



CENTRALE DU BIEF-ROUGE

RECUPERATION DES EAUX DU TUNNEL DU MONT D'OR A VALLORBE

Rapport 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
Société Electrique du Châtelard
CH 1337 Vallorbe

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



Date: 27 février 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: 102704

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



Table des matières

Résumé	3
Zusammenfassung.....	4
Abstract	4
1. INTRODUCTION	5
1. INTRODUCTION	5
2. DESCRIPTION DU PROJET.....	6
2.1 Situation	6
2.2 Profil en long et conduite forcée.....	7
2.3 Chambre de mise en pression - Réservoir de tête	8
2.4 Local turbinage et restitution dans l'Orbe.....	9
3. PLANNING DU PROJET	10
4. ESTIMATION DES COUTS - ANALYSE ECONOMIQUE.....	11
4.1 Production d'énergie	11
4.2 Coût des travaux	11
4.3 Analyse économique et prix de vente	12
5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	14
Annexes.....	15

Résumé

Le tunnel ferroviaire du Mont d'Or, d'une longueur de 6'097 m fut construit en début du 20^e siècle et fut inauguré le 16 mai 1915. Lors de l'exécution des travaux, il s'est produite une arrivée massive d'eau conduisant à l'inondation du chantier. Depuis l'achèvement du tunnel, les arrivées d'eau sont récoltées dans un collecteur et acheminées vers le portail suisse. Le débit venant du tunnel, de l'ordre de 120 l/s, est constant et n'a montré aucune variation tout au long des décennies passées.

Depuis longtemps, l'idée de turbiner les eaux du tunnel était envisagée. Au vu de la situation énergétique actuelle, la société électrique du Châtelard (SEC), avec l'appui de la commune de Vallorbe, a décidé de concrétiser cette idée et de réaliser le turbinage des eaux du tunnel connues sous la dénomination "Bief Rouge" pour produire de l'énergie hydroélectrique.

Le projet du "Bief Rouge" consiste à capter les eaux du tunnel du Mont d'Or à la sortie de celui-ci côté Vallorbe et de les amener dans une nouvelle conduite forcée au bord de l'Orbe, quelques 65 m plus bas, pour les turbiner dans une installation de turbinage.

Le projet prévoit l'installation d'un groupe de production d'électricité d'une puissance totale électrique de 54.5 kW dans un nouveau local situé à côté de la station de pompage d'eaux usées existante de la commune de Vallorbe.

Le coût d'investissement total est de l'ordre de 1.3 million de francs, et comprend la construction d'un réservoir de tête, d'une conduite forcée, d'un local de turbinage et du canal de fuite ainsi que les équipements électromécaniques pour la production électrique.

Sur la base d'une production annuelle moyenne de 465'000 kWh, le prix de vente du kWh produit a été évalué par une analyse de rentabilité et doit être de **21 cts/kWh** si l'on veut obtenir une rentabilité convenable. Le calcul de la rétribution selon l'Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEI) du 14 mars 2008 donne un prix de rétribution de **25 cts/kWh**.



Zusammenfassung

Der 6'097 m lange Eisenbahntunnel unter dem Mont d'Or (Schweiz-französischer Jura) wurde Anfangs des 20. Jahrhunderts erbaut und am 16. Mai 1915 eingeweiht. Während der Bauarbeiten ist ein massiver Wassereinbruch erfolgt der zur Überschwemmung der Tunnelbaustelle führte. Seit der Fertigstellung des Tunnels wird das eindringende Wasser in einer Leitung gefasst und dem schweizerischen Tunnelportal zugeführt. Die aus dem Tunnel fließende Wassermenge von etwa 120 l/s ist konstant und hat keinerlei Veränderung gezeigt während all den vergangenen Jahrzehnten.

Die Idee das Tunnelwasser zu turbinieren ist schon seit langem erwogen worden. Angesichts der aktuellen Situation im Energiesektor hat die Société électrique du Châtelard (SEC) jetzt beschlossen diese Idee zu verwirklichen und mit Unterstützung der Gemeinde Vallorbe das aus dem Tunnel kommende Wasser, unter der Bezeichnung "Bief Rouge" bekannt, zur Stromerzeugung zu turbinieren.

Das Projekt "Bief Rouge" besteht darin das aus dem Tunnel des Mont d'Or fließende Wasser am Tunnelausgang Seite Vallorbe zu fassen und in einer neuen Druckleitung dem 65 m tiefer liegenden Fluss Orbe zuzuführen um dort in einer neuen Turbinenanlage Strom zu erzeugen.

Die vorgesehene Stromerzeugungsanlage hat eine elektrische Gesamtleistung von 54.5 kW und ist in einem an die bestehende Abwasserpumpstation der Gemeinde Vallorbe liegenden neu zu erbauenden Lokal untergebracht.

Die Investitionskosten in der Größenordnung von 1.3 Millionen Franken beinhalten den Bau des Kopfbeckens, der Druckleitung, des Turbinenlokals und des Ausleitungskanals sowie die elektromechanische Ausrüstung für die Stromerzeugung.

Auf der Basis einer durchschnittlichen jährlichen Stromerzeugung von rund 465'000 kWh ist der Verkaufspreis der kWh mit Hilfe einer Wirtschaftlichkeitsanalyse auf **21 Rp/kWh** ermittelt worden.

Abstract

The 6'097 m long Railway Tunnel under the Mont d'Or (Swiss-French Jura) was constructed at the beginning of the 20th century and inaugurated on 16 May 1915. During the construction there was an important break-in of water in the tunnel that flooded the whole construction area. Since the achievement of the tunnel, the water incursion is drained and conveyed to the swiss entrance. The flow coming from the tunnel is at a constant discharge of about 120 l/s and didn't show any variation during all the past decades.

The idea of turbinizing the tunnel water has long since thought of. Considering the actual situation on the energy sector, the Société électrique du Châtelard (the local energy utility) with the back up of the municipality, decided now to realize this concept and to turbine the water coming from the tunnel, also known as "Bief Rouge", for electricity production.

The "Bief Rouge" project consists in catching the flow at the Vallorbe side entrance of the tunnel and to conduct it in a new penstock to the Orbe River situated some 65 m below where electricity will be produced in a new small power station.

The planned power scheme has a total electrical capacity of 54.5 kW and is housed in a new building next to the existing sewage pumping station of Vallorbe.

The total investment cost is 1.3 million francs and includes the construction of a new headwater basin, a penstock, a power station and a tailrace channel as well as the electro-mechanical equipment for power production.

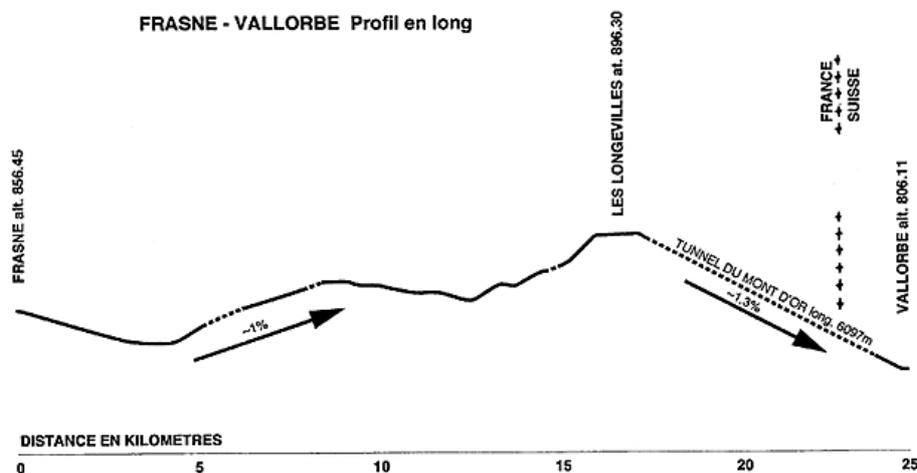
Based on a mean annual power production of some 465'000 kWh, the retail price of the kWh has been evaluated by an economic analysis to be **21 cts/kWh**.



1. INTRODUCTION

Le tunnel ferroviaire du Mont d'Or, d'une longueur de 6'097 m fut construit en début du 20^e siècle par l'entreprise des Grands Travaux de Marseille pour le compte de la compagnie ferroviaire PLM ("Paris-Lyon-Méditerranée"). Les travaux se terminèrent en avril 1915 et le tunnel fut inauguré le 16 mai 1915.

Le tunnel présente une pente d'environ 1.3 % en direction du portail suisse.



Lors de l'exécution des travaux, il s'est produite une arrivée massive d'eau conduisant à l'inondation du chantier (image ci-dessous). Depuis l'achèvement du tunnel, les arrivées d'eau sont récoltées dans un collecteur et acheminées vers le portail suisse. Le débit venant du tunnel, de l'ordre de 120 l/s, est constant et n'a montré aucune variation tout au long des décennies passées.



Depuis longtemps, l'idée de turbiner les eaux du tunnel était envisagée. Au vu de la situation énergétique actuelle, la société électrique du Châtelard (SEC), avec l'appui de la commune de Vallorbe, a décidé de concrétiser cette idée et de réaliser le turbinage des eaux du tunnel connues sous la dénomination "Bief Rouge" pour produire de l'énergie hydroélectrique.

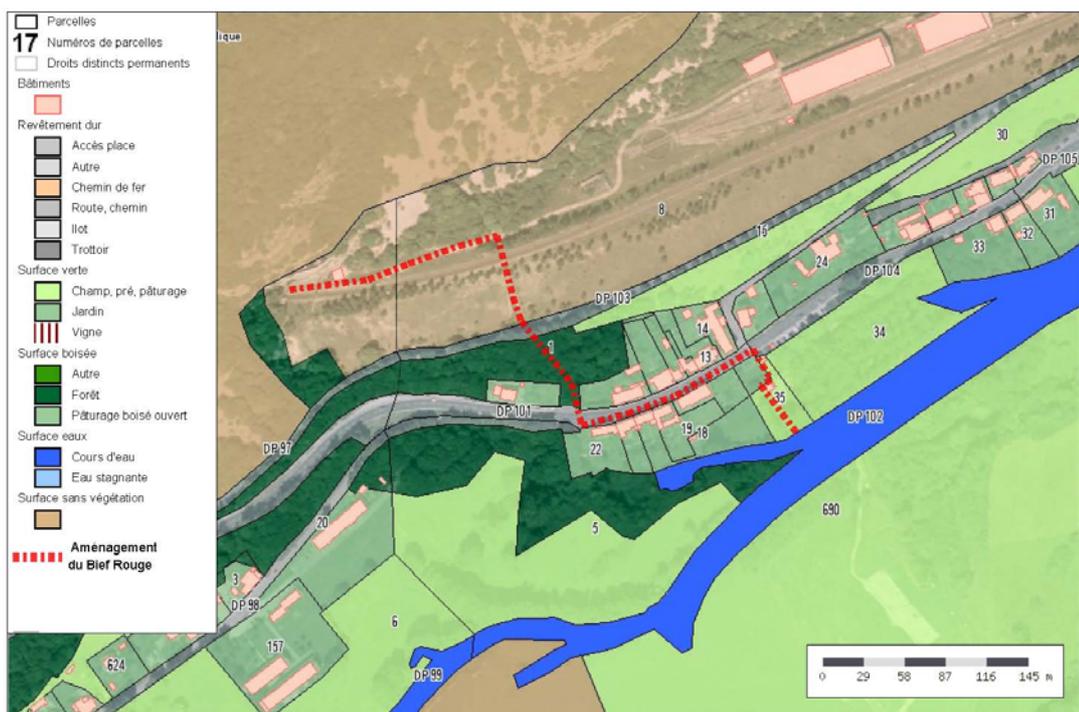
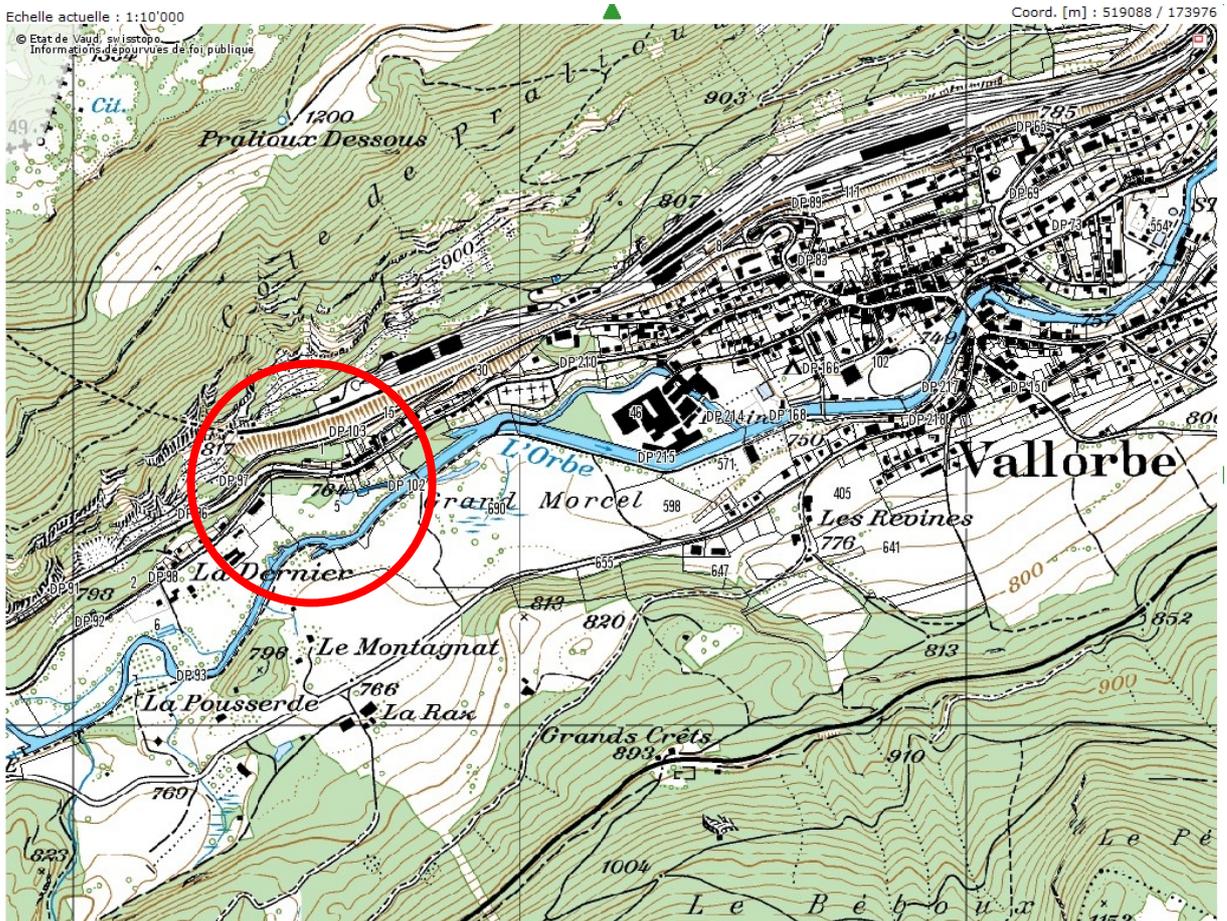
Dans ce contexte, SEC a mandaté GEOS Ingénieurs Conseils SA, Lausanne pour établir une étude de faisabilité relative à la mise en valeur de ce potentiel hydroélectrique du "Bief Rouge" et d'en évaluer les coûts. Le présent rapport présente les résultats de ces études.



2. DESCRIPTION DU PROJET

2.1 SITUATION

La localisation du projet du "Bief Rouge" ainsi que la situation du tracé et des parcelles traversées sont indiquées sur les graphiques suivants :



Le projet du "Bief Rouge" consiste à capter les eaux du tunnel du Mont d'Or à la sortie de celui-ci côté Vallorbe et de les amener dans une nouvelle conduite forcée au bord de l'Orbe, quelques 65 m plus bas, pour les turbiner dans une installation de turbinage.

L'aménagement du "Bief Rouge" est constitué des éléments suivants (cf. annexe 1) :

- la déviation de la canalisation existante Ø 600 amenant les eaux du tunnel à la chambre de mise en pression;
- la chambre de mise en pression, conçue en tant que réservoir d'un volume de 100 m³ pour constituer une réserve incendie permanente en cas d'accident dans le tunnel et fonctionnant également comme séparateur d'hydrocarbure;
- la conduite forcée d'une longueur de 367 m et d'un diamètre DN 300 dont le tracé emprunte le passage du "Chaple à Bois" sous la voie ferrée CFF, puis descend le talus boisé de la parcelle n° 1 (commune de Vallorbe) pour longer ensuite la route cantonale jusqu'à l'embranchement du Chemin du Toscane avant de rejoindre le local de turbinage en contre-bas de la route cantonale (graphique ci-dessus);
- le local de turbinage située sur la parcelle n° 35 (commune de Vallorbe), adossé à la station de pompage existante des eaux usées;
- le groupe turbo-générateur et les équipements hydromécaniques, électriques et de contrôle-commande;
- le canal de fuite d'une longueur de quelque 38 m et d'un diamètre de 1.25 m (tuyau en béton) qui restitue les eaux à l'Orbe.

2.2 PROFIL EN LONG ET CONDUITE FORCÉE

Le profil en long de l'aménagement fait l'objet de l'annexe 2.

La sortie du tunnel du Mont d'Or est située à une altitude de 816.50 msm. A quelques 75 m de la sortie du tunnel, la canalisation existante est déviée dans la chambre de mise en pressions / réservoir de tête. La longueur de la conduite forcée du réservoir de tête au local de turbinage est de 367 m.

Le tracé adopté pour la conduite forcée ne présente pas de point haut intermédiaire. Entre la voie ferrée et la route du Tunnel, la pente est de 34% à 37%, entre la route du Tunnel et la route cantonale (rue des Grottes), elle est de l'ordre de 25% alors qu'elle s'établit à 55.4% dans la descente de la route cantonale vers le local de turbinage.

Le niveau du plan d'eau dans le réservoir de tête est de 814.50 msm et correspond à la cote du déversoir de sécurité. Le niveau d'eau dans le canal de fuite étant de l'ordre de 749.50 msm, la chute brute est ainsi de 65 m.

Un calcul de perte de charge a été effectué pour déterminer le diamètre de la conduite forcée afin d'optimiser cet ouvrage sur le plan économique. Ainsi, pour limiter les pertes de charges hydrauliques à une valeur de l'ordre de 7% de la chute brute, le diamètre intérieure adopté pour la conduite est de 300 mm (DN 300).

Les caractéristiques hydrauliques de la conduite forcée sont les suivants :

- longueur	:	367 m
- débit	:	120 l/s
- chute brute	:	65 m
- chute nette	:	60.4 m
- rugosité absolue admise	:	0.26 mm
- pertes de charge	:	4.6 m



- vitesse d'écoulement : 1.7 m/s
- pression de service entrée turbine : 6.5 bar (65 m CE⁽¹⁾)
- pression maximum,
y c. prov. pour coups de bélier : 8 bar
- pression nominale conduite : PN 10

En ce qui concerne le choix du matériau des tuyaux de la conduite forcée, deux options sont retenues à ce stade. En première option, il pourrait être choisi une conduite en fonte ductile avec revêtements en PUR (polyuréthane), ou en PE double (polyéthylène) ou encore en ZMU (fibre-ciment). En deuxième option, c'est une conduite en PE 100 qui pourrait s'imposer pour des raisons économiques.

2.3 CHAMBRE DE MISE EN PRESSION - RÉSERVOIR DE TÊTE

La situation et les coupes de la chambre de mise en pression et du réservoir de tête sont données en annexe 3.

Les dimensions en plan du réservoir de tête sont de 12.25 m de longueur sur 6.50 m de largeur pour une profondeur de 4.30 m. L'ouvrage est placé dans une excavation faite dans le flanc rocheux, son calage altimétrique étant fonction des altitudes de la canalisation amenant les eaux du tunnel.

Outre sa fonction de chambre de mise en pression, l'ouvrage est conçu pour constituer une réserve incendie d'environ 100 m³ utilisable en cas d'accident dans le tunnel. La taille de l'ouvrage résulte de cette exigence.

A l'entrée de l'ouvrage, après la chambre d'arrivée (1)⁽²⁾, est aménagé un dispositif de chambres à chicanes qui doit permettre de séparer et retenir les hydrocarbures qui pourraient être amenés avec les eaux du tunnel en cas d'accident dans celui-ci. Ainsi, les eaux arrivant devront passer de la première chambre du séparateur (2) par-dessous un mur plongeur à la chambre latérale (3) pour arriver ensuite par-dessus un mur déversant dans la chambre principale (4) du réservoir. Le but de ces différentes chicanes est de retenir et de séparer les eaux propres des éventuels hydrocarbures qui eux pourront ensuite être pompés dans un camion citerne.

Compte tenu de l'altitude à la sortie du tunnel et du fait que la canalisation existante est enterrée, le niveau d'eau normal du réservoir est fixé à la cote 814.50 msm. L'entrée de la conduite forcée est placée à une profondeur de 1.50 m sous le niveau normal du réservoir pour éviter la formation d'un vortex et l'entraînement d'air dans la conduite. La conduite forcée est équipée d'une vanne de garde placée à l'extérieur de l'ouvrage pour pouvoir l'isoler.

Le contrôle du niveau d'eau normal est assuré automatiquement par le seuil déversant du trop-plein aménagé sur un côté du réservoir. Afin de pouvoir vider le réservoir pour des raisons d'entretien, le canal du trop-plein est prolongé en amont jusqu'à la chambre d'arrivée pour permettre ainsi de by-passer le réservoir. Deux vannes planes installées dans la chambre d'arrivée permettront ces manœuvres.

L'évacuation des eaux du trop-plein et du by-pass est faite par une conduite de diamètre 600 mm qui rejoint la canalisation existante de même diamètre.

(1) CE = colonne d'eau

(2) Les chiffres entre parenthèses renvoient aux numéros notés sur le plan



2.4 LOCAL TURBINAGE ET RESTITUTION DANS L'ORBE

Les eaux amenées par la conduite forcée sont turbinées dans un local à construire contre le local existant de la station de pompage des eaux usées. La vue en plan et la coupe de ce local sont données en annexe 4.

Le gabarit hors sol et les dimensions en plan du local, soit 5.1 m x 6.0 m, sont similaires à celles de la station de pompage adjacente.

Les eaux turbinées sont restituées à l'Orbe au moyen d'un canal de fuite d'une longueur de l'ordre de 38 m, constitué d'un tuyau de béton de diamètre 1.25 m.

Compte tenu des caractéristiques hydrauliques de l'installation (débit et chute), l'utilisation d'une turbine du type PAT (pompe centrifuge à rotation inverse) est indiquée. En effet, pour ainsi dire sans modifications, une pompe centrifuge standard peut être utilisée comme turbine. La pompe standard est traversée en sens inverse (du côté pression au côté aspiration), change son sens de rotation et génère un couple mécanique utilisable au niveau de l'arbre de pompe.

La comparaison de l'hydraulique montre des similitudes avec la turbine Francis. Cependant, en l'absence d'un distributeur, la pompe à elle seule ne peut donc presque pas varier son point d'utilisation. Pour la production du courant, la PAT sera accouplée à une génératrice asynchrone

Sous une chute nette de 60.4 m, la puissance hydraulique du groupe turbo-générateur est de 71 kW. Les rendements de la pompe en régime turbine et de la génératrice asynchrone étant respectivement de 85% et 90%, le rendement global du groupe est de l'ordre de 76.5%. La puissance électrique est donc de l'ordre de 54.5 kW.

Comme pour une turbine traditionnelle, un tuyau d'aspiration conique est placé directement en aval de la machine pour récupérer une partie de l'énergie cinétique à la sortie de la pompe en régime turbine.

L'installation du groupe turbo-générateur est complétée par celle des tableaux et armoires électriques avec câbles de liaison et raccordements, circuit puissance et condensateurs.

Le démarrage et l'arrêt du groupe turbo-générateur sont obtenus par l'ouverture, respectivement la fermeture, contrôlée lente d'une vanne en amont. Le coup de bélier au démarrage est contrôlé par la vitesse d'ouverture de cette vanne amont.

En cas de coupure du réseau électrique, la vitesse de rotation du groupe augmente jusqu'à la vitesse à vide (vitesse d'emballement) qui peut atteindre 2 fois la vitesse nominale. Afin de maîtriser les phénomènes de coups de béliers qui peuvent se produire dans ce cas, les mesures appropriées telles que volant d'inertie, accumulateur hydro-pneumatique, frein, etc. seront étudiées dans une phase d'étude ultérieure.



3. PLANNING DU PROJET

L'exécution des travaux n'est que peu tributaire des conditions climatiques et saisonnières. Les principaux travaux de génie civil sont des travaux d'excavation dans la roche (réservoir de tête, partie amont de la conduite forcée), des travaux de fouille pour la conduite forcée et des travaux de génie civil pour le local turbinage et le canal de fuite.

L'exécution des travaux nécessite l'accord et une coordination avec les CFF. La mise à disposition du domaine CFF sera réglée par convention dans le cadre des demandes d'autorisations de construire.

La durée des travaux proprement dits est estimée à ce stade à quelques 6 mois.

Au vu des éléments dont nous disposons à ce jour, les échéances suivantes sont proposées :

Remise de l'étude de faisabilité	février 2009
Validation de l'étude de faisabilité par la SEC	mai 2009
Prise de contact et coordination SEC – CFF – Commune de Vallorbe	novembre 2009
Constitution du dossier de demande de concession	février 2010
Etablissement du projet d'ouvrage	mai 2010
Demande des autorisations de construire	mai 2010
Préparation des dossiers et mise en soumissions des travaux et équipements	juillet 2010
Exécution des travaux GC et installation des équipements	oct. 2010 à mars 2011
Mise en service de la nouvelle installation du "Bief Rouge"	Avril 2011



4. ESTIMATION DES COÛTS - ANALYSE ECONOMIQUE

4.1 PRODUCTION D'ENERGIE

La production d'énergie dépend de la chute disponible et des apports hydrologiques. Ces dernières, soit un débit turbinable de 120 l/s, sont constants toute l'année depuis des décennies, 365 jours sur 365.

La chute brute maximum disponible est de 65 m. Compte tenu des pertes de charge de la conduite forcée, la chute nette devient 60.4 m et la puissance hydraulique de l'installation est de 71 kW. Tenant compte du rendement global du groupe turbo-générateur, on obtient la puissance maximum aux bornes de 54.5 kW. En intégrant cette puissance, la production d'énergie électrique annuelle peut alors être évaluée à quelques 477'420 kWh, sous condition que l'installation soit disponible à 100% du temps.

Les caractéristiques de la nouvelle installation sont les suivantes :

Type d'exploitation :	au fil de l'eau
Chute brute	65.0 m
Chute nette	60.4 m
Débit équipé	120 l/s
Puissance brute (hydraulique)	71 kW
Puissance aux bornes	54.5 kW
Production annuelle (disponibilité 98%)	467'870 kWh
Fonctionnement électrique :	sur réseau public

Le débit turbinable étant constant toute l'année, il n'y a en principe pas de variation sur une année de l'énergie produite, à l'exception des non-disponibilités de l'installation dues à l'entretien.

4.2 COÛT DES TRAVAUX

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 2009. 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	76'000.-
2. Réservoir de tête	224'000.-
3. Fouilles pour conduite forcée	115'000.-
4. Local turbinage et canal de fuite	170'000.-
5. Travaux divers	55'000.-
TOTAL TRAVAUX DE GENIE CIVIL (hors TVA)	640'000.-



Les coûts de l'équipement électro-mécanique sont :

1. Conduite forcée, fourniture et pose	125'000.-
2. Vannes et robinetterie	20'000.-
3. Groupe turbo-générateur (turbine PAT)	250'000.-
4. Contrôle/commande	50'000.-
5. Raccordement sur réseau électrique 400V	30'000.-
TOTAL EQUIPEMENT ELECTRO-MECANIQUE (hors TVA)	475'000.-

Les coûts pour l'étude du projet et la direction des travaux sont estimés à kCHF 170 (hors TVA). La précision des estimations est de l'ordre de $\pm 20\%$.

4.3 ANALYSE ECONOMIQUE ET PRIX DE VENTE

Le **coût d'investissement total** de l'installation du "Bief Rouge" est résumé dans le tableau suivant :

INVESTISSEMENT POUR LA REALISATION DU BIEF ROUGE		
Travaux de génie civil	kCHF	640
Conduite forcée, vannes et robinetterie	kCHF	145
Equipement électro-mécanique	kCHF	250
Contrôle/commande + Raccordement 400V	kCHF	80
Projet et direction des travaux	kCHF	170
Total investissement (hors TVA)	kCHF	1'285
Investissement spécifique	kCHF/kW	23.58

Le tableau ci-dessus montre que l'investissement spécifique⁽³⁾ est de CHF 23'580.-/kW, valeur qui semble élevée mais qui se place dans la fourchette "normale" si l'on compare avec d'autres installations similaires de même taille.

Les coûts d'exploitation adoptés sont les suivants :

DEPENSES D'EXPLOITATION		
Frais de personnel	kCHF	6.0
Matériel divers de maintenance	kCHF	2.0
Taxes et assurances	3 ‰ valeur équipements	1.2
Redevance hydraulique (exonérée < 1 MW)	80.-/kW	p.m.
Révision des 5, 10 et 15 ans	kCHF	2.0
Total dépenses d'exploitation	kCHF	11.2

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



La charge de personnel retenue correspond à l'équivalent de un jour/homme par mois (5 %), au coût annuel d'un temps plein de kCHF 120, soit kCHF 6 par an.

Les frais généraux d'exploitation comprennent le matériel de maintenance, les taxes et primes d'assurance (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 (71 kW) et du tarif en vigueur (CHF 80.-/kW). En vertu de l'article 49 LHF, la future centrale du Bief-Rouge est 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 de l'installation de 98 %, ce qui correspond à ce que la turbine soit 7 jours hors service par an en moyenne pour maintenance de l'installation. 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 14.1 cts/kWh pour un TRI de 6% et une inflation de 2% à 27.4 cts/kWh pour un TRI de 10% et une inflation nulle. Pour obtenir une rentabilité de 8% et admettant un taux d'inflation de 1%, le prix de vente du kWh produit doit être de 20.7 cts/kWh.

Le calcul de la rétribution selon l'Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEI) du 14 mars 2008 donne le résultat suivant :

Rétribution de base	20.65 cts/kWh
Bonus niveau de pression	1.84 cts/kWh
Bonus d'aménagement des eaux	3.5 cts/kWh
Prix de rétribution total	<u>25.94 cts/kWh</u>



5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le tunnel ferroviaire du Mont d'Or, d'une longueur de 6'097 m fut construit en début du 20^e siècle par l'entreprise des Grands Travaux de Marseille pour le compte de la compagnie ferroviaire PLM ("Paris-Lyon-Méditerranée"). Les travaux se terminèrent en avril 1915 et le tunnel fut inauguré le 16 mai 1915.

Lors de l'exécution des travaux, il s'est produite une arrivée massive d'eau conduisant à l'inondation du chantier. Depuis l'achèvement du tunnel, les arrivées d'eau sont récoltées dans un collecteur et acheminées vers le portail suisse. Le débit venant du tunnel, de l'ordre de 120 l/s, est constant et n'a montré aucune variation tout au long des décennies passées.

Depuis longtemps, l'idée de turbiner les eaux du tunnel était envisagée. Au vu de la situation énergétique actuelle, la société électrique du Châtelard (SEC), avec l'appui de la commune de Vallorbe, a décidé de concrétiser cette idée et de réaliser le turbinage des eaux du tunnel connues sous la dénomination "Bief Rouge" pour produire de l'énergie hydroélectrique.

Le projet du "Bief Rouge" consiste à capter les eaux du tunnel du Mont d'Or à la sortie de celui-ci côté Vallorbe et de les amener dans une nouvelle conduite forcée au bord de l'Orbe, quelques 65 m plus bas, pour les turbiner dans une installation de turbinage.

L'aménagement du "Bief Rouge" est constitué

- d'une **chambre de mise en pression**, conçue en tant que réservoir d'un volume de 100 m³ pour constituer une réserve incendie permanente et fonctionnant également comme séparateur d'hydrocarbure;
- d'une **conduite forcée** d'une longueur de 367 m et d'un diamètre DN 300;
- d'un **local de turbinage** adossé à la station de pompage d'eaux usées existante, abritant un **groupe turbo-générateur** et les équipements hydromécaniques, électriques et de contrôle-commande;
- d'un **canal de fuite** d'une longueur de quelque 38 m et d'un diamètre de 1.25 m qui restitue les eaux à l'Orbe.

Le projet prévoit l'installation d'un groupe de production d'électricité d'une puissance totale électrique de 54.5 kW dans un nouveau local situé à côté de la station de pompage d'eaux usées de la commune de Vallorbe.

Le coût d'investissement total est de CHF 1'285'000, hors TVA, et comprend la construction d'un réservoir de tête, d'une conduite forcée, d'un local de turbinage et du canal de fuite ainsi que les équipements électromécaniques pour la production électrique.

Sur la base d'une production annuelle moyenne de 467'870 kWh, le prix de vente du kWh produit a été évalué par une analyse de rentabilité et doit être de **20.7 cts/kWh** si l'on veut obtenir un taux de rentabilité interne de 8% avec un taux d'inflation de 1%.

Le calcul de la rétribution selon l'Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEI) du 14 mars 2008 donne un prix de rétribution total de **25.94 cts/kWh**.

Le planning général de réalisation prévoit que la construction de l'aménagement pourrait débuter en automne 2010 avec une durée estimée des travaux de 6 mois ; ceci à condition que les pourparlers avec les CFF, le canton et la commune aient abouti et que les conventions nécessaires soient conclues. Ainsi, la mise en service pourrait intervenir en début 2011.

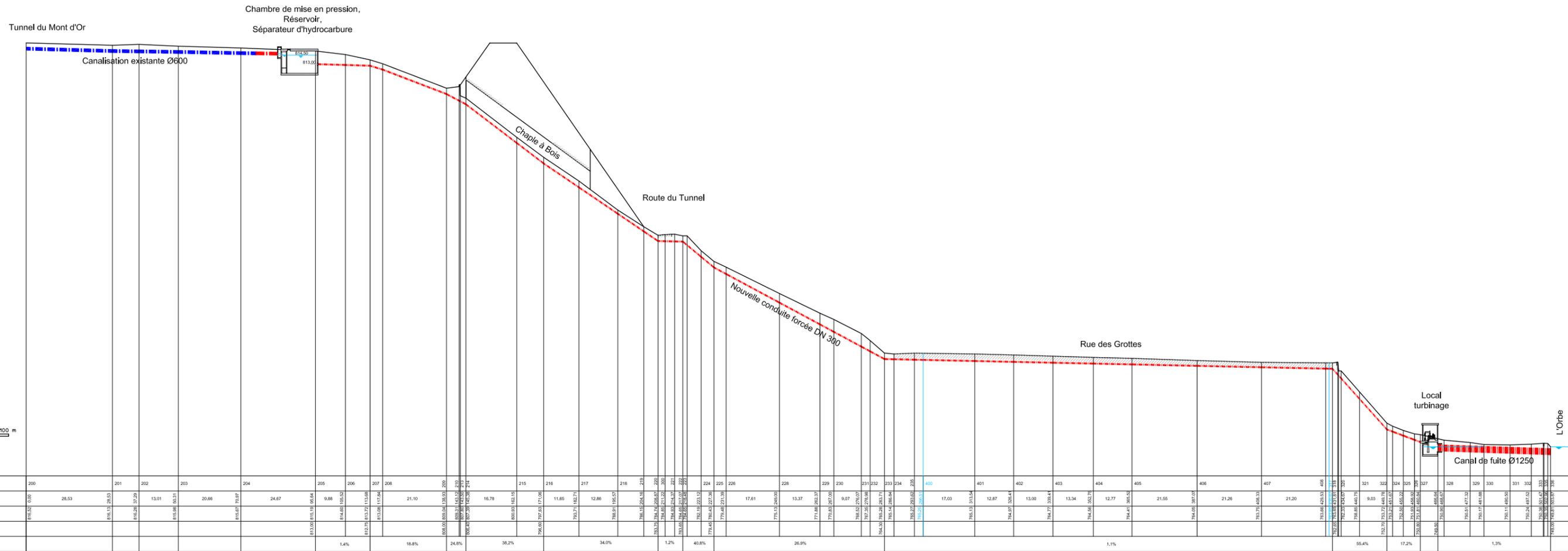
Pour la suite du projet, nous recommandons de procéder à des reconnaissances géotechniques au site du réservoir de tête et le long du tracé de la conduite forcée.



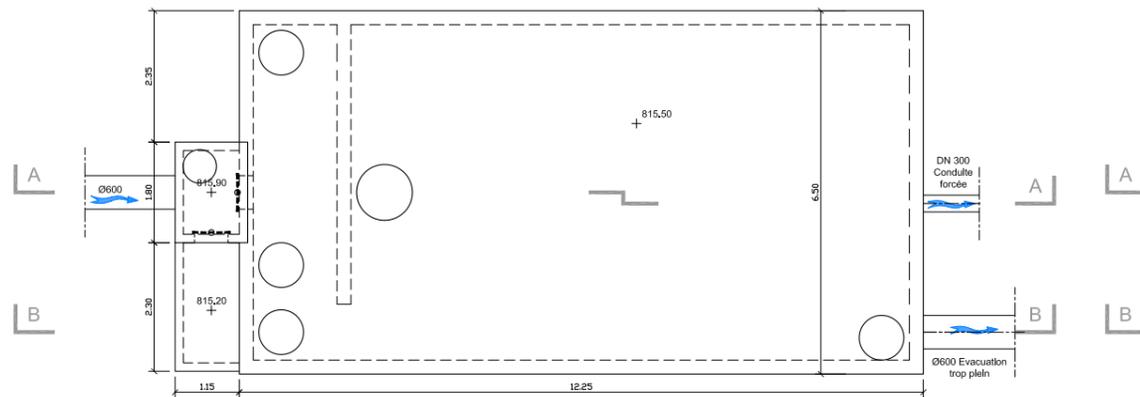
Annexes

<u>N°</u>	<u>Description</u>
1	Situation de l'aménagement
2	Profil en long de l'aménagement
3	Chambre de mise en pression, réservoir et séparateur d'hydrocarbure
4	Local turbinage - Vue en plan et coupe

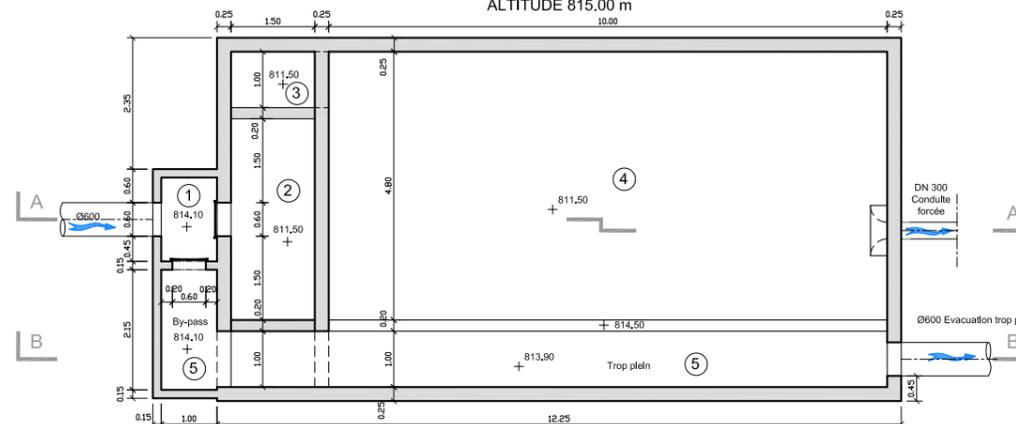




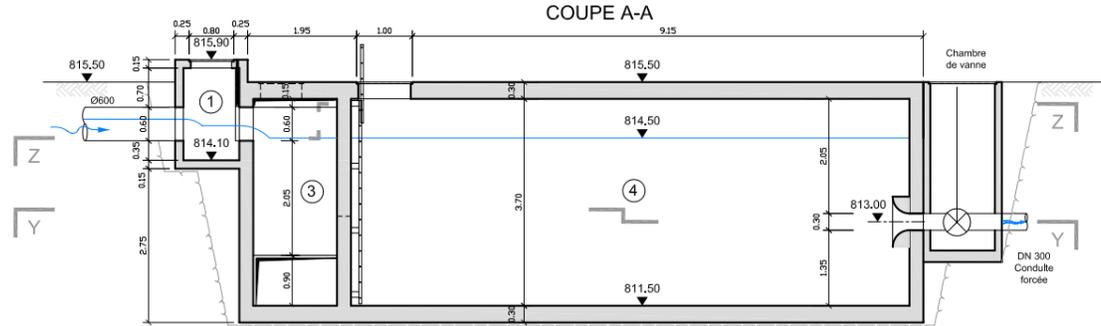
VUE EN PLAN



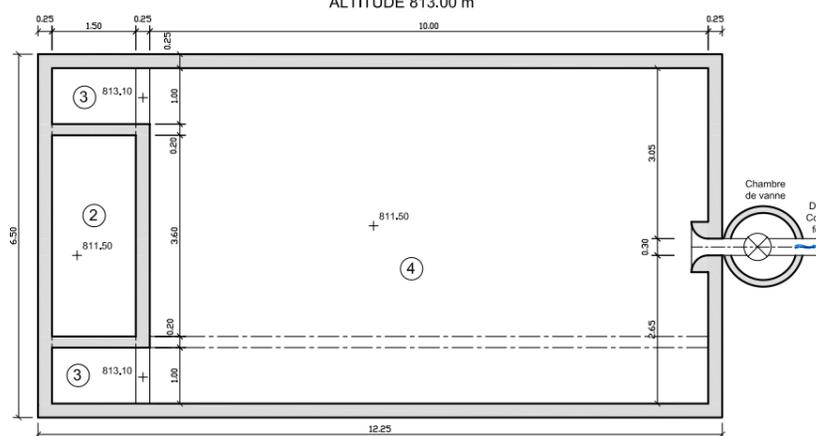
COUPE EN PLAN Z-Z
ALTITUDE 815.00 m



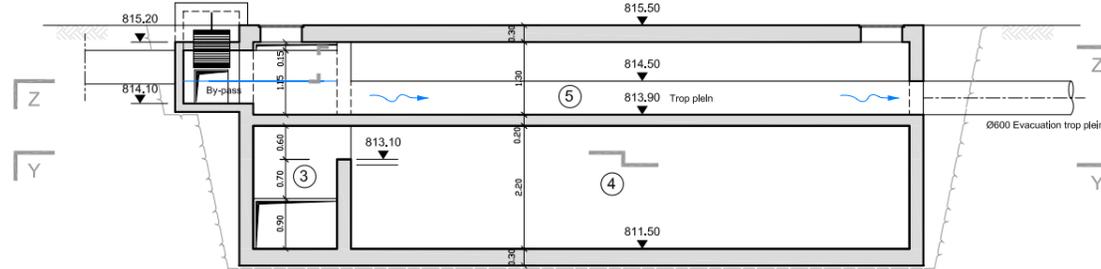
COUPE A-A



COUPE EN PLAN Y-Y
ALTITUDE 813.00 m



COUPE B-B



- LEGENDE:
- ① Chambre d'arrivé
 - ② et ③ Séparateur d'hydrocarbures
 - ④ Réservoir "Réserve incendie"
 - ⑤ Canal trop-plein et by-pass

ECHELLE



NO	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	VISA



SOCIÉTÉ ÉLECTRIQUE
DU CHATELARD

Récupération des eaux du "Bief Rouge" - VALLORBE

ETUDE DE FAISABILITE

CHAMBRE DE MISE EN PRESSION - RESERVOIR -
SEPARATEUR D'HYDROCARBURE

VUE EN PLAN ET COUPES

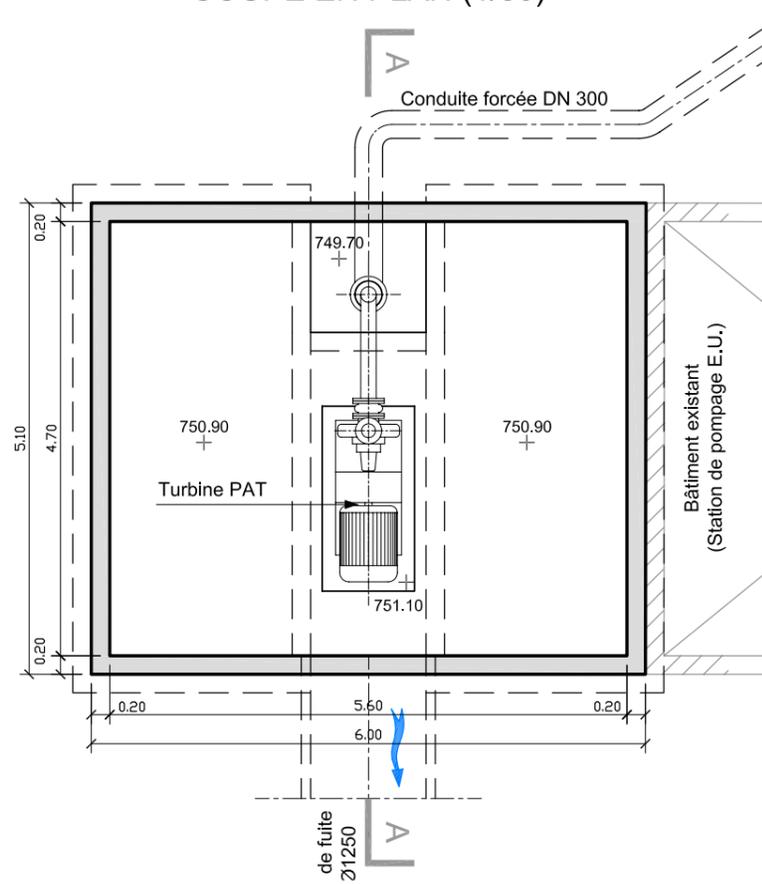
esatech
39 RUE DU LAC, CP 378
CH-1800 VEVEY
TEL +41 21 923 05 50
FAX +41 21 923 05 60
E-mail: sock@esatech.ch

GEOS INGENIEURS CONSEILS SA
GENIE CIVIL STRUCTURES GEOTECHNIQUE
HYDRAULIQUE ENVIRONNEMENT
1 BO DE GRANCY CH-1006 LAUSANNE
TEL 021 613 44 88 FAX 021 613 44 90
E-mail: geos@geos.ch

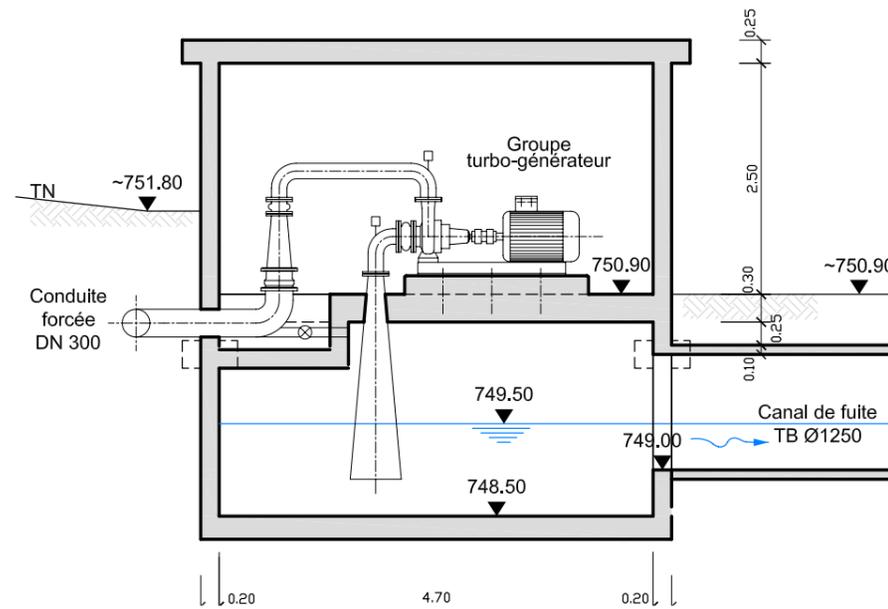
ECHELLE	1/50
FORMAT	105 x 45
DATE	05.09.08
DESS.	PMB
VISA	MG
PLAN NO	1337-003
IND.	-

Imprimé le 25 octobre 2008 / C:\Projets\10337 Bief Rouge\dessin\Etude Préliminaire\1337-003_Misev.dwg

COUPE EN PLAN (1/50)



COUPE A-A (1/50)



REF.				
NO	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	VISA



SOCIÉTÉ ÉLECTRIQUE
DU CHATELARD

Récupération des eaux du "Bief Rouge" - VALLORBE

ETUDE DE FAISABILITE

LOCAL TURBINAGE

VUE EN PLAN ET COUPES



39 RUE DU LAC, CP 378
CH-1800 VEVEY
TEL +41 21 923 05 50
FAX +41 21 923 05 60
E-mail : societete@esatech.ch

GEOS INGENIEURS CONSEILS SA

GENIE CIVIL STRUCTURES GEOTECHNIQUE
HYDRAULIQUE ENVIRONNEMENT

1 BD DE GRANCY CH 1006 LAUSANNE
TEL 021 613 44 88 FAX 021 613 44 90
E-mail : geos@geos.ch

ECHELLE 1/50

FORMAT 63 x 29.7

DATE	DESS.	VISA
08.09.08	PMB	MG

PLAN NO	IND.
1337-004	-