals. Diese Anordnung bedingt ein platzmässiges Übergreifen des Kraftwerkes auf das bestehende Wehr dessen Fundament ohnehin unterkolkt und reparaturbedürftig ist. Das Wehr wird dazu vollständig umgebaut, die Wehrpfeiler abgebrochen und zwei neue Wehröffnungen von je 5.50 m Breite werden erstellt die mit zwei Klappschützen ausgerüstet sind.

Ausgehend von den gesetzlichen Pflichten, Bundesgesetz über die Fischerei (BGF) und Konzessionsübertragungsakt, die dem Bauherrn auferlegen die Fischwanderung sicherzustellen, sind verschiedene Fischaufstiegseinrichtungen untersucht worden. Anbetrachts der sehr bescheidenen Platzverhältnisse unterhalb des Wehrs ist eine herkömmliche Lösung in der Form eines Beckenpasses nicht möglich und eine Aufstiegseinrichtung in Form eines Fischlifts ist deshalb vorgesehen.

Die Gesamtinvestitionskosten in der Grössenordnung von 10 Millionen Franken beinhalten den Bau eines neuen Kraftwerkes, die Erneuerung der Wehranlage sowie den Fischlift der die aufsteigende Fischwanderung sicherstellt.

Die durchschnittliche jährliche Stromerzeugung ist auf rund 4.22 GWh errechnet. Die Kosten der erzeugten Kilowattstunde sind vollkommen in Einklang mit der Vergütung von 20.8 Rp/kWh gemäss der neuen Stromversorgungsverordnung (StromVV) vom 14 März 2008.

Abstract

The existing dam and turbine installation called „Les Moulinets“ of the former „ROD“ mills includes a weir and intake structure located on the Orbe River upstream of the medieval stone bridge of the „Rue des Moulins“, a conveying channel along the rocky hillside and three turbine units housed in the old mill buildings downstream of the „Moulinets“ bridge.

The location of the existing turbines in the sub-basements of the classified mill buildings is not favourable for a modernization of the installation. For the replacement of the powerplant and for an optimised utilisation of the hydropower potential it is necessary to abandon the actual turbine site and to group together all the necessary installations for power production near the weir site.

Based on the request of the cantonal authority concerning the optimised utilisation of the existing hydropower potential, the existing reservoir level was raised some 40 cm, increasing at the same time the available head.

The project design includes two turbine units with a total electrical capacity of 1060 kW located in a new powerhouse at the left riverbank in place of the actual conveying channel. The powerhouse thus encroaches on the existing weir, the foundations of which are under scoured and has to be repaired any way. The weir will have to be completely reconstructed, the piles demolished and two new 5.5 m wide openings equipped with two flap gates will be created.

The legal obligations, Federal Law on Fishery (BGF) and concession agreement, imposes that fish migration be guaranteed. Therefore, several types of fishways were studied for the upstream passage of fish. Considering the difficulties for implementing a classic fishpass of the pool/weir type, the concept of a fish elevator is adopted.

The total investment cost is some 10 million francs and includes the construction of a new powerplant, the renovation of the weir and the construction of the fish elevator.

The mean annual power production is evaluated to some 4.22 GWh. The cost of the kWh is fully in compliance with the allowance of 20.8 cts/kWh according to the Power Regulation Act (StromVV) of 14 March 2008.



1. INTRODUCTION

Sur le cours d'eau de l'Orbe, sur le territoire de la commune du même nom, existe un aménagement hydroélectrique lié aux anciens Moulins Rod. Les Usines de l'Orbe SA (UO) ont acquis, le 1er avril 2004, la centrale Rod à Orbe.

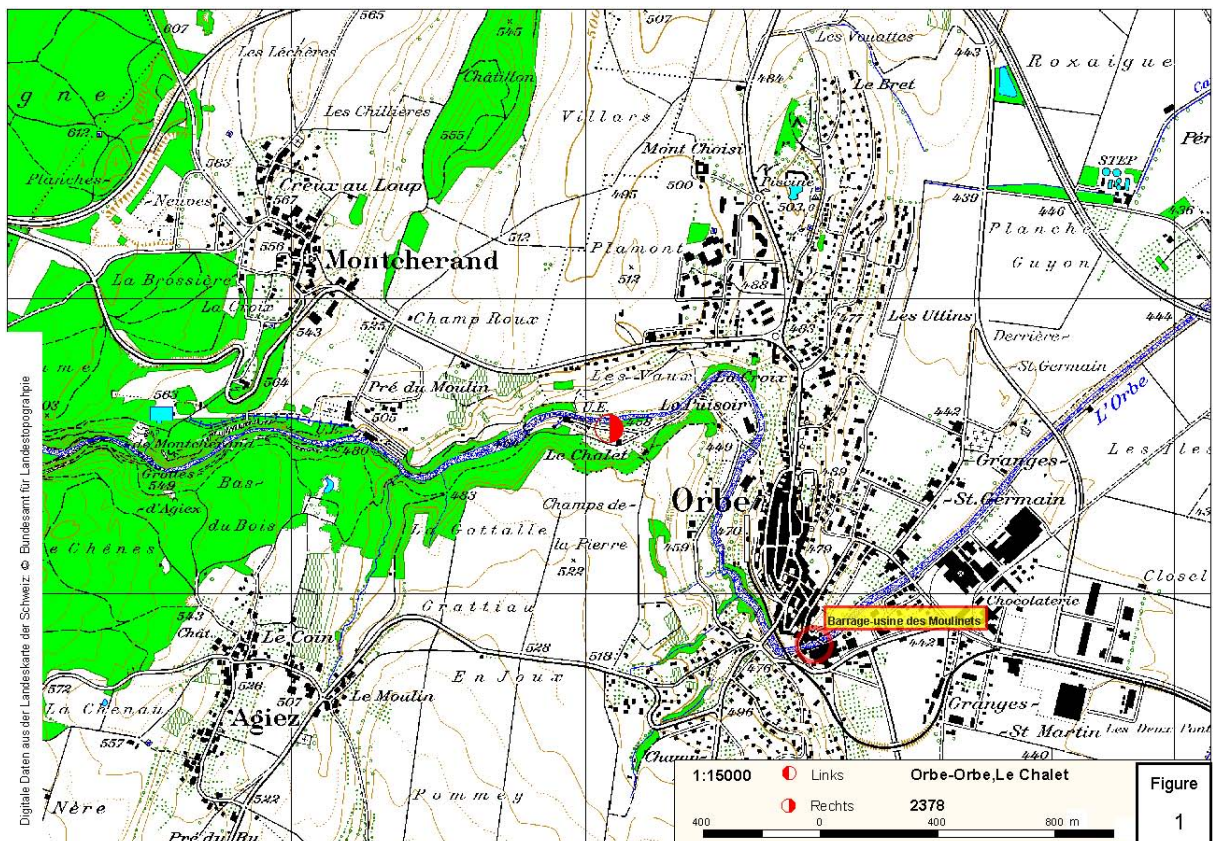
L'administration cantonale vaudoise (SESA) a subordonné le transfert de la concession de l'ancien propriétaire sur UO à ce que l'utilisation des eaux concédées soit optimisée au plus vite et que la centrale actuelle ne soit pas exploitée en l'état pour une période supérieure à 5 ans.

Le SESA demande à UO de lui adresser dans les meilleurs délais, un projet de remise en état de la centrale des anciens Moulins Rod.

Dans ce contexte, UO a mandaté GEOS Ingénieurs Conseils SA, Lausanne et le bureau d'ingénieur ESATECH, Vevey pour établir les études relative à la mise en valeur hydroélectrique du site et d'en évaluer les coûts. Le présent rapport présente les résultats de ces études.

2. DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT EXISTANT

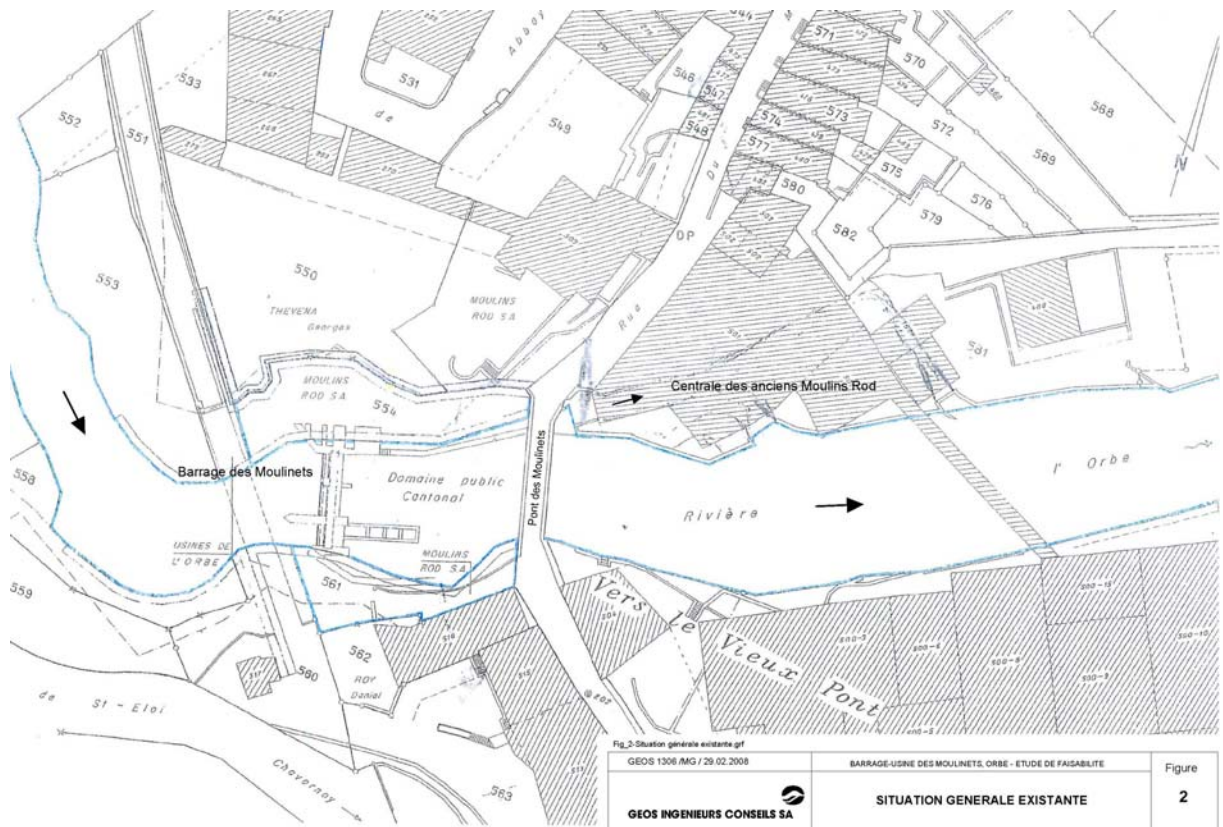
La localisation du barrage des Moulins et de la centrale Rod est indiquée sur la Figure 1, la situation générale du site sur la Figure 2.



L'aménagement existant comprend un barrage de prise d'eau sur l'Orbe, appelé barrage des Moulins situé en amont du pont médiéval de même nom, un canal d'amenée situé en rive gauche contre la falaise et trois groupes de production d'énergie situés sous les bâtiments des anciens moulins, situés sur la rive gauche en aval du pont des Moulins.

Ces trois groupes sont relativement anciens et disposés dans un périmètre de 50 sur 30 m environ, de manière peu propice à l'exploitation. Cette situation est peu satisfaisante sur le plan de l'exploitation, ceci d'autant plus que UO n'est pas propriétaire des murs. Le débit turbiné est de l'ordre de $14 \text{ m}^3/\text{s}$ au maximum.





La centrale des anciens Moulins Rod, anciennement exploitée manuellement par 3-4 hommes afin de couvrir l'exploitation d'environ 19 heures/jour, sept jours sur sept, a été automatisée ces dernières années. Cette modernisation du contrôle-commande s'inscrit dans le cadre de l'objectif pour exploiter plus rationnellement le droit d'eau acquis. Elle a permis d'atteindre une production annuelle moyenne de 2.0 GWh environ (1.915 GWh en 2005).

Le barrage existant a été construit sur un ancien barrage en maçonnerie, surmonté d'un barrage mobile composé de deux vannes planes métalliques, commandées électriquement ou à bras, indépendamment l'une de l'autre, à savoir:

- une vanne de 10 m de largeur (grande vanne), dont le seuil est à la cote 444.75 msm.
- une vanne de 3.50 m de largeur (petite vanne), dont le seuil est à la cote 444.50 msm.



Photo 1
 Vue d'aval du barrage existant



Le niveau de la retenue normale est de 447.70 msm ; il est réglé en fonction du débit de la rivière de sorte que le niveau d'eau au limnimètre du Puisoir ne dépasse pas la cote de 1.20 m, correspondant à l'altitude de 438.36 msm.

En rive droite, entre la petite vanne et la paroi rocheuse, se trouve une échelle à poissons étroite et raide qui ne semble plus fonctionner depuis longtemps. Une rampe en bois a été installée au-dessus de cette passe il y a quelques années pour permettre aux castors de franchir la chute.

Au pied du barrage et du mur soutenant le canal d'amenée, d'importants affouillements sont constatés aujourd'hui (voir Plan Topo du 09.11.2007 - DTP SA). Des relevés fait en 1948 montrent que ces affouillements étaient déjà présents à l'époque et relativement importants.

3. ASPECTS LEGAUX

3.1 CONCESSION ACTUELLE DE FORCE MOTRICE

La concession pour l'aménagement existant est celle accordée en juillet 1933 à la société des "Moulins Rod", en extension et modification d'autorisations antérieures. Elle est indépendante de la concession ancienne (abergement) qu'elle modifie. Elle annule et remplace celle de 1894 et les autorisations annexes de 1901 et 1911.

La concession de 1933 avait une durée de 19 ans et autorisait à utiliser les eaux de l'Orbe comme force motrice pour actionner les machines des moulins sus-mentionnés.

Le barrage mobile composé de 2 vannes était alors construit sur l'ancien barrage en maçonnerie arasé à la cote 444.63 msm (niveau déterminé par le droit perpétuel) en exhaussant de quelque 2.75 m le niveau du barrage primitif.

En 1955, la concession Orbe N° 15 a été renouvelée avec une durée de 80 ans, soit jusqu'au 31 décembre 2034.

En 1989, dans un avenant, le concessionnaire a été relevé de l'obligation de construire une échelle à poissons au barrage, moyennant la fourniture d'eau à la pisciculture de la SVPR située immédiatement en aval de l'usine.

Il est également précisé que l'entretien des berges à l'amont de la retenue jusqu'au profil N° 14, soit 1400 m à l'amont du barrage, est à la charge du concessionnaire.

En 2004, la concession est transférée au nom de la société Usines de l'Orbe SA, devenue propriétaire de la centrale hydraulique "Moulins Rod".

L'autorité cantonale a subordonné ce transfert de concession aux conditions suivantes:

- L'utilisation des eaux concédées doit être optimisée au plus vite.
La centrale actuelle ne doit pas être exploitée en l'état au-delà d'une période de 5 ans.
- Le pied du barrage doit être renforcé pour assurer la sécurité de l'ouvrage.
- En coordination avec ces travaux de renforcement, une passe à poissons est à prévoir.
- Le concessionnaire est prié de présenter, dans les meilleurs délais, un projet de remise en état des installations existantes.

3.2 NOUVELLE CONCESSION ET REDEVANCE

Les débits et les chutes utilisés pour la production hydroélectrique étant différents des valeurs concédées actuellement, il y aura lieu de demander une modification de la concession actuelle. La nouvelle concession est à demander pour une hauteur de chute utilisable maximum de 6.85 m équipée pour un débit maximum utilisable de 21.6 m³/s fournissant une puissance hydraulique théorique moyenne annuelle de 606 kW (selon RDE 721.831). Les variations dans l'année de la chute, du débit équipé futur et des puissances électriques de l'usine sont données dans la Figure 7 en la forme de valeurs classées.



La répartition sur le droit perpétuel et la concession actuelle peut se baser sur la puissance théorique moyenne de 606 kW proportionnellement à la chute concédée en surplus du droit perpétuel.

L'ancien barrage à maçonnerie ayant été arasé à la cote 444.63 msm (niveau déterminé par le droit perpétuel), la hauteur de chute selon le droit perpétuel est de $H_{anc.} = 3.43$ m, le niveau aval étant admis à 441.20 msm⁽¹⁾. Avec le niveau de retenue proposé de 448.10 msm, la hauteur de chute utilisable de la nouvelle usine est de $H_b = 6.85$ m, soit le double ($H_{anc.}/H_b = 50\%$). A l'instar de l'article 12 de la concession du 16 août 1989, la puissance théorique de la chute considérée pour l'état futur des installations pourrait être fixée à 303 kW.

La redevance hydraulique annuelle selon la loi fédérale sur l'utilisation des forces hydrauliques (LFH) est fonction de la puissance théorique moyenne annuelle (606 kW) et du tarif en vigueur (CHF 80.-/kW). L'article 49 LHF précise que les aménagements hydro-électriques dont la puissance n'excède pas 1 mégawatt sont exemptés de la redevance hydraulique annuelle. Pour ceux dont la puissance s'échelonne entre 1 et 2 mégawatts, il convient de prévoir, au plus, une augmentation linéaire allant jusqu'au maximum prévu.

La future usine d'Orbe est donc pratiquement exemptée de la redevance hydraulique annuelle.

3.3 ASSUJETTISSEMENT À L'OSOA

Dans le cadre de l'application de l'Ordonnance sur la sécurité des ouvrages d'accumulation (OSOA, RS 721.102, 7 décembre 1998), l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) a préparé, en collaboration avec les autorités cantonales, des directives ayant pour objectif d'apporter les précisions nécessaires à l'application des divers articles de l'OSOA.

Du point de vue répartition des compétences, la Confédération procède à l'exécution de la surveillance des ouvrages selon l'art. 21 et les cantons ont la tâche d'assurer celle des petits ouvrages.

Depuis la mise en vigueur de l'OSOA, le canton de Vaud s'est préoccupé de l'aspect de la surveillance des petits barrages. Une étude effectuée par A. Oberholzer⁽²⁾ concerne l'application des directives sur la sécurité des ouvrages d'accumulation et donne un état des lieux des petits ouvrages situés sur le territoire du canton de Vaud. Elle a permis au Service des eaux, sols et assainissement (SESA) d'avoir en mains les premiers instruments nécessaires pour identifier les ouvrages d'accumulation répertoriés, établir le danger particulier et définir les ouvrages à assujettir.

Une première évaluation basée sur des inspections in situ et des indications prises sur le terrain a montré que la majorité des ouvrages est dans un état jugé satisfaisant. Seuls quelques cas ont été estimés difficiles comme ceux de Bex (R. Meyer), Cronay, Ballaigues, **Orbe** et Penthalaz. Compte tenu du volume de retenue V_r et de la hauteur de retenue H_r , le niveau de danger particulier de chaque ouvrage a été évalué au moyen de l'analyse de l'onde de submersion en cas de rupture de l'ouvrage de retenue. Cette onde de submersion est caractérisée par la hauteur de l'onde H_i , la vitesse d'écoulement v_i et l'intensité $H_i v_i$ qui sont déterminées aux endroits considérés comme dangereux.

L'assujettissement à l'OSOA est basé sur ce critère du danger particulier. Les valeurs seuils données dans l'étude sont reproduits dans le tableau ci-dessous ; elles se basent sur la directive de l'OFEG sur la protection contre les crues des cours d'eau.

—

(1) ce qui correspond à un débit de $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

(2) "Sécurité des ouvrages d'accumulation et directives de l'OFEG - Application au canton de Vaud"
Alexandre Oberholzer, Office fédéral des eaux et de la géologie, Section Barrages, 2003



Valeurs seuils pour la mesure du danger particulier :

<i>Danger élevé</i> $H_i > 2 \text{ m}$, $H_i v_i > 2 \text{ m}^2/\text{s}$	Habitation, lieu de travail, bâtiment public, place de camping publique, voie de communication, ligne de chemin de fer
<i>Danger moyen</i> $2 \text{ m} \geq H_i > 1 \text{ m}$ et $2 \text{ m}^2/\text{s} \geq H_i v_i > 1 \text{ m}^2/\text{s}$	Habitation (construction légère), lieu de travail (construction légère), place de camping publique, voie de communication
<i>Danger modéré</i> $1 \text{ m} \geq H_i > 0.5 \text{ m}$ et $1 \text{ m}^2/\text{s} \geq H_i v_i > 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	Place de camping publique, voie de communication
<i>Danger faible</i> $H_i \leq 0.5 \text{ m}$ et $H_i v_i \leq 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	

Le barrage d'Orbe fait partie des 8 ouvrages de danger élevé qui tout en ne remplissant pas les critères géométriques ($H_r < 10 \text{ m}$ ou $H_r < 5 \text{ m}$ et $V_r \leq 50'000 \text{ m}^3$) sont à assujettir à la surveillance cantonale (SESA) en raison du critère du danger particulier.

L'étude précise que parmi les ouvrages de danger particulier élevé et donc assujettis à l'OSOA, un entretien sérieux et un assainissement complet est demandé pour les barrages de Cronay et d'Orbe.

Dans ses différents articles, l'OSOA mentionne des dossiers spécifiques devant être fournis soit par l'exploitant, soit par le professionnel expérimenté. Pour le barrage d'Orbe, c'est le panel complet des dossiers de sécurité qui est requis :

- Rapport relatif aux contrôles visuels
- Rapport des essais de fonctionnement
- Rapport relatif au contrôle annuel
- Rapport annuel relatif au comportement
- Rapport des mesures géodésiques
- Rapport d'examen extraordinaire de la sécurité.

4. ETUDES ANTERIEURES

En 1990, le bureau Stucky Ingénieurs-conseils SA a étudié les possibilités de modernisation de l'aménagement existant. Parmi les solutions envisagées, une s'appuie sur des hypothèses semblables à celles retenues dans la présente étude. Par contre, les débits pris en compte étaient inférieurs à celui retenu aujourd'hui et le niveau du plan d'eau de la retenue n'était pas optimisé non plus.

L'emplacement actuel des groupes de production, dans les sous-sols des anciens moulins aujourd'hui bâtiments classés, n'est pas propice à une modernisation. Il s'agit plutôt d'abandonner ce site, et de regrouper les installations immédiatement à l'aval du barrage existant.



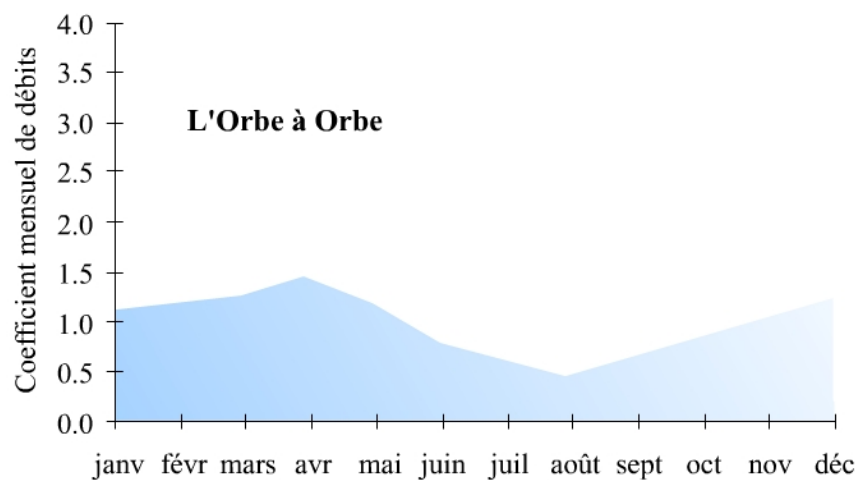
5. CONDITIONS NATURELLES

5.1 RÉGIME HYDROLOGIQUE

L'Orbe à Orbe est caractérisé par un régime du type pluvio-nival qui est caractérisé par :

- Deux maximums nets, mais c'est généralement le maximum pluvial en automne-hiver qui domine. La fonte des neiges ne fait que prolonger la crue hivernale en lui donnant un sursaut au printemps;
- Une irrégularité d'une année à l'autre importante.
- Une amplitude plus ou moins faible.

Le coefficient mensuel de débits, qui est défini comme le rapport du débit mensuel moyen au module inter-annuel (moyenne inter-annuelle calculée sur un certain nombre d'années) permet de représenter ce régime.



Au Barrage du Chalet (station limnigraphique fédérale n° 2378), la superficie du bassin versant est de 333 km² (Figure 1).

5.2 DÉBITS CLASSÉS

Les débits classés basés sur la période d'observations de 1973 à 2006 sont les suivants (Figure 3) :

Q ₃₆₅ jours (DC ₃₆₅)	=	1.69 m ³ /s
Q _{étiage} moyen (DC ₃₅₆)	=	2.13 m ³ /s
Q ₃₄₇ jours (DC ₃₄₇)	=	2.33 m ³ /s
Q ₁₈₂ jours (DC ₁₈₂)	=	8.25 m ³ /s
Q ₁₀ jours (DC ₁₀)	=	44 m ³ /s
Q ₁ jours (DC ₁)	=	72 m ³ /s
Q_{moyen}	=	11.8 m³/s



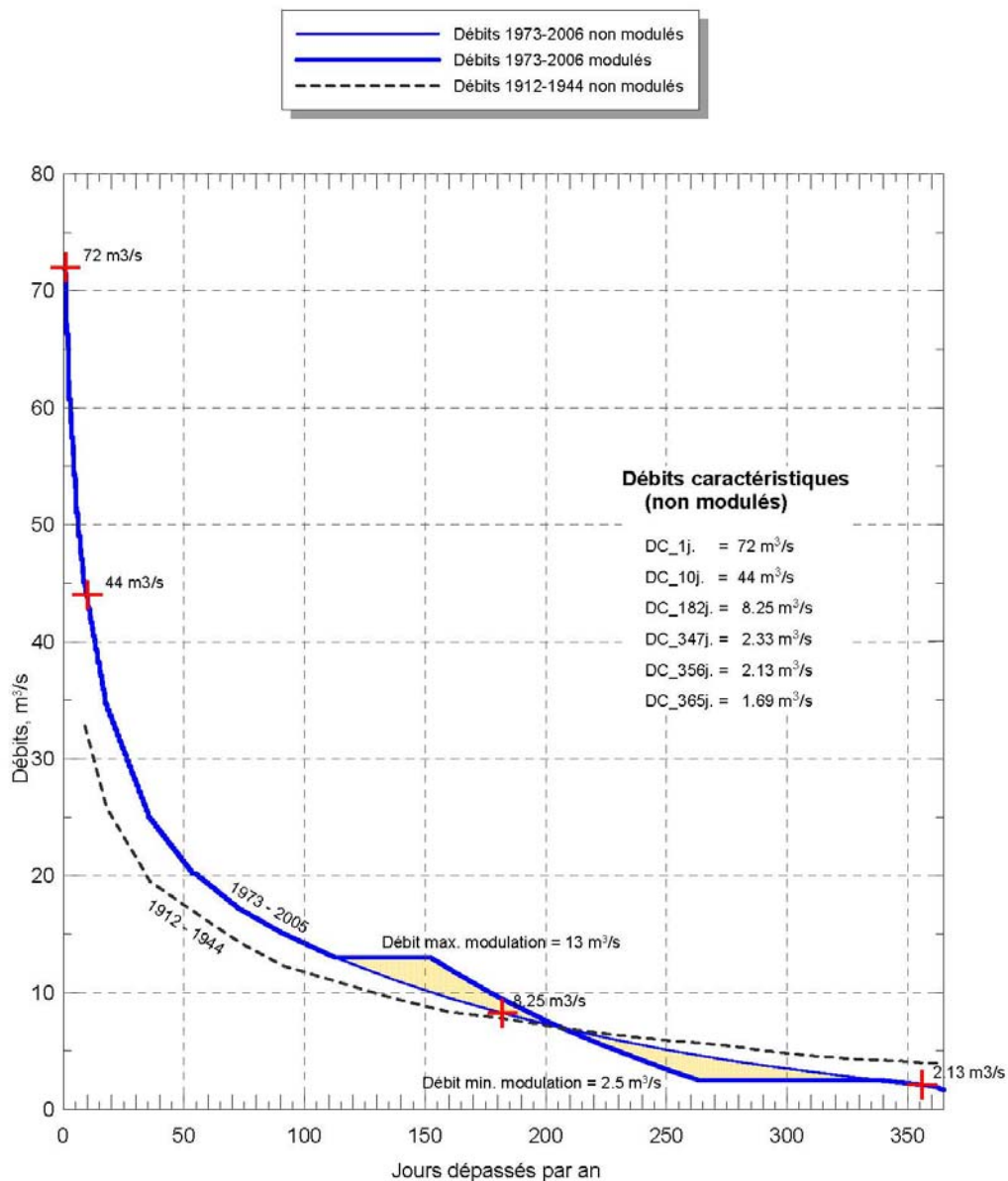


Figure 3 : Débits classés

5.3 DÉBITS DE CRUES

Les débits de crues basés sur la période d'observation de 1906 à 2006 (100 ans d'observation) sont les suivants (Figure 4) :

Q_crue	2 ans	=	92 m ³ /s
Q_crue	5 ans	=	113 m ³ /s
Q_crue	10 ans	=	125 m ³ /s
Q_crue	100 ans	=	158 m ³ /s
Q_crue	1000 ans	=	190 m ³ /s

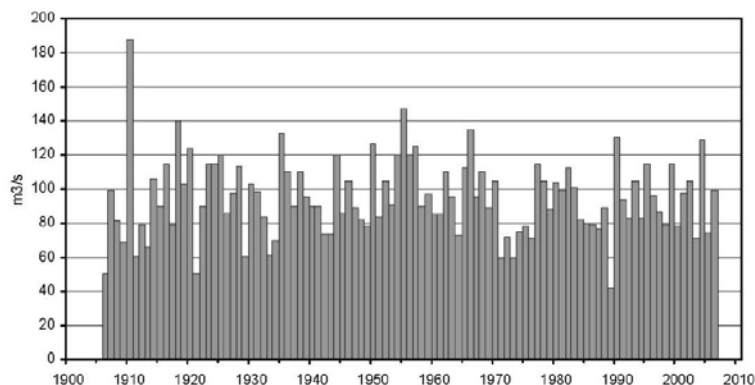


Probabilité des crues (pointes annuelles)

No 919 Orbe - Orbe, Le Chalet

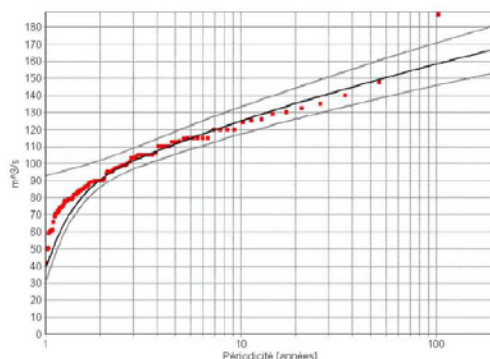
Coordonnées: 530060 / 175560	Altitude de la station: 439m s.m.	
Surface: 333 km ²	Altitude moyenne: 1130m s.m.	Extension glacier: 0 %

Pointes annuelles de toute la période d'observation 1906-2006:



Statistique des pointes annuelles de la période d'étude 1906-2006 (101 années):

pointe annuelle maximale: 187.3 m ³ /s (1910)	pointe annuelle minimale: 42 m ³ /s (1989)	
Valeur moyenne: 94.7 m ³ /s	Ecart-type: 22.871	Coefficient d'asymétrie: 0.641
Médiane: 91 m ³ /s	Coefficient de variation: 0.241	Coeff. d'aplatissement: 1.785



Distribution: Pearson-III
Intervalle de confiance: 95%

Périodicité [années]	Débit de crue [m ³ /s]
2	Q ₂ = 92
5	Q ₅ = 113
10	Q ₁₀ = 125
20	Q ₂₀ = 136
50	Q ₅₀ = 149
100	Q ₁₀₀ = 158
200	Q ₂₀₀ = 167
-1000	Q ₁₀₀₀ = 190

Résultats des calculs de routine selon la méthode standard du DVWK (1979).

D'après l'Office fédéral de l'environnement OFEV, Division Hydrologie

Figure 4 : Statistiques des crues

5.4 NIVEAUX ET LIGNES D'EAU

Les relations débits-niveaux en aval et en amont du barrage des Moulinets sont données sur la Figure 5. pour les niveaux aval, elles sont basées sur des documents de l'ancien propriétaire datant de 1946 qui ont été établis en vue de la demande de concession de 1952. Pour les niveaux amont, elles résultent de calculs hydrauliques effectués pour les nouvelles vannes.

Les lignes d'eau à l'amont ont été calculées à l'aide d'un logiciel de courbes de remous (HEC-RAS). Le présent projet de reconstruction du barrage et l'installation d'une nouvelle usine hydroélectrique adjacente ne changera que très peu les lignes d'eau actuelles.



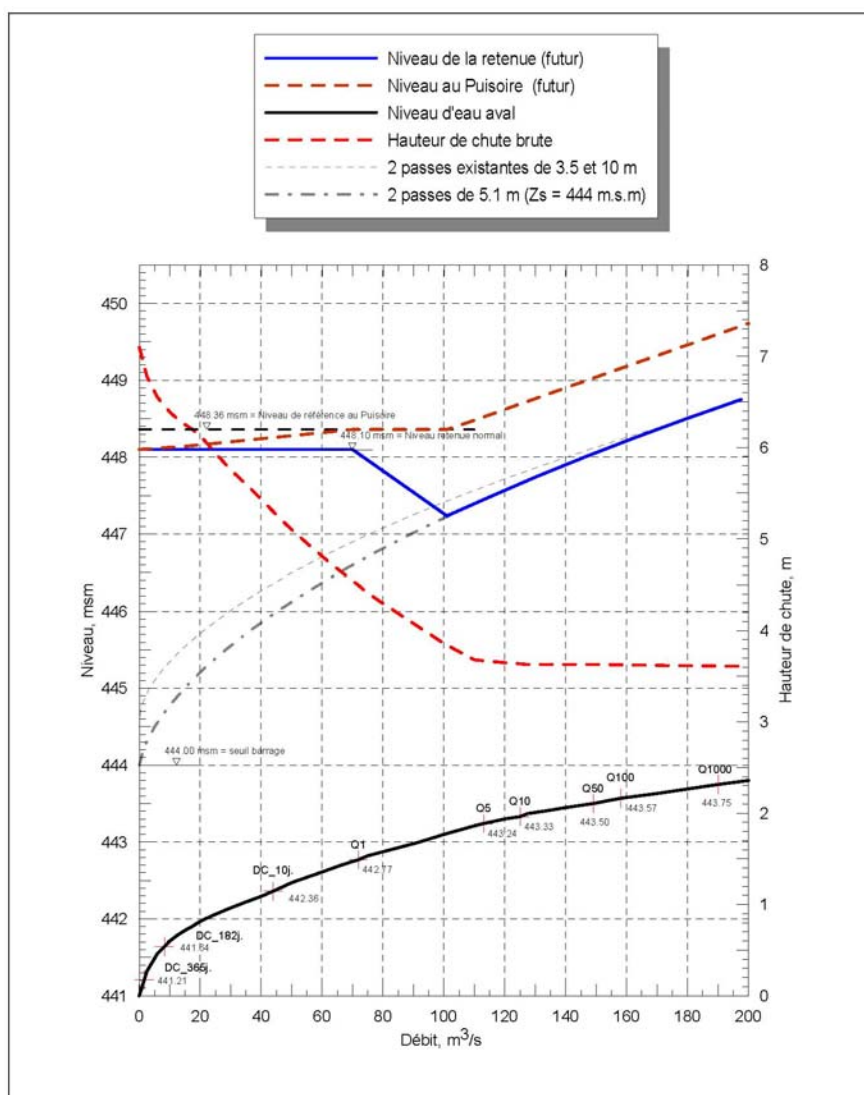


Figure 5 : Niveaux amont et aval - Hauteur de chute

En effet, le profil en long, objet du plan n° 1306-106, montre les courbes de remous en amont du barrage pour différents débits. S'appuyant sur la demande du SESA relative à l'optimisation de l'utilisation de la force motrice, le niveau de retenue normale a été surélevé de 40 cm dans le présent projet, soit de 447.70 msm à 448.10 msm. Cette augmentation du niveau de la retenue n'affecte en rien les niveaux aval de la centrale du Chalet, comme le montre le profil en long.

Le niveau amont au barrage reste constant (448.10 msm) jusqu'à un débit de $70 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir de ce débit, le niveau de la retenue est graduellement abaissé (Figure 5) pour respecter la consigne de la concession stipulant que le niveau au limnimètre du Puitsore ne doit pas dépasser la cote de 1.20 m, correspondant à l'altitude de 448.36 msm. A partir d'un débit de l'ordre de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant à une crue située entre une crue bi-annuel et une crue quinquennale, c'est la capacité d'évacuation du barrage qui impose le niveau en amont, en fonction du débit de l'Orbe.

5.5 DÉBITS MINIMUM

En ce qui concerne les débits résiduels selon LEaux, on peut noter que le futur barrage-usine fait partie des aménagements au fil de l'eau dont la centrale se trouve intégrée au barrage, si bien que la restitution de l'eau se passe au pied du barrage. Bien que dans le cas présent la sortie des turbines soit éloignée du pied du barrage proprement dit de quelque 20 m, le tronçon du cours d'eau entre le barrage et le lieu de restitution se trouve sous l'eau en cas d'exploitation normale. Ces aménagements



ne sont pas considérés comme prélèvements d'eau au sens de l'article 29 LEaux parce que de tels cas n'entraînent pas de situation de débits résiduels.

En revanche, la concession actuelle précise que le concessionnaire est tenu de laisser s'écouler en tout temps, dans l'Orbe inférieure, une quantité d'eau de 2.5 m³/s au moins, soit par le barrage, soit par les turbines. En basses eaux, l'ouverture nécessaire à cet effet doit toujours avoir lieu avant l'arrêt des turbines et la fermeture après la mise en marche de celles-ci.

5.6 DÉBITS MODULÉS

L'observation des enregistrements des débits journaliers à la station limnigraphique du Chalet met en évidence une modulation du débit en fonction des heures du jour. Cette modulation est faite par les usines situées en amont qui disposent d'une retenue suffisante pour faire du stockage. Lorsqu'il y a modulation, on peut distinguer deux plages horaires correspondant respectivement aux heures creuses et aux heures pleines d'une journée type (Figure 6) :

- Les heures creuses s'étendent de 0h à 8h et de 17h à 24h soit 15h par jour ;
- Les heures pleines s'étendent de 8h à 17h soit 9h par jour.

Le débit inférieur de la modulation correspond au débit minimum de la concession de 2.5 m³/s qui est aussi imposé aux usines amont.

Les débits maximum modulés que l'on constate sur les enregistrements sont variables. Ils se situent dans une fourchette allant de 13 m³/s à 21 m³/s. Ce dernier chiffre correspond au débit d'équipement prévu pour le nouvel aménagement, débit qui a été coordonné avec les aménagements sis à l'amont.

Pour la prise en compte dans la présente étude de la modulation des débits, il a été admis un débit maximum de 13 m³/s en se situant ainsi du côté prudent en ce qui concerne l'estimation de la production d'énergie.

La Figure 6 montre les schémas de la modulation type en fonction du débit journalier moyen. Cette modulation a été appliquée à l'ensemble des débits journaliers de la courbe des débits classés. Le résultats est indiqué sur la Figure 3 qui montre le gain que l'on tire de la modulation en transformant une plage de faibles débits en plage de débits plus élevés (surface jaune).

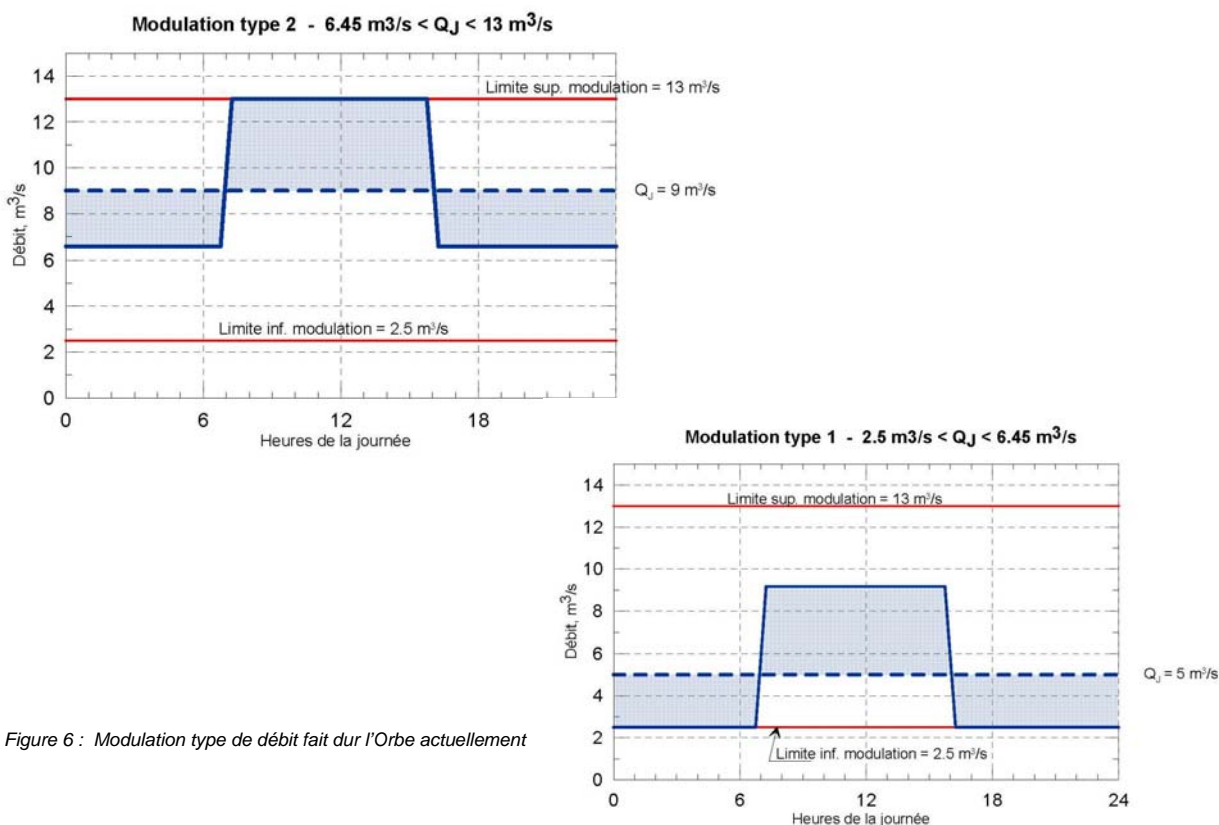


Figure 6 : Modulation type de débit fait dur l'Orbe actuellement



6. DESCRIPTION DU PROJET

Comme l'ont déjà relevé les études antérieures, l'emplacement actuel des groupes de production, dans les sous-sols des anciens moulins aujourd'hui bâtiments classés, n'est pas propice à une modernisation.

Le projet consiste à abandonner ce site et à regrouper l'ensemble des installations de production hydroélectrique entre le barrage existant et le vieux pont-arc de la rue des Moulins, le pont des Moulinets.

Cette implantation dite "amont" permet de s'affranchir des contraintes dues au passage dans les bâtiments du Vieux Moulin (travaux de démolition et de reprise en sous-œuvre difficile, droits de passage, imbrication avec la future utilisation des Moulins, etc.).

Cette implantation amont n'est cependant pas non plus sans difficulté. En effet, l'accès au site s'avère très difficile, le seul accès possible étant celui depuis le pont des Moulinets, en bas de la rue des Moulins.

Les plans n° 1306-101 à 1306-105 illustrent la situation des ouvrages et montrent des coupes transversales et longitudinales.

6.1 CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

La nouvelle centrale hydroélectrique est située en rive gauche, contre la falaise rocheuse, à l'emplacement même du canal d'amenée actuel.

Au vu de la puissance potentielle du site (chute et débits à disposition), deux variantes d'équipement ont été envisagées qui consistent à équiper la future usine de un ou de deux groupes turbo-alternateurs d'une puissance totale de l'ordre de 1000 kW.

La prise en compte des difficultés d'accès et d'installation nous ont conduit de retenir la variante à deux groupes turbo-alternateurs. En effet, dans la variante avec un seul groupe, le poids d'une seule machine dépasse les possibilités raisonnables de manutention et de levage sur le pont des Moulinets et nécessiterait par ailleurs des excavations plus profondes dans la roche en rive gauche.

La prise d'eau, équipée d'une grille et d'un dégrilleur, est commune au deux turbines et se trouve sensiblement au même endroit que la prise d'eau existante. Sa largeur de 6.80 m a été optimisée pour réserver la plus grande largeur possible au barrage.

Pour empêcher les gros débris flottants d'entrer dans le canal usinier, une grille grossière associée à une paroi plongeante et une passerelle est prévue en amont de la prise d'eau (cf. coupe D-D, plan n° 1306-104).

L'implantation des deux groupes turbo-alternateurs est légèrement décalée pour tenir compte des particularités du site et obtenir une largeur de l'usine la plus petite possible tout en assurant les gabarits hydrauliques imposés.

Le toit de la nouvelle usine est à la cote 448.90 msm, soit 1.65 m plus haut que le terre-plein situé au-dessus du canal d'amenée existant (447.25 msm). Le radier des aspirateurs se trouve environ 10 m plus bas, à la cote 439.00 msm, ce qui correspond à peu près au lit rocheux de la rivière.

L'accès à l'usine est prévu depuis le bas de la rue des Moulins par une série d'escaliers permettant de descendre successivement sur le toit de l'usine et au niveau de la salle des machines.

Parmi les types de turbines possibles (type Kaplan à axe vertical ou type « S » à axe horizontal ou légèrement incliné), la préférence a été donné, dans un premier temps, à une turbine KAPLAN à axe vertical dans une implantation dit "à bêche béton". Par la suite, et à l'issue d'études plus approfondies, il a été choisi des turbines de type « S » à axe horizontale. Les groupes turbo-alternateurs sont composés d'une turbine Kaplan à double réglage avec distributeur (directrices et pales mobiles), d'un aspirateur avec cône horizontal et d'une génératrice asynchrone.



Sous une chute nette de 6.00 m, le débit nominal d'un groupe est de 10.8 m³/s, et le débit d'armement⁽³⁾ de l'ordre de 2 m³/s. Le diamètre de la roue est de l'ordre de 1600 mm, la vitesse de rotation de l'ordre de 250 tours/minute et la vitesse d'emballlement de l'ordre de 615 tours/minute. Les rendements de la turbine et de la génératrice asynchrone étant respectivement de 89% et 95%, le rendement global du groupe est de l'ordre de 85%.

L'installation de groupes turbo-alternateurs est complétée par celle des tableaux et armoires électriques avec câbles de liaison et raccordements, circuit puissance et condensateurs. La nouvelle usine n'étant pas conçue pour fonctionner en réseau isolé, l'équipement électromécanique devient ainsi plus simple et des alternateurs du type asynchrone avec des condensateurs de puissance peuvent être adoptés.

Pour arrêter les machines en cas d'emballlement, des vannes motorisées et automatisées sont prévues à l'entrée des chambres d'eau, derrière la grille de la prise d'eau.

En ce qui concerne la manutention dans l'usine, celle-ci sera assurée au moyen d'un portique mobile ou d'un pont roulant.

6.2 BARRAGE

La rénovation du barrage mobile s'impose pour plusieurs raisons :

- Le pied du barrage doit être renforcé pour assurer la sécurité de l'ouvrage.
- L'implantation de la nouvelle usine ne permet pas de garder la grande vanne existante de 10 m, l'emprise de la nouvelle usine empiétant sur le barrage.
- Les installations mobiles existantes (vannes) sont vétustes, quand bien même elles fonctionnent encore.
- La disponibilité du barrage lors de l'entretien des vannes. (Souplesse accrue si l'on dispose de deux passes).
- Le respect de la règle de (n-1)⁽⁴⁾ pour ce qui est de l'évacuation des crues.

La rénovation du barrage comprend la démolition des vannes et des piles existantes, la construction de deux nouvelles passes de 5.10 m de large chacune et l'installation de deux nouvelles vannes clapet.

Chaque clapet a une largeur libre de 5.10 m et une hauteur de 3.60 m. Pour assurer la capacité d'évacuation du barrage en cas de crues, le niveau du radier est fixé à 444.00 msm, soit 50 cm en dessous de la cote de la petite vanne existante (le seuil de la grande vanne actuelle est de 25 cm plus élevé que celui de la petite vanne).

La vanne clapet est actionnée par un vérin oléo-hydraulique latéral, installé dans une niche des nouveaux bajoyers de rive à construire sur chaque appui du barrage.

Le dessus des piles du barrage est de 448.90 msm, soit à la même cote que le toit de l'usine.

En amont des vannes clapet, il est prévu un batardeau du type à aiguilles qui est mis en place manuellement depuis la passerelle qui enjambe l'ouvrage. En aval des vannes, le niveau d'eau par faible débit est suffisamment bas pour qu'il n'y a pas besoin de batardeaux.

—

⁽³⁾ Débit minimum pour que la turbine fonctionne.

⁽⁴⁾ Il faut pouvoir évacuer de manière adéquate la crue centennale avec la plus grande passe (vanne) du barrage fermée, n étant le nombre total de passes (OFEG et DIN 19700).



6.3 OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT POUR LES POISSONS ET CASTORS

Déoulant des obligations de la loi fédérale sur la pêche (LFP) ainsi que des obligations liées au transfert de la concession qui impose aux Usines de l'Orbe de concevoir un ouvrage permettant d'assurer la libre migration des poissons, nous avons étudié un concept de franchissement pour les poissons au barrage des Moulinets.

Les contraintes prioritaires qui dictent le choix d'un système de franchissement de la chute de près de 7 m sont :

- La présence de grandes truites qui impose les dimensions de l'ouvrage.
- La présence de l'ombre de rivière, incapable de franchir une chute en sautant. Les chutes entre bassins doivent être noyées afin de permettre le franchissement des ombres dans la lame d'eau (jet de surface).
- Enfin, la présence d'un certain nombre de petites espèces aux capacités natatoires réduites (ex. spirin, goujon, blageon) pour lesquelles il est nécessaire de respecter des conditions hydrauliques relativement confortables dans les bassins, soit une dissipation d'énergie inférieure à 150 W/m³.

Passé à bassins successifs :

Une passe classique à bassins successifs s'avère souvent être la solution la mieux adaptée. Ce type d'ouvrage est peu sélectif dans la mesure où les dimensions sont adaptées aux espèces cibles. Les caractéristiques minimales⁽⁵⁾ d'une passe à bassins successifs sont :

- chute entre bassins 0.2 m
- largeur des bassins 1.25 m
- longueur des bassins 2.20 m

La chute maximum étant de 6.75 m (pour le débit minimum de l'Orbe de 2.5 m³/s), le nombre de bassins nécessaires est de 34 et la longueur totale d'une passe à bassins successifs serait de l'ordre de 75 m.

En cherchant à implanter une telle longueur sur le site du barrage des Moulinets, on se heurte à un gros problème de place. En effet, la distance entre le barrage existant et le pont des Moulinets n'est que de 35 m. Il n'y a donc pas moyen de coller une passe contre le flanc rocheux en rive droite, car la passe dépasserait de beaucoup le pont des Moulinets et placerait l'entrée de la passe très loin du pied du barrage. Or, c'est précisément là où les poissons s'accumulent actuellement.

Même en imaginant un tracé replié sur soi à l'instar d'une épingle à cheveux, la longueur à disposition n'est pas suffisante et l'ouvrage rétrécirait passablement la largeur du lit de l'Orbe.

Outre ces aspects techniques, une passe à bassins successifs de 75 m de long est relativement onéreuse, ceci d'autant plus qu'elle est perchée en grande partie de plusieurs mètres au-dessus du lit de l'Orbe.

Ascenseur à poissons :

Au vu des difficultés rencontrées pour l'implantation d'une passe classique, l'installation d'un ascenseur à poissons est une solution éprouvée dans des situations étriquées où il y a un manque évident de place. Plusieurs de ces ouvrages ont été construits en Suisse (Papeterie sur la Birs, barrage de la Maigrage, barrage de Wyhlen sur le Rhin), mais aussi en France et en Allemagne.

—

⁽⁵⁾ Bulletin français de la Pêche et de la Pisciculture, M. Larinier et al., 1992



Le principe est relativement simple (Coupe E-E, plan N° 1306-104) : En plaçant l'ascenseur à l'endroit même où les poissons s'accablent au pied du barrage, ils sont attirés à l'aide d'un débit d'attrait de l'ordre de 400 l/s dans une nasse qui les emporte quelque 7 m plus haut. De là, ils sont amenés à bon port avec l'aide d'eau pompée dans une conduite au-dessus de la crête du barrage.

Les mouvements de montée et de descente sont automatisés et selon une périodicité à déterminer en fonction des périodes de l'année et des espèces à transporter.

Passe à castor :

La passe à castor actuelle sera maintenue à son emplacement présent pour la partie qui n'est pas touchée par les travaux de rénovation du barrage. Elle sera restaurée sur la nouvelle crête de barrage pour assurer la libre migration des castors.

On peut noter la citation suivante (*pro castor* informations, Numéro 14 · février 2007) :

"Même si aucun castor n'a à ce jour vraisemblablement osé déjouer les eaux tumultueuses au pied du barrage pour s'aventurer sur les planches de la toute nouvelle passe à castor lui permettant de s'offrir le passage à la plaine de l'Orbe, celle-ci est n'en est pas moins une réussite.

Certes, la panne de pompe, qui a engendré une forte montée des eaux et emporté plusieurs planches, rendant impraticable la passe à castors durant plusieurs semaines, n'a peut-être pas incité nos amis à coloniser les cours d'eau de la plaine de l'Orbe.

La remise en état de la passe à castor sera financée par la faune du canton de Vaud."

6.4 EXÉCUTION ET PLANNING DES TRAVAUX

L'exécution des travaux est très fortement tributaire des conditions d'accès qui sont plutôt défavorables dans cette gorge de l'Orbe. L'importante dénivellée entre le pont des Moulinets et le chemin des Présidents d'un côté et le lit de l'Orbe de l'autre complique particulièrement l'approvisionnement du chantier et l'exécution des travaux. Il y a peu de place pour les installations de chantier et le stockage des matériaux et des engins qu'il faudra mettre à l'abri des eaux de l'Orbe lorsque le chantier n'est pas actif (jours de congé et week-ends).

Les principaux travaux de génie civil sont des travaux de démolition (prise d'eau et canal d'amenée existants, piles existantes du barrage), des travaux d'excavation dans la roche et des travaux de bétonnage.

L'exécution des travaux nécessite la mise à sec du site et la réalisation de batardeaux provisoires. Compte tenu du régime pluvio-nival de l'Orbe, il est prévu de réaliser les travaux hydrauliques (batardeaux, enceintes et ouvrages provisoires) en dehors des crues d'hiver, pendant les mois d'avril-mai à octobre.

Trois phases principales de construction sont prévues à ce stade :

▪ Phase 1 : avril à octobre

Ecoulement par la passe existante de 3.5 m

- Construction d'un batardeau provisoire en amont du barrage prenant appui sur le nez de la pile existante et la rive gauche;
- Construction d'une enceinte provisoire en aval du barrage partant de la face aval de la pile existante. Son tracé sensiblement parallèle à l'axe de l'Orbe permettra de mettre à sec toute la zone en rive gauche comprise entre la prise d'eau et le pont du Moulinet;
- Démolition des ouvrages existants en rive gauche;
- Construction des fondations et des murs de l'usine;
- Construction de la nouvelle pile de barrage et de la nouvelle passe adjacente à l'usine et installation de la nouvelle vanne clapet de 5.10 m;
- Repli du batardeau provisoire en amont sur la pile-bajoyer de l'usine et la rive gauche et fermeture provisoire entre la nouvelle pile du barrage et la pile existante;
- Démontage du batardeau provisoire en aval.



- **Phase 2 : novembre à mars**
Écoulement par la passe existante de 3.5 m et la nouvelle passe de 5.10 m
 - Poursuite de la construction de l'usine et installation des équipements hydromécanique et hydroélectrique.
- **Phase 3 : avril à octobre**
Écoulement par la nouvelle passe de 5.10 m
 - Poursuite de l'installation des équipements électriques dans l'usine.
 - Construction d'un batardeau provisoire en amont du barrage prenant appui sur le nez de la nouvelle pile et la rive droite;
 - Construction d'une enceinte provisoire en aval du barrage partant de la face aval de la nouvelle pile pour mettre à sec la zone de travail en rive droite ;
 - Construction de la pile-bajoyer en rive droite;
 - Installation de la deuxième vanne clapet;
 - Construction et installation de l'ascenseur à poissons;
 - Repli et démontage des batardeaux provisoires.

Planning de réalisation :

Afin de pouvoir respecter les délais impartis par l'Etat lors du transfert de la concession, les échéances suivantes sont proposées :

Remise de l'étude de faisabilité	juillet 2008
Campagne de bathymétrie de la retenue Reconnaissance complémentaire géotechnique du site	septembre 2008
Validation de l'étude de faisabilité par les Usines de l'Orbe	décembre 2008
Etablissement de l'avant-projet	août 2009
Etablissement d'une notice d'impact	août 2009
Etablissement du projet d'ouvrage	décembre 2009
Constitution du dossier de demande de modification de concession pour une nouvelle usine à Orbe	décembre 2009
Demande des autorisations de construire	avril 2010
Préparation des dossiers et mise en soumissions des travaux et équipements	janvier à mai 2010
Travaux préparatoires et installations de chantier	mars 2011
Travaux phase 1	avril à octobre 2011
Travaux phase 2	novembre 2011 à mars 2012
Travaux phase 3	avril à octobre 2012
Mise en service de la nouvelle usine des Moulinets	novembre 2012



7. ESTIMATION DES COÛTS - ANALYSE ECONOMIQUE

7.1 PRODUCTION D'ENERGIE

La production d'énergie dépend de la chute disponible et des apports hydrologiques. Pour évaluer la production d'énergie en année hydrologique moyenne, les courbes des débits classés et des chutes classées ont été établies en tenant compte de la modulation des débits décrites au § 5.6 (Figure 7).

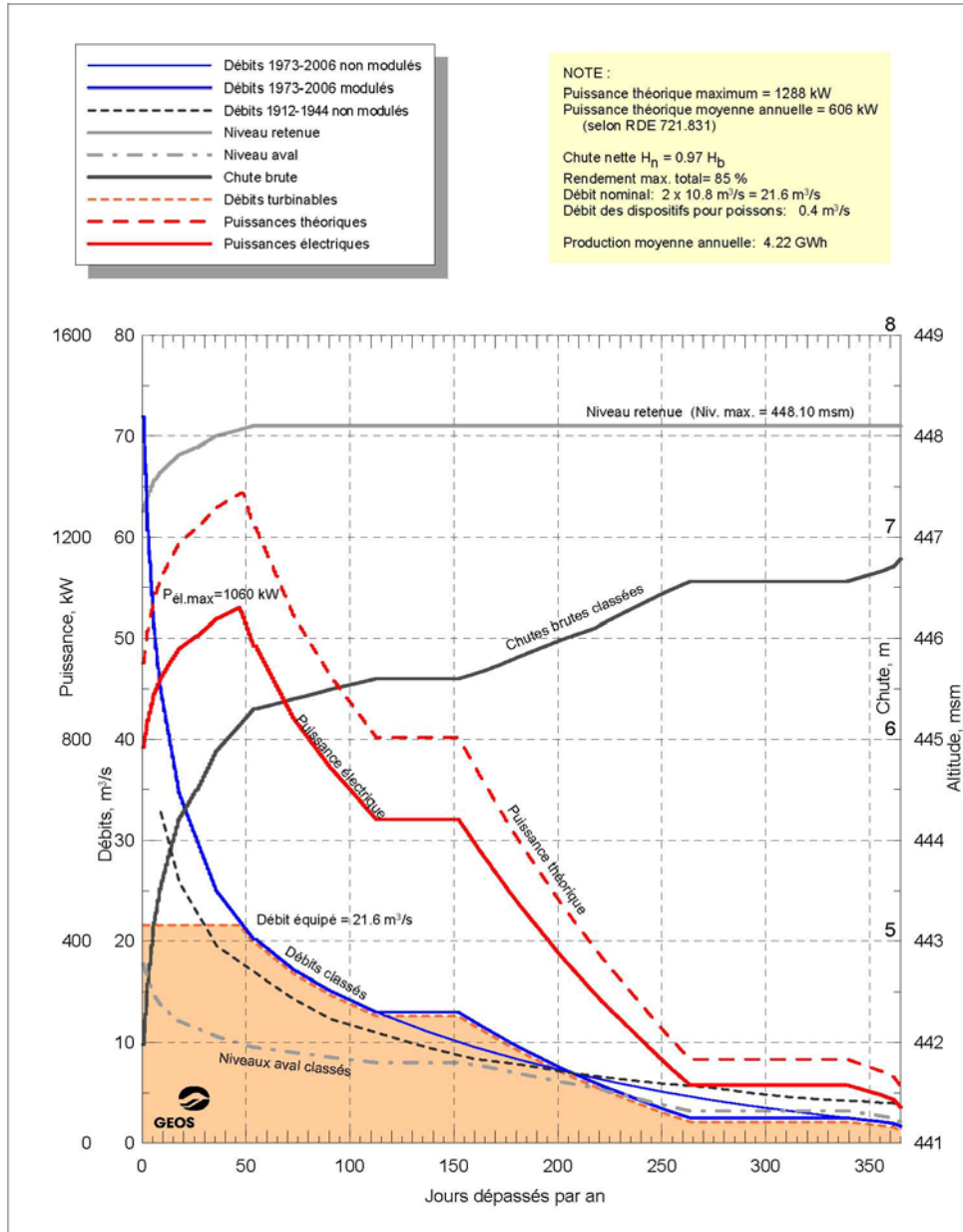


Figure 7 : Débits, Chutes et Puissances classés

S'appuyant sur la demande de l'autorité cantonale (SESA) relative à l'optimisation de l'utilisation de la force motrice, le niveau de retenue normale a été surélevé de 40 cm dans le présent projet, augmentant ainsi les chutes disponibles d'autant. Cette augmentation du niveau de la retenue a par ailleurs déjà été envisagée dans les années 1950, mais n'a pas été concrétisée par la suite.



La chute brute maximum disponible est de 6.85 m. Avec un débit nominal de 10.8 m³/s par turbine, la chute maximum associée à un débit de 21.6 m³/s est de 6.08 m et la puissance brute maximum de l'usine est de 1288 kW. Les chutes nettes sont obtenues par soustraction des pertes de charge de la prise d'eau, du canal usinier et des sorties d'aspirateur aux chutes brutes. Si l'on tient encore compte du rendement des groupes et du débit réservé de 400 l/s pour les dispositifs de migration des poissons, on obtient la puissance maximum aux bornes de 1060 kW. En intégrant les puissances classées, la production d'énergie électrique en année moyenne peut alors être évaluée à quelques 4.22 GWh.

Les caractéristiques de la nouvelle usine sont les suivantes :

Type d'exploitation :	au fil de l'eau
Chute brute maximum	6.85 m
Chute max. pour débit équipé	6.08 m
Débit équipé	21.60 m ³ /s
Débit réservé dispositifs de migration des poissons	0.4 m ³ /s
Puissance brute	1288 kW
Puissance aux bornes	1060 kW
Production annuelle moyenne	4.22 GWh
Fonctionnement électrique :	sur réseau public

La variation sur une année de l'énergie produite est illustrée par la courbe des puissances classées de la Figure 7. Ainsi, la puissance maximum sera disponible pendant quelques 50 jours. Le gain de production dû à la modulation des débits est également bien visible sur ce graphique.

7.2 COÛT DES TRAVAUX

En préambule il y a lieu de noter que les travaux de génie civil pour le futur barrage-usine des Moulinets sont des travaux compliqués de par l'exiguïté du site, les difficultés d'accès et la présence de l'eau.

Le coût des travaux de génie civil a été établi sur la base d'un avant-métré et de prix étayés par une consultation d'une entreprise spécialisée valables aux conditions économiques en début 2008. L'évaluation des coûts des équipements hydromécaniques et électriques est faite sur la base soit d'enquêtes auprès de constructeurs soit d'adaptations de prix déjà en possession du groupe de projet.

Les coûts des travaux de génie civil sont les suivants :

1. Installation		890'000.-
1.1 Installations de chantier	540'000.-	
1.2 Grue à tour	350'000.-	
2. Ouvrages provisoires (batardeaux)		620'000.-
3. Démolitions et excavations		650'000.-
4. Construction barrage et usine		2'130'000.-
4.1 Génie civil (y c mise à terre)	1'780'000.-	
4.2 Second-œuvre	350'000.-	
5. Ascenseur à poissons		400'000.-
6. Travaux divers		200'000.-
TOTAL TRAVAUX DE GENIE CIVIL (hors TVA)		4'890'000.-



Les coûts de l'équipement électro-mécanique sont :

1. Vannes clapet du barrage	525'000.-	
2. Batardeau à aiguilles du barrage	70'000.-	
3. Grille et dégrilleur à l'entrée de l'usine	200'000.-	
4. Vannes planes à l'entrée de l'usine	165'000.-	
5. Pont roulant, portique	230'000.-	
6. Auxiliaires centrale et divers	50'000.-	
Sous-total vannes, dégrilleur, batardeaux et portique		1'240'000.-
7. Equipement électro-mécanique usine		2'700'000.-
7.1 Turbines + générateurs	2'300'000.-	
7.2 Transfo + équip. BT/MT	400'000.-	
8. Contrôle/commande		300'000.-
TOTAL EQUIPEMENT ELECTRO-MECANIQUE (hors TVA)		4'240'000.-

Les coûts pour l'étude du projet et la direction des travaux sont estimés à kCHF 850 (hors TVA). La précision de l'estimation est de l'ordre de $\pm 15\%$.

7.3 ANALYSE ECONOMIQUE ET PRIX DE VENTE

Le **coût d'investissement total** de l'aménagement hydroélectrique au barrage des Moulinets est résumé dans le tableau suivant :

INVESTISSEMENT POUR LA REALISATION DU BARRAGE-USINE DES MOULINETS		
Travaux GC barrage et usine	kCHF	4890
Vannes, dégrilleurs, batardeaux et portique mobile	kCHF	1240
Equipement électro-mécanique usine	kCHF	2700
Contrôle/commande	kCHF	300
Projet et direction des travaux	kCHF	850
Total investissement (hors TVA)	kCHF	9980
Investissement spécifique	CHF/kW	9388

Le tableau ci-dessus montre que l'investissement spécifique⁽⁶⁾ est de CHF 9'388.-/kW ce qui le place dans la moyenne en comparaison avec d'autres installations.

(6) Coût de l'investissement divisé par la puissance installée nette.



Les coûts d'exploitation adoptés sont les suivants :

DEPENSES D'EXPLOITATION		
Frais de personnel	kCHF	48.0
Matériel divers de maintenance	kCHF	10.0
Assurance pour bris de machine	3 ‰ valeur équipements	6.3
Redevance hydraulique (annuel)	80.-/kW	p.m.
Franchise en cas de sinistre	kCHF 60 /30 ans	2.0
Total dépenses d'exploitation	kCHF	66.3

La charge de personnel retenue correspond à l'équivalent de deux jours/hommes par semaine (40 %), au coût annuel d'un temps plein de kCHF 120, soit kCHF 48 par an.

Les frais généraux d'exploitation comprennent le matériel de maintenance, la prime d'assurance pour bris de machines (évaluée à 0,3 % de la valeur de l'équipement électromécanique et de contrôle/commande) ainsi que la redevance hydraulique (droit de concession de force motrice). Celle-ci est fonction de la puissance théorique moyenne annuelle (606 kW) et du tarif en vigueur (CHF 80.-/kW). En vertu de l'article 49 LHF, la future usine de l'Orbe est pratiquement exemptée de la redevance hydraulique annuelle.

Techniquement, on peut estimer les durées de vie respectives suivantes :

- Ouvrages de génie civil, travaux de gros œuvre 60 ans
- Equipements hydromécaniques et électriques 30 ans
- Travaux de second œuvre 30 ans
- Equipements de contrôle-commande 15 ans

Pour établir le prix de l'énergie produite, une **étude de rentabilité** a été effectuée en utilisant la méthode du taux de rentabilité interne (TRI) calculé sur 60 ans avec des taux de 6%, 8% et 10%. Aux termes de 15, 30 et 45 ans, les investissements intermédiaires sont introduits dans l'analyse selon la durée de vie de l'équipement considéré.

La production annuelle moyenne est diminuée pour tenir compte d'un taux de disponibilité des groupes de 98 %, ce qui correspond à ce que chaque groupe soit 7 jours hors service par an en moyenne pour maintenance. Pour mesurer l'influence du renchérissement sur la période d'amortissement, trois taux d'inflation différents (0%, 1% et 2%) ont été pris en compte dans l'analyse du prix de vente du kWh.

En fonction des paramètres considérés, le prix de vente varie de 11.5 cts/kWh pour un TRI de 6% et une inflation de 2% à 22.8 cts/kWh pour un TRI de 10% et une inflation nulle.

La nouvelle loi sur l'approvisionnement en électricité, et en particulier ***l'Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité*** (OApEI) du 14 mars 2008, offre de nouvelles opportunités au niveau des prix de reprise. En effet, les aménagements de très basse chute sont particulièrement favorisés. Le calcul de la rétribution selon l' OApEI donne le résultat suivant :

- Rétribution de base 13.91 cts/kWh
- Bonus niveau de pression 4.01 cts/kWh
- Bonus d'aménagement des eaux 2.95 cts/kWh
- **Prix de rétribution total selon OApEI 20.87 cts/kWh**

L'OApEI indique une durée d'amortissement et une durée de rétribution de 25 ans. Si l'on adopte cette même durée d'amortissement et le taux d'intérêt moratoire légal de 5% (art. 104 al. 1 CO) pour le calcul économique de l'aménagement des Moulinets, on obtient un prix du kWh de **18.0 cts**.

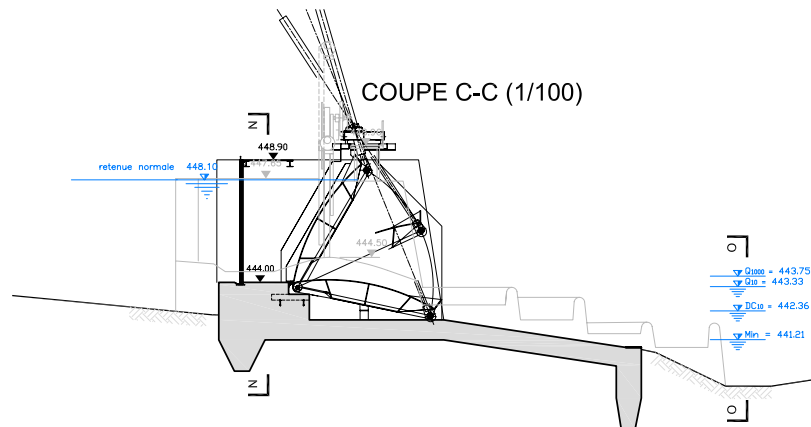
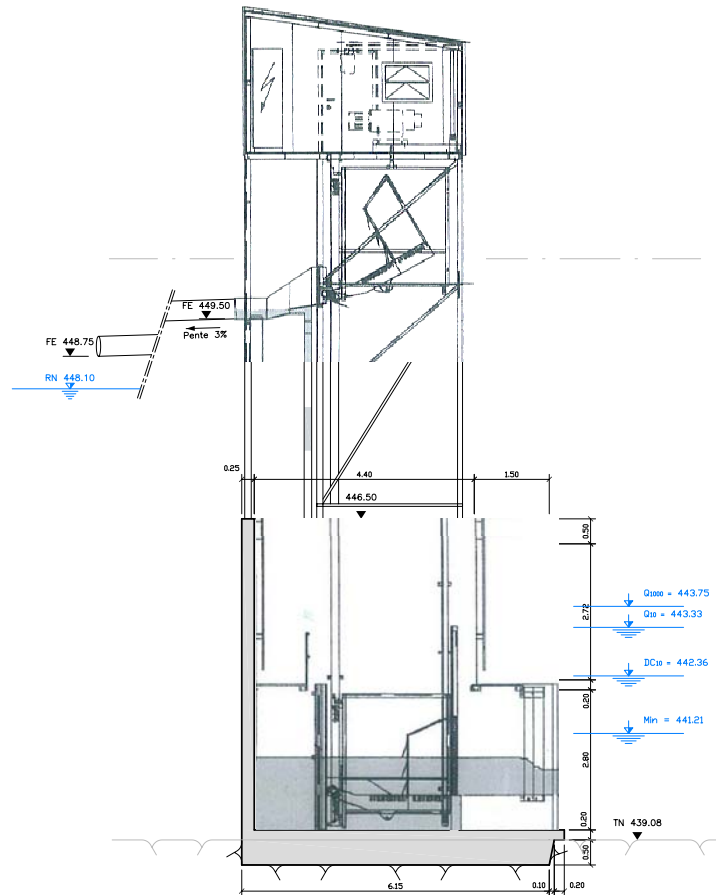


Annexes

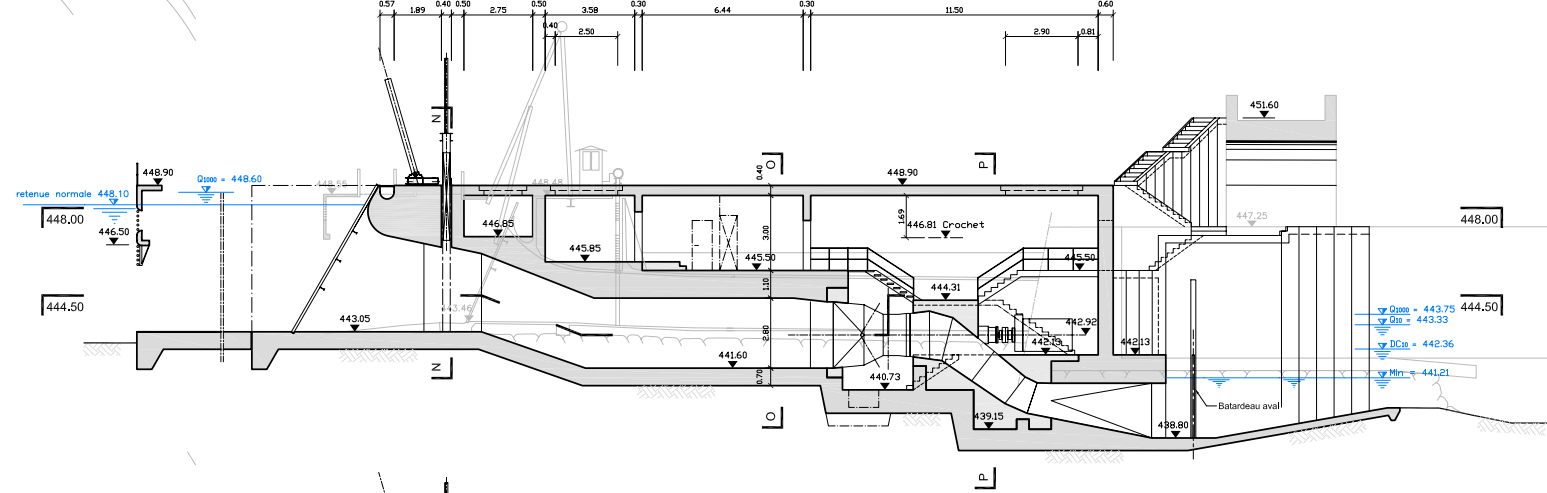
<u>Annexe N°</u>	<u>Plan N°</u>	<u>Description</u>
1	1306 - 101	Barrage - Usine, Vue en plan
2	1306 - 102	Usine - Coupe horizontale 448.00
3	1306 - 103	Usine - Coupe horizontale 444.50
4	1306 - 104	Barrage - Usine, Coupes longitudinales
5	1306 - 105	Barrage - Usine, Coupes transversales
6	1306 - 106	Profil en long, Rivière Orbe



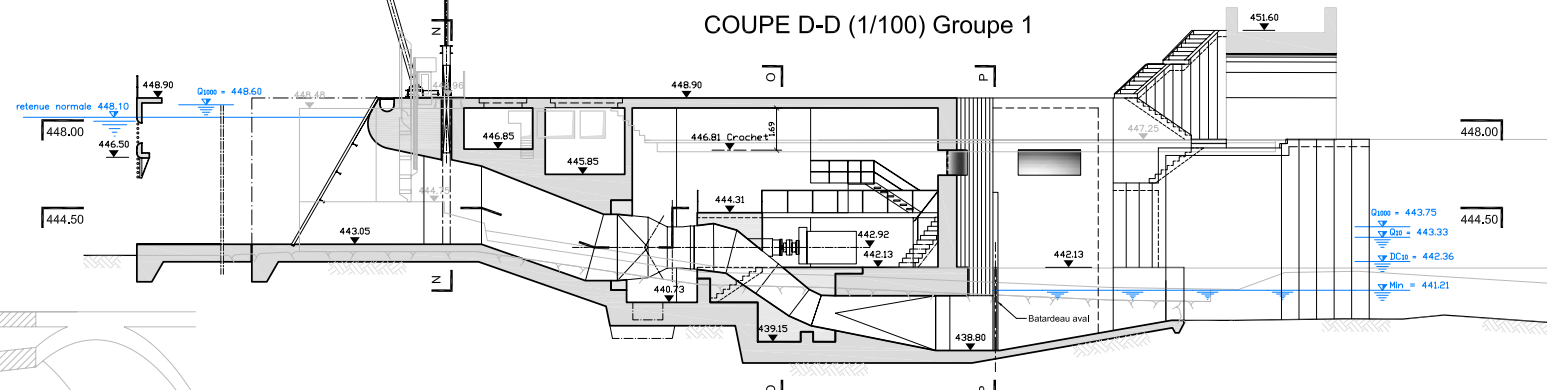
COUPE E-E (1/50)



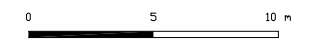
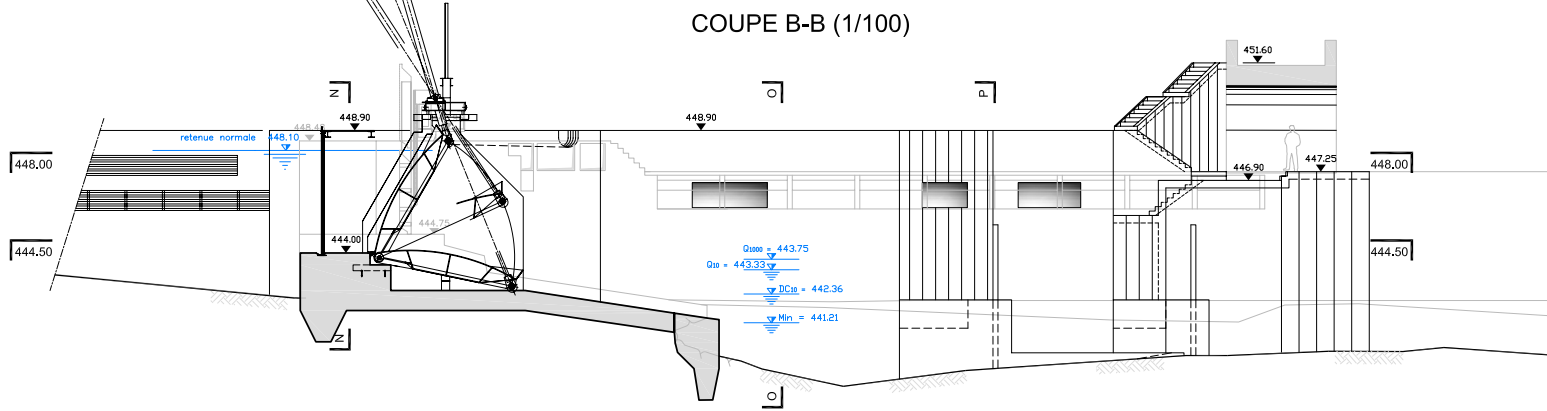
COUPE A-A (1/100) Groupe 2



COUPE D-D (1/100) Groupe 1



COUPE B-B (1/100)



NO	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	VISA

vo énergies USINES DE L'ORBE

BARRAGE - USINE DES MOULINETS - ORBE

AVANT-PROJET

BARRAGE - USINE
COUPES LONGITUDINALES

esatech

GEOS INGENIEURS CONSEILS SA
GENIE CIVIL, STRUCTURES, GEOTECHNIQUE
HYDRAULIQUE, ENDOCHÈMENT

EDITION	1/50	1/100
FORMAT	136 x 60	
DATE	27.07.20	
DESS.	PMB	MS
PLAN NO	1306-104	
IND.		

PROFIL EN LONG

Ech Horiz. : 1/5000

Ech Vert. : 1/50

