



PETITE CENTRALE HYDRO-ÉLECTRIQUE SUR LE RÉSEAU D'IRRIGATION DE LA COMMUNE D'ICOGNE

ETUDE DE FAISABILITÉ

Rapport final

Auteurs

MHyLab

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

Nicolas Cordonier et Gilles Rey SA

Rue de la Métralie 26, case postale 219, 3960 Sierre, www.cordonier-rey.ch, info@cordonier-rey.ch



Date: 31.01.2007

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: 101730

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



Table des matières

Résumé	4
Introduction	5
Description générale du projet	5
Données de base	6
Dénivellation exploitable	7
Hydrologie	7
Mesures des débits du trop-plein du lac d'Icogne	7
Débits moyens du trop-plein	11
Courbe des débits classés, débits turbinables et débit d'équipement	11
Conduite forcée et perte de charge	13
Principales dimensions de la turbine	14
Production électrique annuelle	16
Calculs économiques comparatifs des variantes	18
Principales caractéristiques des variantes finales	21
Description technique des variantes retenues	22
Principe de fonctionnement de l'installation de turbinage	22
Turbine	22
Vannes	23
Alternateur	23
Raccordement électrique	23
Sécurité	24
Contrôle commande	24
Local de turbinage	24
Conclusions	25
Annexes	25



Résumé

Le lac d'irrigation de la commune d'Icogne, situé à 1'416m, présente un trop-plein déversé dans le torrent de Pontec se jetant dans le bassin de compensation de la centrale hydro-électrique de Croix, à 919 m.

Le turbinage de ce trop-plein, entre le 15 mars et le 15 octobre, entraîne la pose d'une conduite en DN 400 de 1850 m et l'installation d'un turbogroupe à proximité de l'usine de Croix, dimensionné pour un débit de 250 l/s et une chute nette de 483 m.

L'étude, basée sur les mesures de débits du trop-plein de 2006, retient deux variantes, qui pourront être départagées au moment de la commande:

- l'une d'une puissance électrique de 988 kW, correspondant à une turbine à 2 injecteurs, et assurant une production de 1'697'000 kWh/an, dont 107'000 kWh en hiver, pour un prix de revient de 10.0 cts/kWh,
- l'autre d'une puissance électrique de 989 kW, correspondant à une turbine à 3 injecteurs, et assurant une production de 1'715'000 kWh/an, dont 108'000 kWh en hiver, pour un prix de revient de 10.1 cts/kWh.



Introduction

Dans le cadre du plan annuel 2006 du programme petites centrales hydrauliques de Suisse Energie, MHyLab et le bureau d'ingénieurs Nicolas Cordonier & Gilles Rey SA ont été mandatés par la commune d'Icogne, représentée par M. Olivier Duchoud, pour effectuer une étude de faisabilité détaillée du turbinage des eaux d'irrigation.

Cette étude complète celle, sommaire, effectuée en juillet 2005, qui a démontré la préfaisabilité technique et économique du projet.

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

Description générale du projet

Une visite du site a eu lieu le 19 septembre 2006.

Le réseau d'irrigation de la commune d'Icogne est alimenté par le lac d'Icogne, lac artificiel situé à 1'416 m, en dessous de Crans-sur-Sierre, servant de bassin de captage des eaux de fonte et de pluie de Plans-Mayens, et du captage d'une partie de la rivière dans le vallon de l'Ertenze.



Photo 1. Lac d'Icogne



Photo 2. Lac d'Icogne et évacuation du trop-plein

Le départ de la conduite forcée en DN 300 se trouve dans une galerie située dans la digue (cf. Photo 3), d'une cinquantaine de mètres de longueur.

Le lac est maintenu à niveau par un trop-plein (équipé d'une grille) (cf. Photo 2), évacué dans le torrent du Pontec (cf. Photo 4). Ce torrent, dont l'alimentation n'est pas régulière, se jette dans le bassin de compensation, situé à 919 m, de la centrale hydro-électrique de Croix, propriété de la Lienne SA (Cf. Photo 5).

L'objectif est de **turbiner le trop-plein**, en utilisant la chute entre le lac d'Icogne et le bassin de compensation de l'usine de Croix, et de déverser toute l'eau turbinée dans ce même bassin. Pour ce faire, une conduite d'environ 1'800 m devra être posée entre les deux lacs, tandis que le local de turbinage sera construit à proximité de la centrale de Croix.





Photo 3. Galerie dans la dige du lac d'Icogne et départ de la conduite forcée en DN 300 pour l'irrigation



Photo 4. Chute du torrent de Pontec au niveau du bassin de compensation de l'usine de Croix et du futur local de turbinage



Photo 5. Bassin de compensation de l'usine de Croix



Photo 6. Bassin de compensation et centrale enterrée de Croix

Données de base

Les constantes de base suivantes sont considérées :

Accélération de la pesanteur	g	m/s^2	9.804
Température moyenne de l'eau	T_{eau}	$^{\circ}C$	10
Masse volumique de l'eau à $10^{\circ}C$	ρ	kg/m^3	1000.2



DÉNIVELLATION EXPLOITABLE

Les altitudes ont pu être relevées sur une carte de la région au 1:25'000.

Les altitudes sont les suivantes:

- niveau d'eau dans le lac d'Icogne: 1'416 m,
- emplacement du futur local de turbinage, à proximité de l'usine de Croix: 920 m.

La dénivellation est donc de 496 m.

Il est à noter que l'altitude de l'axe de la turbine devra être reprécisée à la phase d'exécution du projet.

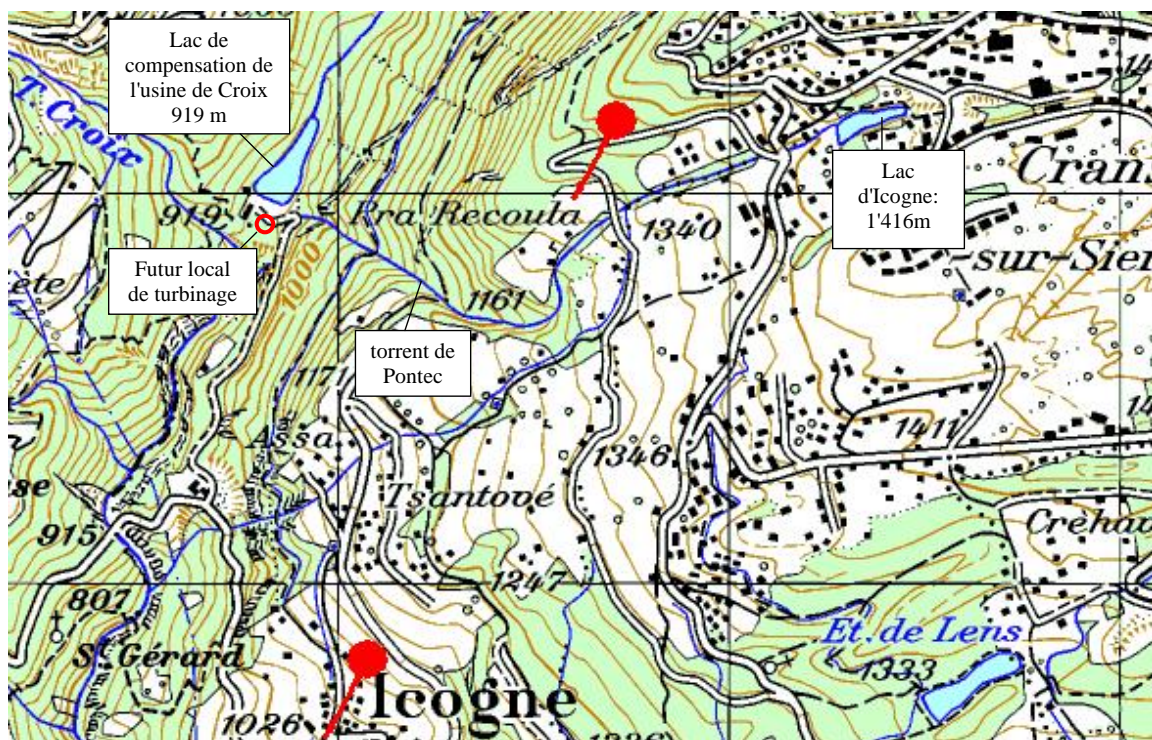


Figure 1. Plan de situation du lac d'Icogne, du bassin de compensation de l'usine de Croix et du futur local de turbinage

HYDROLOGIE

Mesures des débits du trop-plein du lac d'Icogne

Une station de mesure des trop-pleins du lac d'Icogne a été mise en place fin mars 2006. Les relevés ont d'abord été effectués toutes les heures, jusqu'à mi-octobre, puis toutes les 6 heures.

Les consommations en eau d'irrigation de mai à septembre, sont estimées à un maximum de 25 l/s. Elles sont dues à l'arrosage des cultures et aux utilisations des privés, le réseau d'irrigation étant sans frais pour les consommateurs. Toutefois, un système de compteurs sera installé afin de sensibiliser ces consommateurs aux débits et à la production électrique. Ainsi, le mandant prévoit une stagnation de la consommation en eau d'irrigation par rapport à 2006.

Il est à noter que durant les mois de mai et juin 2006, certaines arrivées d'eau pour le lac d'Icogne ont été déviées dans un autre bassin versant, pour cause de travaux effectués dans l'Ertense.

De plus, il s'avère que des études hydrologiques sont en cours afin de proposer une nouvelle gestion des ressources en eau en amont du lac d'Icogne, notamment pour approvisionner les canons à neige.



Ceci aurait pour conséquence de faire transiter les eaux du lac de Chermignon (Cf. Figure 2) par le lac d'Icogne et par la conduite entre ce lac et la future centrale, de manière à amener l'eau au bassin d'accumulation de l'usine de Croix, propriétaire des eaux en question. L'augmentation possible des débits du trop-plein du lac d'Icogne n'est cependant pas évaluée à ce jour.



Figure 2. Plan de situation des lacs de Chermignon et d'Icogne





Photo 7. Station de mesure installée sur le trop-plein du lac d'Icogne (déversoir triangulaire)

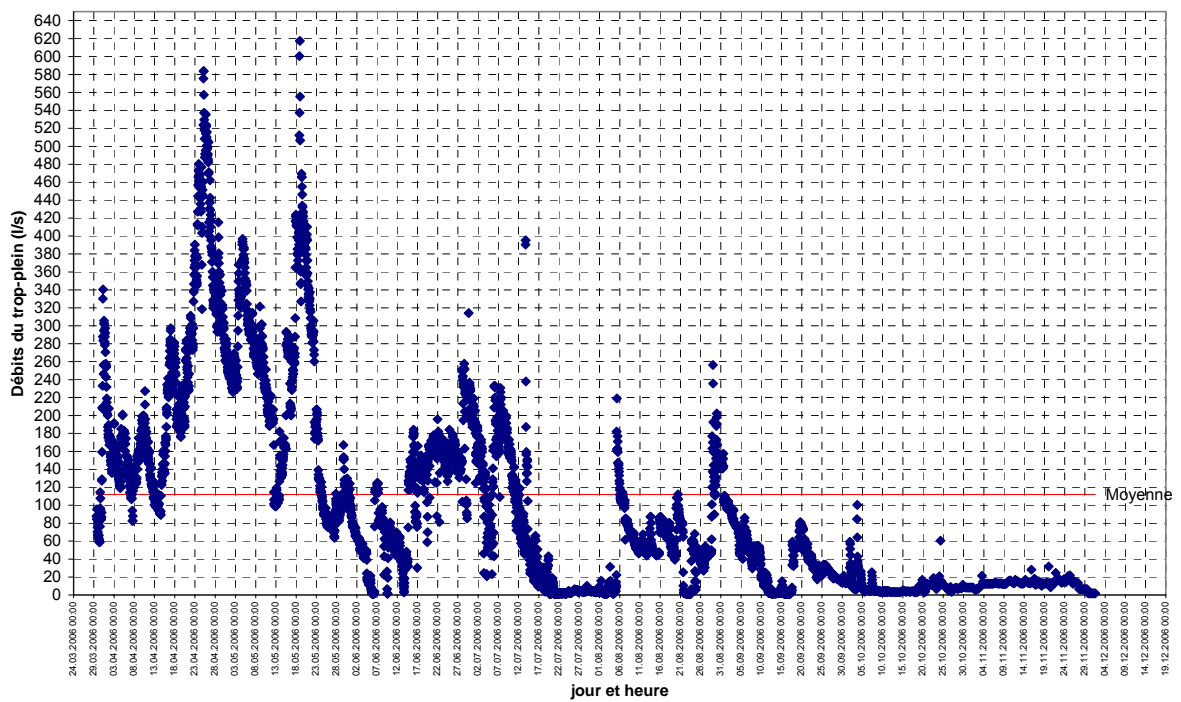


Figure 3. Relevés des mesures horaires des débits du trop-plein de fin mars 2006 à début décembre 2006



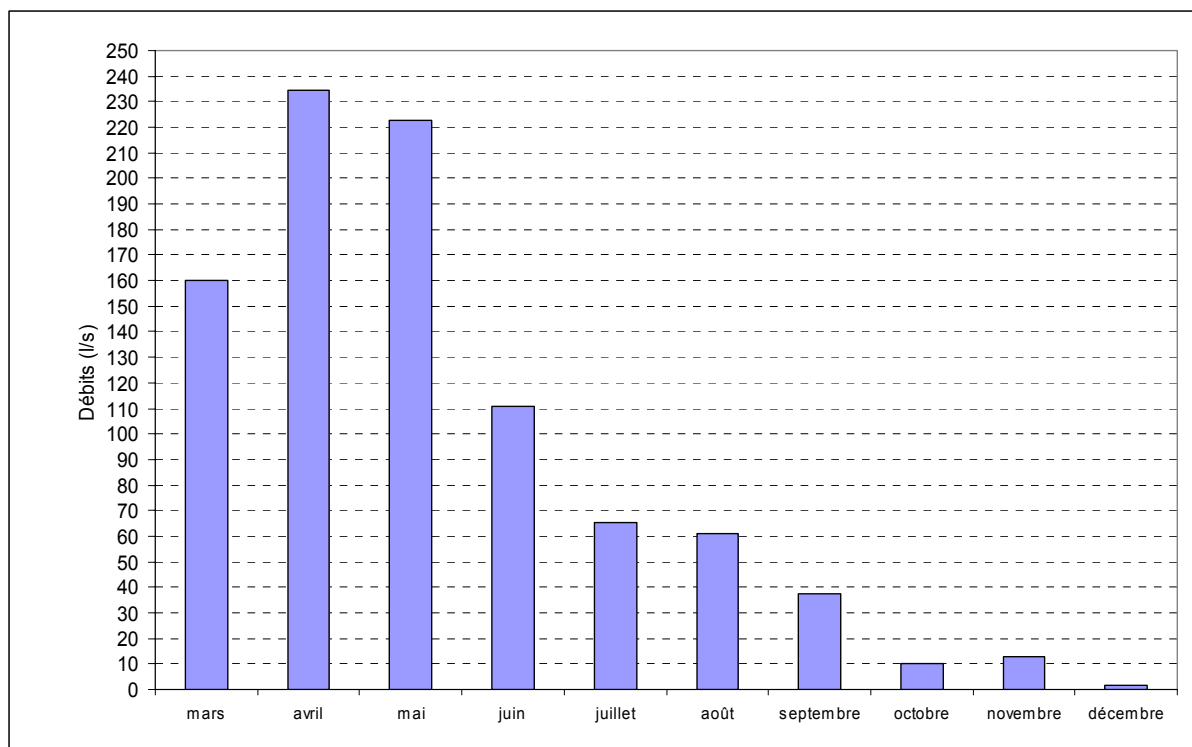


Figure 4. Débits moyens mensuels du trop-plein, déterminés à partir des mesures réalisées entre fin mars 2006 et début décembre 2006

Mois	Débits moyens 2006 (l/s)	Description
Janvier	Pas de mesures	Pas d'irrigation, débits du trop-plein limités par le gel
Février	Pas de mesures	Pas d'irrigation, débits du trop-plein limités par le gel
Mars	160 (mesurés depuis fin mars)	Pas d'irrigation, débits du trop-plein d'abord limités par le gel, puis alimentés par la fonte des neiges
Avril	235	Peu d'irrigation, débits du trop-plein alimentés par la fonte des neiges
Mai	223	Peu d'irrigation, débits du trop-plein alimentés par la fonte des neiges. En mai 2006, arrivées d'eau du lac d'Icogne partiellement déviées sur un autre bassin versant.
Juin	111	Irrigation, fin de la fonte des neiges, débits du trop-plein alimentés par les pluies. En juin 2006, arrivées d'eau du lac d'Icogne partiellement déviées sur un autre bassin versant.
Juillet	65	Forte irrigation
Août	61	Forte irrigation
Septembre	37	Peu d'apport
Octobre	10	Pas d'irrigation, débits du trop-plein limités par le gel
Novembre	13	Pas d'irrigation, débits du trop-plein limités par le gel
Décembre	2	Pas d'irrigation, débits du trop-plein limités par le gel

Tableau 1. Débits moyens mensuels du trop-plein pour l'année 2006 du réseau d'irrigation

Les caractéristiques des mesures du trop-plein de 2006 (du 29 mars au 1^{er} décembre 2006) sont les suivantes:

- minimum: 1 l/s,
- maximum: 617 l/s,
- moyenne: 112 l/s.



Débits moyens du trop-plein

Afin d'obtenir la courbe des débits classés pour une année hydrologique moyenne, il est nécessaire de corréliser les débits mesurés en 2006 avec les débits mesurés sur un cours d'eau similaire, sur une période hydrologique d'au moins 10 années.

Les volumes annuels turbinés par l'usine de Croix, issus de la Lienne, sont connus depuis 1994, et permettent de déterminer un facteur de corrélation pour 2006 de 1.2, signifiant que les débits de 2006 sont en moyenne supérieurs à ceux de l'année hydrologique moyenne.

Face au Tableau 1 et aux indications du mandant, la période de turbinage moyenne est définie du 15 mars au 15 octobre, soit 213 jours/an.

La campagne de mesure ayant commencé le 29 mars 2006, on pose **un débit moyen de 80 l/s entre le 15 et le 29 mars 2006**, d'après les observations du mandant. En effet, c'est à cette période que commence la fonte des neiges, engendrant un débit moyen de 160 l/s entre le 29 et le 31 mars 2006. De plus, on peut estimer que ce débit moyen est supérieur à celui des mois de juillet et août. Il s'agira de valider cette hypothèse avec les mesures qui seront réalisées sur le trop-plein en mars 2007.

Courbe des débits classés, débits turbinables et débit d'équipement

Selon la loi sur la protection des eaux, le torrent de Pontec n'est pas soumis aux débits résiduels, puisque, notamment:

- article 31: le torrent de Pontec n'est pas à débit permanent et le débit atteint ou dépassé 347 jours par an est nul,
- article 32: le torrent de Pontec n'est pas piscicole.

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, et notamment de son volet économique, et sur les recommandations du mandant, les calculs se baseront sur un débit résiduel de 5 l/s laissé dans le torrent de Pontec, pendant toute la période de turbinage.

Le graphe suivant présente:

- la courbe des débits classés du trop-plein du lac d'Icogne entre le 15 mars 2006 et le 15 octobre 2006, basée sur les mesures effectuées depuis le 29 mars 2006,
- la courbe des débits classés interannuels moyens du trop-plein, disponibles pour le turbinage, qui prend en compte:
 - les débits du trop-plein du lac d'Icogne entre le 15 mars 2006 et le 15 octobre 2006,
 - le facteur de corrélation de 1.2 remplaçant 2006 dans une année hydrologique,
 - un débit résiduel de 5 l/s.

Sur la Figure 5, le plat des courbes entre 100 et 115 jours /an correspond à l'interpolation du débit moyen entre le 15 et le 29 mars 2006.



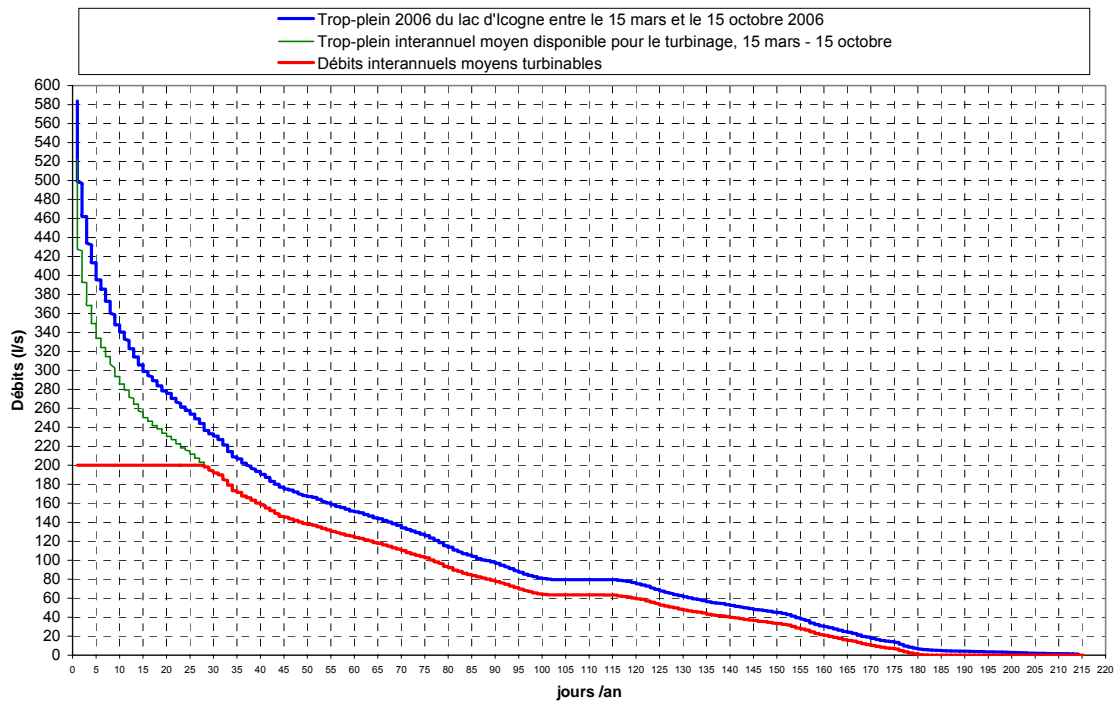


Figure 5. Courbes des débits classés du trop-plein du lac d'Icogne et des débits disponibles pour le turbinage

Au vu de la courbe des débits classés moyens turbinables, **le débit d'équipement de l'installation est de 200 l/s**, atteint ou dépassé 30 jours/an, soit 14 % de la période de turbinage. Toutefois, des **variantes à 250 l/s** seront également étudiées dans le but de maximiser la production, et face à la possibilité d'une augmentation des débits turbinables, vu les projets en cours pouvant améliorer l'hydrologie.

Sachant que le débit minimal turbinable correspond à 10 % du débit maximal par injecteur, pour un tel débit d'équipement, le débit minimal turbinable est de:

- Pour un débit d'équipement de 200 l/s:
 - 20.0 l/s pour une turbine à 1 injecteur,
 - 10.0 l/s pour une turbine à 2 injecteurs,
 - 6.3 l/s pour une turbine à 3 injecteurs,
- Pour un débit d'équipement de 250 l/s:
 - 25.0 l/s pour une turbine à 1 injecteur,
 - 12.5 l/s pour une turbine à 2 injecteurs,
 - 8.3 l/s pour une turbine à 3 injecteurs.



Conduite forcée et perte de charge

Afin de limiter les coûts liés au génie civil, il s'agit d'utiliser au maximum l'infrastructure de base. Toutefois, il s'avère qu'une **nouvelle prise d'eau** devra être créée dans la galerie existante pour éviter tout problème de coups de bélier. Par là-même, ceci conduit à rendre les infrastructures du turbinage (prise d'eau et conduite) indépendantes de celle de l'irrigation.

La nouvelle conduite d'une **longueur de 1850 m** entre la prise d'eau et la centrale (dont 50 m dans la galerie) sera en **fonte ductile revêtue**, afin de garantir sa pérennité, face notamment au fait que celle-ci peut être vide pendant toute la saison d'hiver. Son diamètre est déterminé ici de manière à limiter la perte de charge, c'est-à-dire à assurer **un rendement de conduite d'au moins 90 % au débit d'équipement**, ce qui correspond à un niveau de rendement comparable à celui des autres équipements (turbine et alternateur).

Le calcul de la perte de charge dans les conduites, basé sur la formule de Colebrook utilise l'équation suivante:

$$H_r = K_{Hr} \cdot Q_t^2 \quad (1)$$

avec: H_r = perte de charge [m]
 K_{Hr} = coefficient global de perte de charge, fonction du diamètre interne de la conduite et de la rugosité [s^2/m^5]
 Q_t = débit turbiné [m^3/s]

Les calculs sont réalisés avec une rugosité de 0.05 mm pour la nouvelle conduite.

Les données, hypothèses et résultats sont résumés dans le tableau suivant.

Conduite		nouvelle conduite, variante 0	nouvelle conduite, variante 1	nouvelle conduite, variante 2
Débit maximal transitant	l/s	250	250	250
Diamètre	mm	DN 300	DN 350	DN400
Dénivellation	m	496	496	496
Longueur	m	1850	1850	1850
Rugosité	mm	0.05	0.05	0.05
Coefficient de perte de charge K _{Hr}	s ² /m ⁵	914	420	215
Perte de charge au débit maximal	m	57	26	13
Rendement de la conduite au débit maximal	%	88	95	97

Tableau 2. Perte de charge pour chaque variante de diamètre interne de conduite

Face à la capacité du site, il n'est pas pertinent de choisir une conduite n'assurant pas, pour un débit de 250 l/s, un rendement de plus de 90 %. Ainsi, seules les **variantes en DN 350 et en DN 400** sont retenues pour la suite de l'étude.



Principales dimensions de la turbine

La dénivellation disponible impose d'installer une **turbine de type Pelton**. Une première étude ayant montré que le choix d'une turbine à 1 injecteur était peu pertinent, compte tenu de la variabilité des débits, deux variantes seront étudiées ici: à 2 ou 3 injecteurs.

Le Tableau 3 donne les principales caractéristiques d'une turbine à 2 ou 3 injecteurs pour les deux diamètres de conduite et deux débits d'équipement.

Variante		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
Débit d'équipement, Q_N	l/s	200	250	250	200	250	250
Diamètre de la conduite	mm	DN 350	DN 350	DN 350	DN 400	DN 400	DN 400
Chute nette à Q_N	m	479	470	470	487	483	483
Energie massique à Q_N	J/kg	4'698	4'606	4'606	4'779	4'731	4'731
Type de turbine		Pelton à axe vertical (*)					
Nombre d'injecteurs	(-)	2	2	3	2	2	3
Vitesse de rotation	t/min	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Diamètre externe de roue	mm	1013	1015	1004	1021	1026	1016
Diamètre du bâti	mm	2440	2440	2410	2450	2470	2440
Largeur d'auget, B_2	mm	101	115	93	101	114	92
Diamètre d'injection, D_1	mm	905	887	901	913	901	915
Nombre d'augets	(-)	27	26	28	28	26	29
Puissance hydraulique	kW	940	1152	1152	956	1183	1183
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	848	1036	1038	862	1065	1066

Tableau 3. Principales caractéristiques de la petite turbine Pelton pour différentes variantes de diamètre de conduite, de débit d'équipement et de nombre d'injecteurs (*: se référer à l'annexe)

Les indications du Tableau 3 sont fournies à titre indicatif et peuvent varier en fonction du constructeur choisi. En effet, les performances de la turbine (garanties de rendement, fiabilité, etc.) correspondent à une machine pour laquelle le constructeur peut prouver indiscutablement la provenance de ses garanties. Ainsi, les caractéristiques annoncées sont réalistes, pour autant que la turbine soit construite conformément à un profil hydraulique issu de développements en laboratoire.

Il s'avère que les 6 machines proposées ont des dimensions semblables. Ainsi, la différence de coûts entre une variante à 2 injecteurs et une autre à 3 correspondra essentiellement au coût de l'injecteur supplémentaire proprement dit. Elle sera donc faible.

Les schémas de principe des variantes 2.2 et 2.3 sont donnés en annexe.

La Figure 6 illustre les courbes de rendement mécanique à l'accouplement pour les 6 variantes qu'il est possible d'obtenir en acquérant une petite turbine dont les caractéristiques sont garanties par des essais en laboratoire.



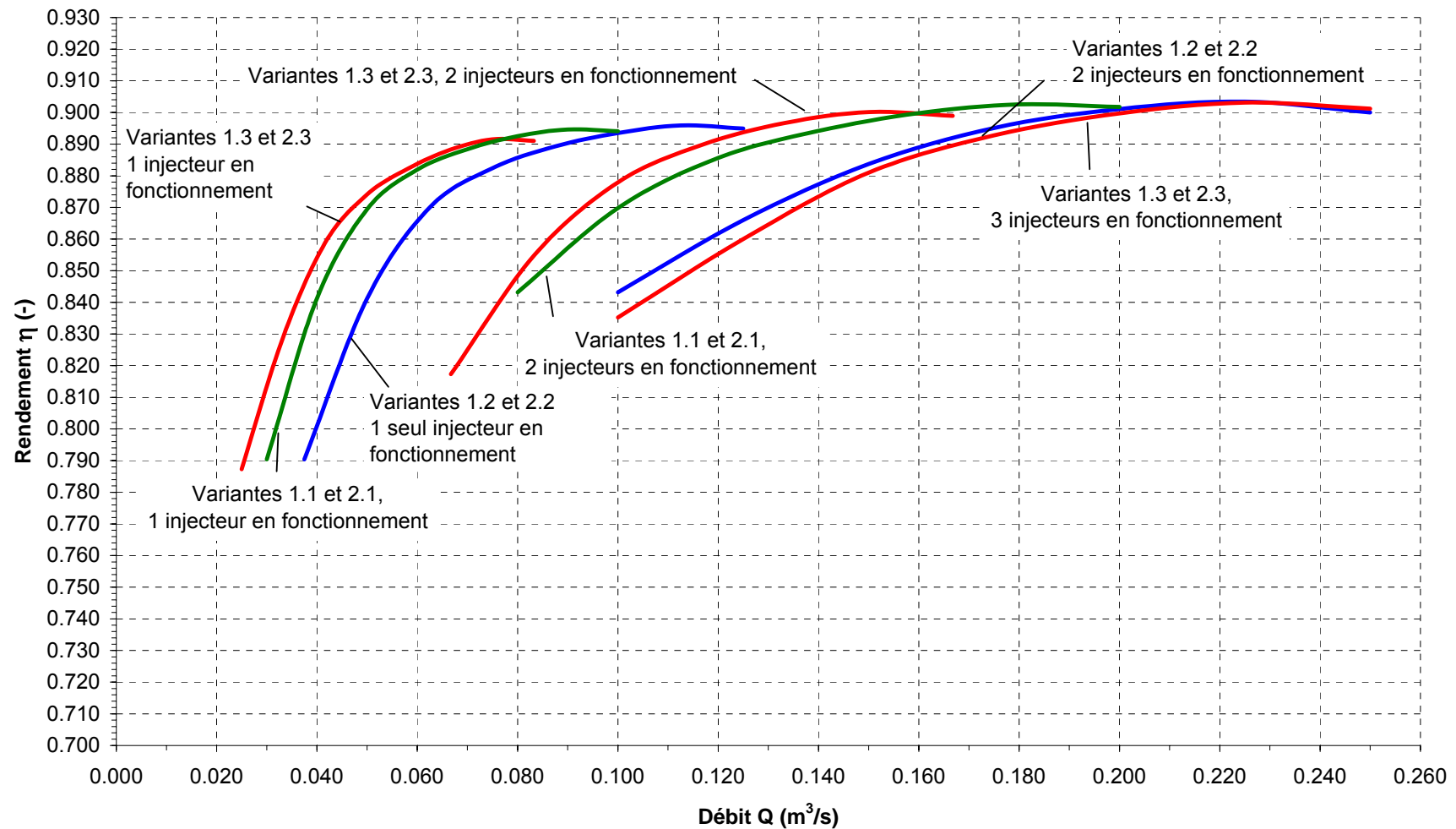


Figure 6. Rendement mécanique à l'accouplement en fonction du débit turbiné pour les 6 variantes



Production électrique annuelle

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

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

où E_{tot} = production électrique totale annuelle [kWh/an]

Q_t = débit turbiné [m³/s]

$\eta(Q_t)$ = produit des rendements de la turbine et de l'alternateur, fonction du débit [-]

$H(Q_t)$ = chute nette fonction du débit turbiné, calculée par l'équation (1) [m]

Le rendement de la turbine, pour chaque variante, est donné à la Figure 6.

Le rendement prévisible de l'alternateur est donné à la figure suivante.

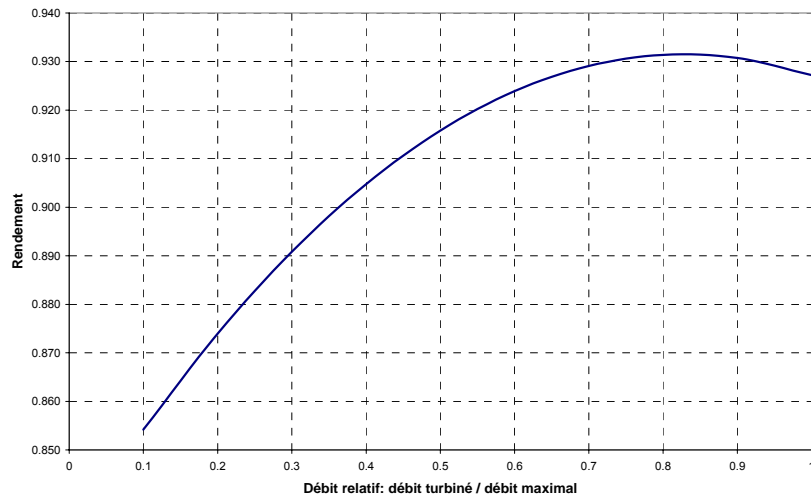


Figure 7. Courbe- type de rendement de l'alternateur

La Figure 8 donne le graphe des puissances classées pour les différentes variantes, la surface entre les axes et les courbes représentant les productions électriques en kWh/an.



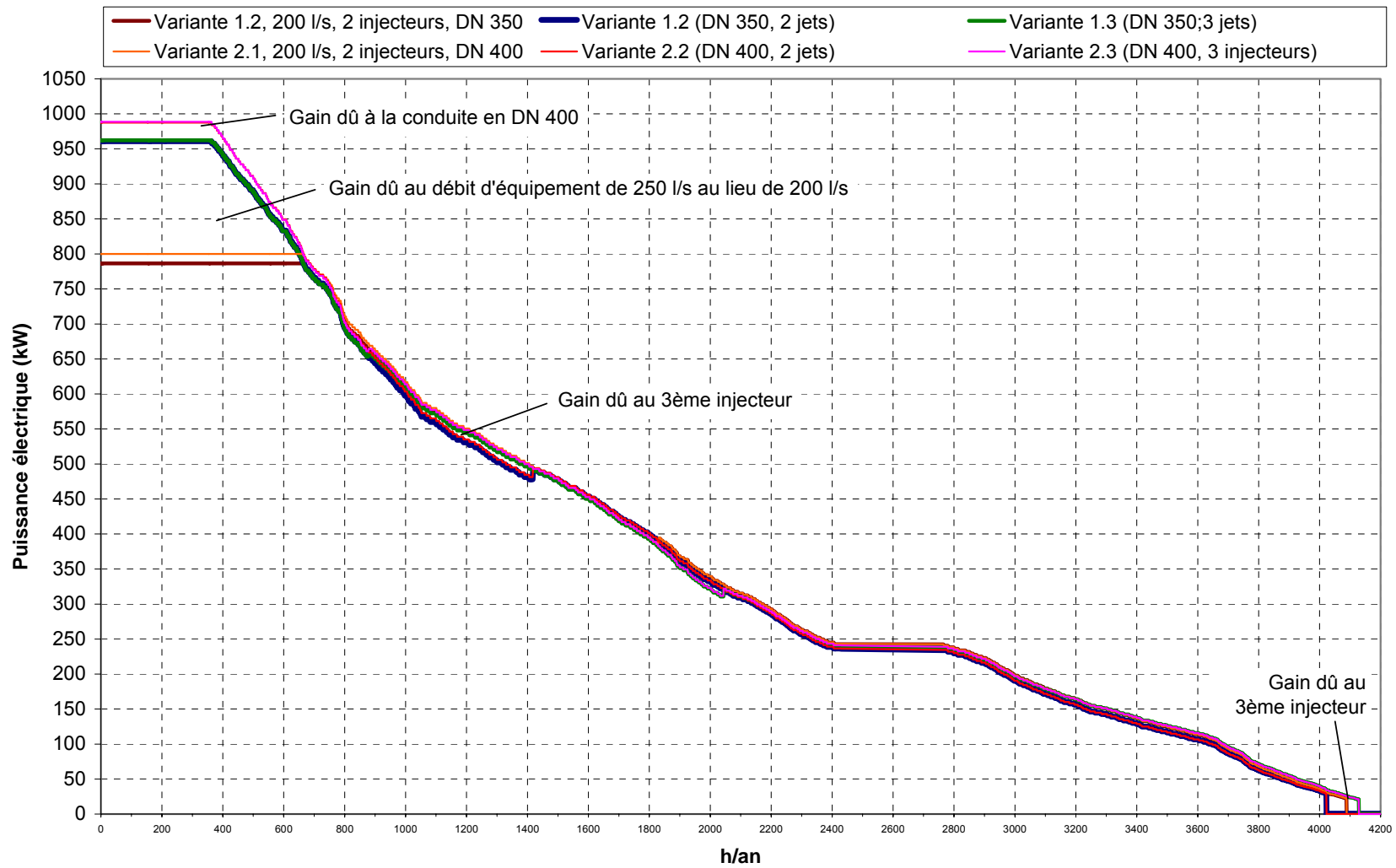


Figure 8. Courbes des puissances électriques classées pour les différentes variantes



Il s'avère que les variantes avec un débit d'équipement de 250 l/s correspondent à un gain de production de l'ordre des 70'000 kWh/an par rapport à celles à 200 l/s, bien que le débit de 250 l/s ne soit dépassé que 15 jours par an.

De plus, pour un même débit d'équipement, le gain dû à un 3^{ème} injecteur n'est pas significatif (18'000 kWh/an), même s'il permet de turbiner plus longtemps, de même que le gain dû à une conduite de diamètre plus important (22'000 kWh/an).

Variantes		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
Diamètre de la conduite	mm	DN350	DN 350	DN 350	DN400	DN 400	DN400
Nombre d'injecteurs de la turbine	(-)	2	2	3	2	3	3
Débit d'équipement, Q _N	l/s	200	250	250	200	250	250
Chute nette à Q _N	m	479	470	470	487	483	483
Puissance hydraulique	kW	940	1152	1152	956	1183	1183
Energie hydraulique nette	kWh/an	1'981'000	2'089'000	2'089'000	2'000'000	2'116'000	2'116'000
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	848	1036	1038	863	1065	1066
Puissance électrique	kW	786	961	962	800	988	989
Production électrique	kWh/an	1'607'000	1'675'000	1'693'000	1'623'000	1'697'000	1'715'000
Rendement de l'installation	%	81	80	81	81	80	81
Heures de fonctionnement par an	h/an	4'100	4'000	4'100	4'089	4'000	4'100
% de fonctionnement pendant la saison de turbinage	%	80	78	80	80	78	80
Production électrique en hiver	kWh/an	104'000	106'000	108'000	104'000	107'000	108'000
Production électrique en été	kWh/an	1'503'000	1'569'000	1'585'000	1'519'000	1'590'000	1'607'000

Tableau 4. Production électrique pour chaque variante

Etant définie comme s'étendant du 1^{er} novembre au 31 mars, la production d'hiver correspond à la période du 15 au 31 mars pour ce projet de turbinage.

Calculs économiques comparatifs des variantes

Cette étude économique, visant à départager les variantes, a pour but d'approcher le prix de revient du kWh électrique à **plus ou moins 20%**. Elle prend en compte les points suivants:

En électromécanique, l'estimation des coûts, résumé dans le Tableau 5, a été faite en se basant:

- sur des offres budgétaires de constructeurs de petites turbines, pour ce qui concerne le turbogroupe et les vannes,
- sur des projets similaires pour les coûts de raccordement électrique.

Il est à noter que les coûts de raccordement n'ont pas été validés, à ce jour, par la société d'électricité concernée.



Variantes		à 2 jets: 1.1, 1.2, 2.1, 2.2	à 3 jets: 1.3 et 2.3
Vannes	CHF	75'000	75'000
Turbogroupe	CHF	650'000	700'000
Raccordement électrique	CHF	100'000	100'000
Investissement en électromécanique	CHF	825'000	875'000

Tableau 5. Résumé des investissements en électromécanique

L'investissement en génie civil est résumé dans le tableau suivant:

Variantes		1, DN350	2, DN 400
Travaux forestiers	CHF	25'000	25'000
Droit de passage	CHF	10'000	10'000
Travaux de pose de la conduite	CHF	335'000	335'000
Conduite de télétransmission	CHF	18'000	18'000
Local de turbinage	CHF	80'000	80'000
Prise d'eau	CHF	20'000	20'000
Conduite (matière)	CHF	880'000	1'115'000
Total pour le génie civil	CHF	1'370'000	1'600'000

Tableau 6. Résumé des investissements en génie civil

Les frais d'ingénierie, les divers et imprévus sont estimés à **15 %** de l'investissement.

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, soit une moyenne de **CHF 10'000.- /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.-.

La nouvelle installation pourra bénéficier du tarif promotionnel de **15 cts/kWh** selon les recommandations de l'Office Fédéral de l'Energie pour des producteurs indépendants. De plus, suite à la modification de la loi sur l'Energie du 30 novembre 2004, ce tarif devrait être garanti sur le long terme grâce à la possibilité offerte aux distributeurs de facturer, à la société exploitant le réseau THT, les frais supplémentaires encourus du fait de l'achat de l'énergie électrique fournie par des producteurs indépendants. D'autres modalités sont cependant possibles en fonction de l'adoption définitive de la loi sur l'Approvisionnement en Electricité (LApEI) et des modifications induites sur la Loi sur L'Energie (LEn).

L'analyse économique se base sur un remboursement de l'emprunt par annuités constantes.

Selon la décision de la commune d'Icogne, l'étude économique se base sur un coefficient d'annuité pondéré, en prenant en compte les durées d'amortissement suivantes:

- génie civil: 40 ans,
- électromécanique: 25 ans,
- contrôle commande: 12 ans.

Le taux d'intérêt considéré dans cette étude est de **4.0 %**, taux que l'on peut considérer comme prudent sur le moyen terme pour une collectivité publique.

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 standard.

Variantes		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
Electromécanique	CHF	825'000	825'000	875'000	825'000	825'000	875'000
Contrôle commande	CHF	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000
Génie civil	CHF	1'370'000	1'370'000	1'370'000	1'600'000	1'600'000	1'600'000
Frais d'ingénierie, divers et imprévus	CHF	330'000	330'000	340'000	370'000	370'000	380'000
Investissement total	CHF	2'575'000	2'575'000	2'635'000	2'845'000	2'845'000	2'905'000

Tableau 7. Résumé des investissements

Variantes		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
Investissement total	CHF	2'575'000	2'575'000	2'635'000	2'845'000	2'845'000	2'905'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	10'000	10'000	10'000	10'000	10'000	10'000
Production annuelle	MWhe/an	1'607	1'675	1'693	1'623	1'697	1'715
Tarif de vente	cts/kWh	15	15	15	15	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	241'000	251'500	254'000	243'500	254'500	257'500
taux d'intérêt	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Coefficient d'annuité pondéré	%	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6
Annuité	CHF/an	146'500	146'500	150'000	160'000	160'000	163'500
Bénéfice annuel	CHF/an	85'000	95'000	94'000	74'000	85'000	84'000
Prix de revient	cts/kWh	9.7	9.3	9.5	10.5	10.0	10.1

Tableau 8. Calculs économiques pour les différentes variantes

Les calculs économiques montrent que toutes les variantes étudiées sont rentables. De plus, le coût d'un 3^{ème} injecteur est couvert par le gain de production, contrairement au surcoût de la conduite en DN 400.

Le choix final entre une variante à 2 ou 3 injecteurs pourra être effectué au moment de la commande.

Par contre, face au potentiel hydraulique en amont, et malgré le surcoût dû à la conduite non couvert par le gain de production, **les variantes 2.2 et 2.3 correspondant à une turbine à 2 ou 3 injecteurs avec une conduite en DN 400 sont retenues.**



Principales caractéristiques des variantes finales

Variantes finales		2.2	2.3
Débit d'installation	l/s	250	250
Altitude amont	m	1'416	1'416
Altitude aval	m	920	920
Dénivellation	m	496	496
Longueur de la conduite	m	850	850
Diamètre interne de la conduite	mm	DN 400	DN 400
Coefficient de perte de charge	s ² /m ⁵	215	215
Perte de charge à Q _N	m	13	13
Chute nette à Q _N	m	483	483
Rendement de la conduite à Q _N	%	97	97
Energie massique à Q _{max}	J/kg	4'731	4'731
Puissance hydraulique	kW	1'183	1'183
Energie hydraulique	kWh/an	2'116'000	2'116'000
Type de turbine		Pelton à axe vertical	Pelton à axe vertical
Puissance mécanique à l'accouplement	kW	1'065	1'066
Vitesse de rotation	t/min	1'000	1'000
Nombre d'injecteurs		2	3
Diamètre de roue		1'026	1'016
Diamètre du bâti	mm	2'470	2'440
Diamètre d'injection	mm	901	915
Largeur d'auget	mm	114	92
Nombre d'augets		26	29
Puissance électrique	kW	988	989
Production électrique	kWh/an	1'697'00	1'715'00
Rendement de l'installation	%	80	81
Heures de fonctionnement par an	h/an	4'000	4'100
Fonctionnement pendant la saison de turbinage	%	78	80
Production électrique en hiver	kWh/an	107'000	108'000
Production électrique en été	kWh/an	1'590'000	1'607'000

Tableau 9. Principales caractéristiques techniques des variantes retenues



Variantes		2.2	2.3
Investissement	CHF	2'845'000	2'905'000
Frais d'exploitation standard	CHF/an	10'000	10'000
Production annuelle	MWhe/an	1'697	1'715
Tarif de vente	cts/kWh	15	15
Chiffre d'affaire brut	CHF/an	254'500	257'000
Taux d'intérêt	%	4.0	4.0
Coefficient d'annuité	%	5.6	5.6
Annuité	CHF/an	160'000	163'500
Bénéfice annuel	CHF/an	85'000	84'000
Prix de revient	cts/kWh	10.0	10.1

Tableau 10. Calculs économiques pour les variantes retenues

Description technique des variantes retenues

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE TURBINAGE

La régulation de la turbine sera asservie à la mesure de niveau amont effectuée dans le lac d'Icogne, de manière à ce que l'irrigation reste prioritaire sur le turbinage. Un niveau de consigne sera défini correspondant au niveau de déversement du trop-plein.

Ainsi, le fonctionnement prévu de l'installation est le suivant :

- Tant que le niveau d'eau dans le lac d'Icogne est inférieur au niveau de consigne, la turbine est à l'arrêt.
- Lorsque le niveau d'eau atteint celui de consigne, la turbine démarre.
- Lorsque le niveau d'eau, supérieur à celui de consigne, continue à augmenter, la turbine s'ouvre.
- Lorsque le niveau d'eau, supérieur à celui de consigne, diminue, la turbine se ferme.
- Dès que le niveau d'eau dépasse celui correspondant au débit maximum de la turbine, la turbine fonctionne à son débit maximum et le surplus est déversé dans le torrent de Pontec.

En cas d'arrêt de la turbine pour révision ou en cas de débits insuffisants, l'eau est restituée au torrent de Pontec comme actuellement.

TURBINE

Les indications pour la turbine, présentées dans ce rapport, sont fournies à titre indicatif et peuvent légèrement varier en fonction du constructeur choisi.

On utilisera autant que possible l'acier inoxydable pour la construction de la turbine.

La roue est en porte-à-faux sur l'arbre de l'alternateur.

On utilisera de préférence une construction à augets rapportés, usinés en CNC (commande numérique), fixés entre deux flasques. Cette méthode permet un changement partiel de la roue en cas de dégâts éventuels dus à des matériaux solides transportés par l'eau. De plus, elle assure une parfaite similitude entre le profil hydraulique développé en laboratoire et celui usiné, chose difficilement réalisable (voire impossible) avec une roue coulée d'une pièce, l'espace étant insuffisant pour la finition par meulage. Par ailleurs, nous préconisons l'utilisation de barreaux forgés, dont les caractéristiques



mécaniques sont bien supérieures à celles d'un métal coulé.

En outre, nous recommandons une commande des injecteurs par vérin électrique, par rapport aux systèmes à huile, plus coûteux et pouvant entraîner des fuites.

Chaque injecteur comportera un déflecteur afin d'assurer la sécurité en cas de déclenchement, dû, par exemple, à une perte de réseau. Le rôle de ce déflecteur est de dévier le jet de la roue, et donc d'éviter que la turbine ne parte à l'emballement.

VANNES

Les vannes à installer sont les suivantes:

- A la prise d'eau:
 - une vanne guillotine manuelle en tête de conduite, en DN 400, PN 10, de manière à pouvoir l'isoler en cas de révision,
 - une vanne papillon de sécurité sur la conduite dont la fermeture est commandée par un système de détection de vitesse de l'eau, en cas de rupture de conduite,
- Au niveau du local de turbinage:
 - une vanne de révision de la turbine équipée d'un by-pass, qui sera de type sphérique DN 250, PN 64, laissant ainsi le passage totalement libre dans la conduite, et dont la manœuvre sera manuelle.

ALTERNATEUR

Variantes		2.2	2.3
Type		Synchrone	
Fréquence	Hz	50	
Tension triphasée aux bornes	V	400, 690 ou 5'500	
Vitesse nominale	min ⁻¹	1000	
Puissance électrique	kW	988	989
Cos φ		0.90	
Puissance apparente	kVA	1'098	1'099

Le réseau électrique à proximité étant en 16 kV, un transformateur devra être installé dans la centrale. Ainsi, la tension de sortie de l'alternateur pourra être de 400 V, 690 V ou 5500 V.

Cette procédure devra être validée par ESR (Energie Sion Région) et la Lienne SA.

Le choix définitif de la tension de sortie de l'alternateur pourra être effectué en phase de réalisation du projet, en fonction des gammes disponibles et des coûts du marché.

Les paliers seront à roulement graissés, d'une durée de vie de 100'000 heures. Ils devront tenir compte du fait que la roue de la turbine est en porte-à-faux sur l'arbre.

L'excitation triphasée sera à diodes tournantes, sans bague, avec si possible réglage de tension et de Cos φ incorporé à la machine.

RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE

Le raccordement électrique devrait se faire au réseau de la Lienne SA à proximité en 16 kV. Un transformateur devrait être installé dans la centrale, et une ligne en 16 kV d'une centaine de mètres devrait être posée.

Cette procédure devra être validée par ESR (Energie Sion Région) et la Lienne SA.



SÉCURITÉ

La sécurité est assurée:

- par les déflecteurs de la turbine, en cas de déclenchement, ceux-ci s'ouvriront et les pointeaux se fermeront,
- la vanne de sécurité de la conduite.

CONTRÔLE COMMANDE

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

La régulation sera asservie au niveau d'eau amont.

La turbine devra pouvoir 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.

Le choix du redémarrage manuel ou automatique de la centrale, en cas d'arrêt consécutif à une alarme, sera à discuter avec l'exploitant.

Les tableaux comprendront en outre les éléments suivants :

- Commande des injecteurs avec affichage de l'ouverture,
- Réglage de $\cos \varphi$.

Les indicateurs suivants seront à fournir :

- Voltmètre, wattmètre, fréquencemètre, mesure du $\cos \varphi$, synchronoscope, compte tour,
- Indicateur de niveau amont,
- Indicateur de charges des batteries de secours,
- Compteur d'heures, compteur de démarrage,
- Températures des roulements et du bobinage de l'alternateur,
- Arrêt d'urgence.

Les alarmes suivantes devront être traitées :

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

Le groupe comprendra ses propres armoires de commande.

Le contrôle commande sera alimenté en 24 V CC ou 48 V CC et secouru par des batteries.

LOCAL DE TURBINAGE

Le local de turbinage sera installé à proximité du bassin de compensation de l'usine de Croix.



Un croquis d'implantation est donné en annexe.

Conclusions

- Face à la possibilité d'augmenter les apports d'eau dans le lac d'Icogne, deux solutions de turbo-groupe ont été retenues pour le turbinage du trop-plein, avec la pose d'une conduite en DN 400 de 1850 m. La première d'une puissance électrique de 988 kW, équipée d'une turbine à deux injecteurs, correspond à une production électrique de 1'697'000 kWh/an, et un prix de revient de 10.0 cts/kWh. La deuxième d'une puissance électrique de 989 kW, équipée d'une turbine à trois injecteurs, correspond à une production électrique de 1'715'000 kWh/an, et un prix de revient de 10.1 cts/kWh. Le choix entre ces deux variantes sera effectué une fois la courbe des débits classés validée et/ou au moment de la commande.
- Avant l'appel d'offres, nous recommandons au mandant de continuer les mesures de débits du trop-plein au moins jusqu'à mi-octobre 2007. En effet, l'année 2006, notamment en raison des travaux effectués en amont du lac d'Icogne sur les réseaux d'eau, s'avère être particulière. Il conviendra également de préciser les éventuels débits supplémentaires issus du lac de Chermignon. Il s'avère donc important de réviser la courbe des débits classés turbinables, et de préciser notamment si un débit d'équipement inférieur à 250 l/s ne serait pas plus intéressant pour le site.
- De plus, il s'agira de valider les conditions et les coûts du raccordement électrique auprès de ESR (Energie Sion Région) et de la Lienne SA.
- Ce rapport pourra être utilisé par le mandant auprès des autorités compétentes dans le but d'obtenir l'autorisation de turbiner les eaux d'irrigation du lac d'Icogne.

Annexes

Annexe A: Comparaison des turbines à axe horizontal et à axe vertical.

Annexe B: Croquis d'implantation de la turbine pour les deux variantes 2.2 et 2.3: dessins MP0621-0002-4A et MP0621-0003-4A.

Annexe C: Plan de situation de la centrale.

Annexe D: Plan de situation figurant le tracé de la conduite.

Annexe E: profil en long de la conduite.

Annexe F: Plan de principe de la prise d'eau.



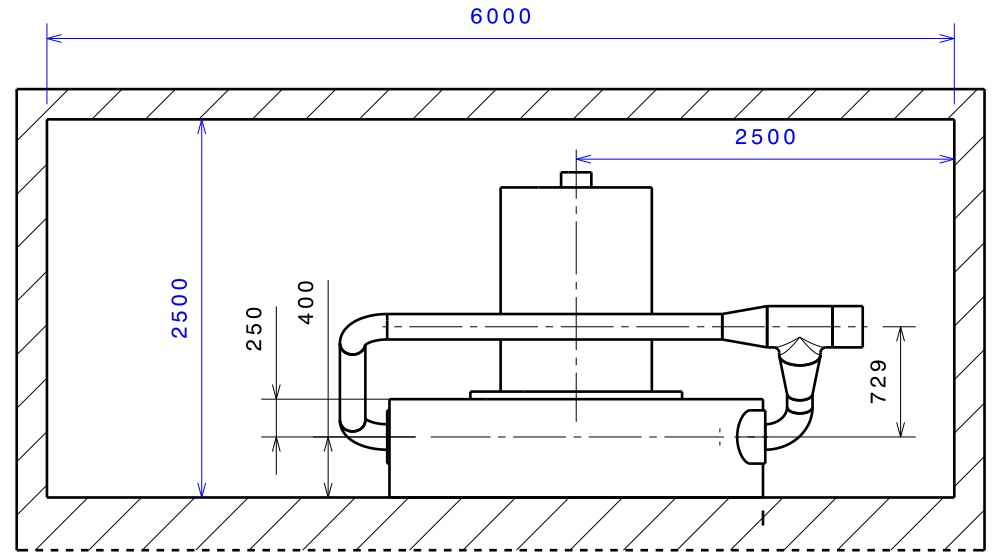
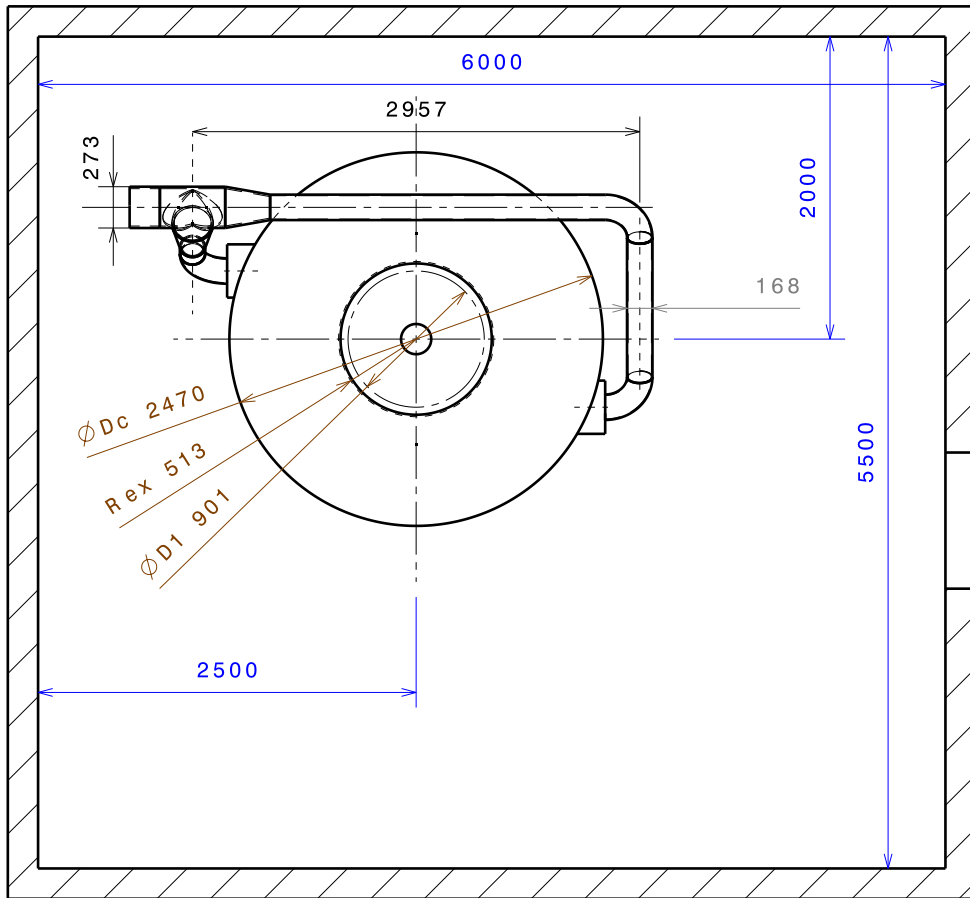
Comparaison entre petites turbines Pelton à axe horizontal et axe vertical



Sujet	Axe vertical	Axe horizontal
Assemblage alternateur turbine	<p>L'alternateur repose sur le bâti de la turbine. Il n'y a pas de plaque de base et la roue est toujours en porte à faux sur l'arbre de l'alternateur.</p> <p>Tous problèmes d'alignement roue-injecteur sont évités.</p> <p>L'ensemble turbo-alternateur monté à blanc en atelier peut généralement être monté sur site tel quel.</p>	<p>L'alternateur et la turbine doivent obligatoirement reposer sur un bâti (ou une plaque de base) rigide. Il s'agit là d'un élément supplémentaire nécessitant des pièces d'assemblage supplémentaires.</p> <p>Cette conception présente des risques de désalignement au moment du bétonnage, problème hélas souvent constaté.</p> <p>Suivant la conception retenue, la turbine possède ses propres paliers, ce qui a également pour effet de compliquer l'alignement et de multiplier les pièces d'usure.</p>
Ecoulements dans le bâti	<p>L'eau s'échappant des augets s'écoule naturellement vers le bas pour le demi auget inférieur. Pour le demi auget supérieur, le renvoi circulaire et central oriente l'écoulement en périphérie du bâti de telle sorte que tout risque de rejaillissement sur la roue ou les jets peut être écarté.</p>	<p>Le risque de rejaillissement sur la roue et sur les jets est élevé, surtout sur les turbines à deux injecteurs ou le prolongement de la trajectoire des jets est convergente.</p> <p>Plusieurs centrales hydrauliques Pelton à axe horizontal démontrent malheureusement cette difficulté.</p> <p>Le phénomène de rejaillissement est très difficile à prévoir et compliqué à résoudre.</p> <p>Le renvoi d'eau est de géométrie compliquée.</p> <p>Ceci est d'autant plus vrai pour les petites turbines où l'on est appelé à simplifier les formes de bâti.</p>
Effort radial sur la roue	<p>Pour les turbines à nombre de jets pair, l'effort sur la roue est annulé lorsque les injecteurs en fonction se font face. C'est le cas pour une turbine à deux injecteurs.</p>	<p>L'effort radial sur la roue n'est jamais nul. Dans le cas d'un fonctionnement à deux injecteurs, les deux composantes s'additionnent géométriquement.</p>
Joint d'arbre	<p>Le joint d'arbre est très simplifié (anneau centrifuge).</p>	<p>Le joint d'arbre nécessite d'avoir une chambre avec décharge.</p>
Etanchéité du bâti	<p>Nombre de joints limité.</p>	<p>Nombre de joints élevé (calotte, coupe du bâti par l'axe)</p>
Porte à faux de la roue	<p>De manière générale, le porte à faux est réduit.</p>	<p>De manière générale, le porte à faux (dans les solutions sans paliers turbine) est important.</p>

Visite périodique de l'état de la machine	L'inspection périodique de la roue, des injecteurs et des déflecteurs peut s'effectuer en un seul coup d'œil, aucun élément n'en cachant un autre. (visite par-dessous)	L'inspection périodique de la roue, des injecteurs et des déflecteurs nécessite un démontage du capot pour accéder à l'injecteur supérieur et une visite par-dessous pour accéder à l'injecteur inférieur, la roue les cachant à tour de rôle suivant le point de vue.
Pertes par ventilation de la roue	Turbine à un injecteur : pertes plus élevées que dans une variante à axe horizontal. Turbine à deux injecteurs : Pertes comparables.	Turbine à un injecteur : pertes moins élevées que dans une variante à axe vertical. Turbine à deux injecteurs : Pertes comparables.
Déflexion	Aucune sollicitation mécanique due à l'interaction entre les jets en cas de déflexion.	Sollicitations mécaniques importantes dues à l'action du jet supérieur sur l'injecteur inférieur en cas de déflexion.

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.

1 Execution			Code	Nbr tot	Denomination/Caracteristiques	Pos	Matiere	Observations
Nbr	Poids Unit	Poids total/Exec						

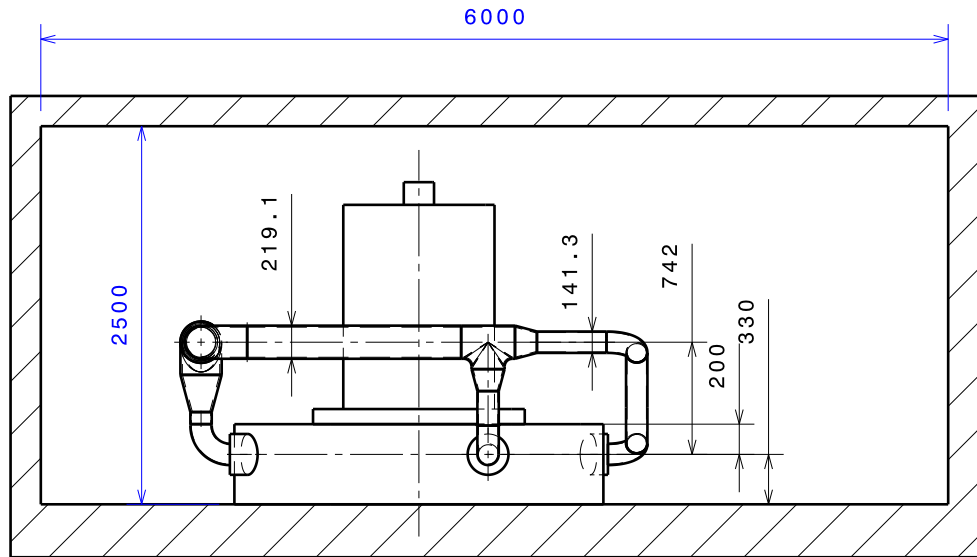
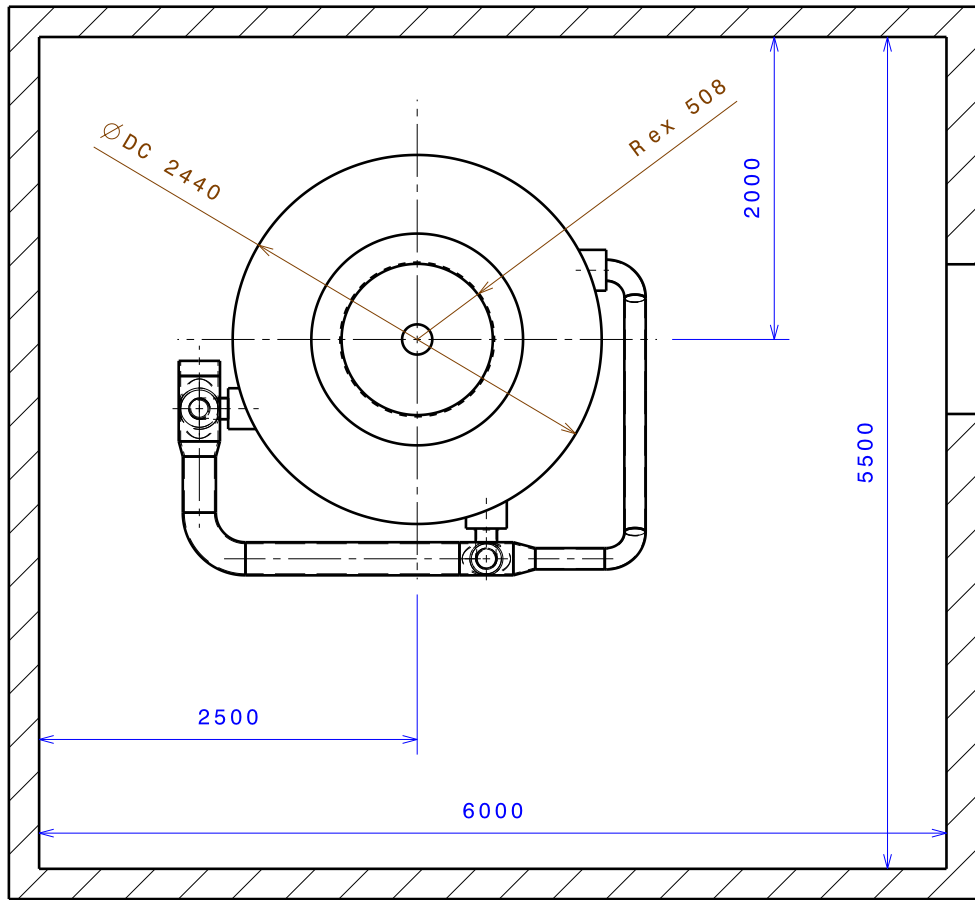


REV.	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	CONTR.	APPR.
F					
E					
D					
C					
B					
ENSEMBLE	POIDS	ECHELLES	DATE	DESS.	CONTR.
		1:50		A. Choulot	29.01.07
Ma0621 Icogne, Variante 2.2 Pelton 2 injecteurs Hn = 483 m, Q max = 250 l/s Schéma de principe			DESSINE		
			CONTROLE		
			APPROUVE		
					
			Laboratoire de Mini-Hydraulique 1354 MONTCHERAND SUISSE		REV. A
			MP0621-0002-4		

DESSIN CCD (CATTIA-CAD/PM-DRAFTING)

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.

1 Execution			Code	Nbr tot	Denomination/Caracteristiques	Pos	Matiere	Observations
Nbr	Poids Unit	Poids total/Exec						



REV.	MODIFICATIONS	DATE	DESS.	CONTR.	APPR.
F					
E					
D					
C					
B					
A					

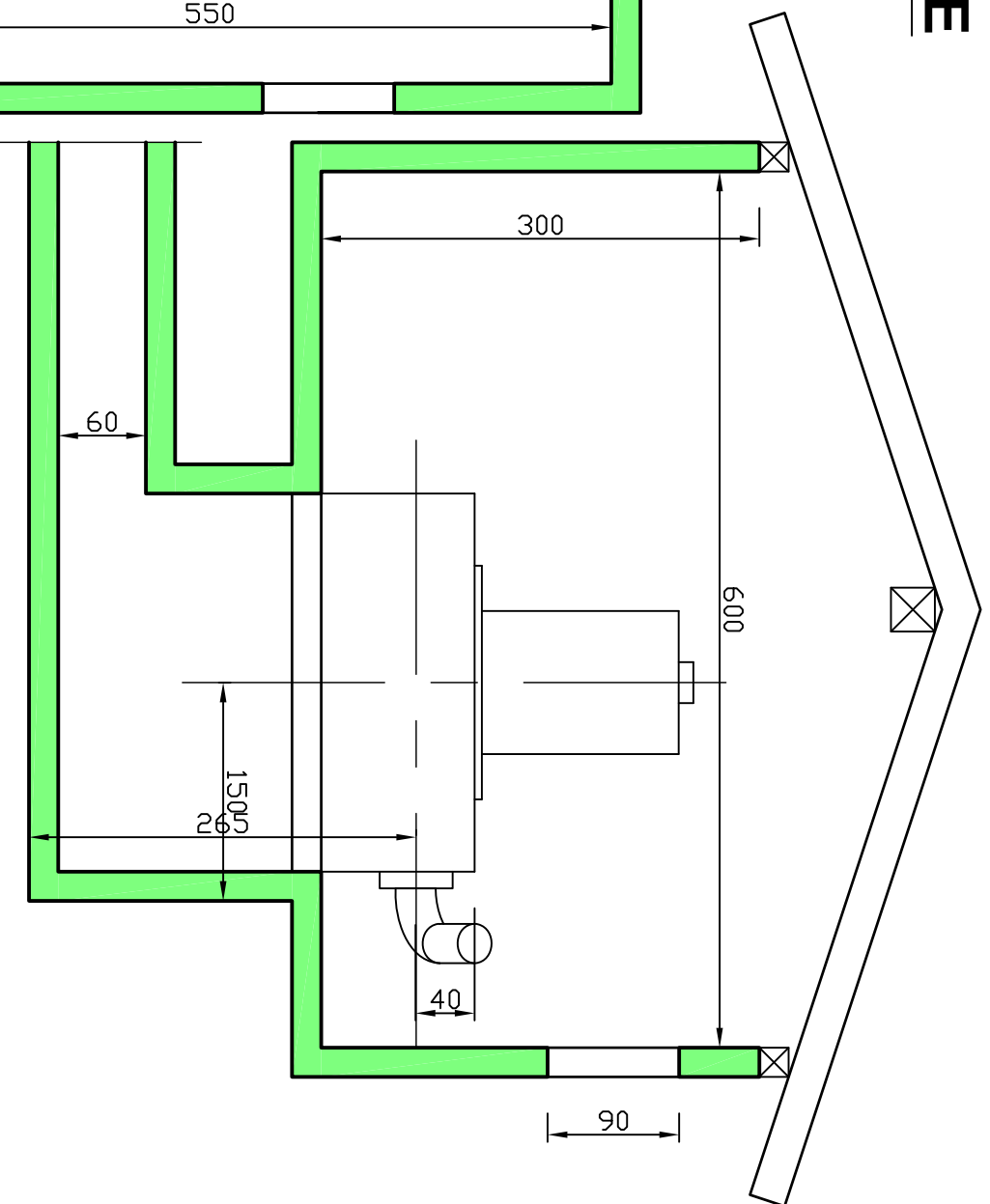
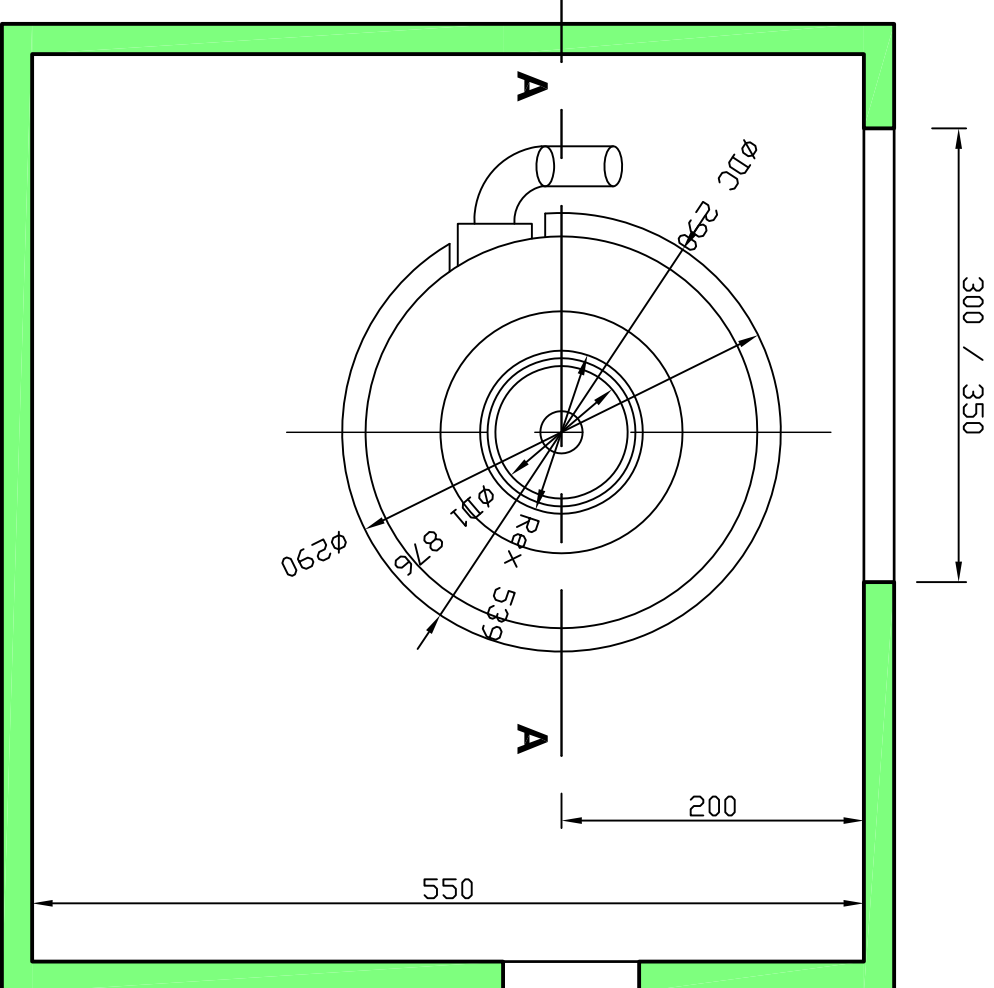
ENSEMBLE	POIDS	ECHELLES 1:50	DESSINE	A. Choulot	29.01.07
Ma0621 Icogne, Variante 2.2 Pelton 3 injecteurs Hn = 483 m, Q max = 250 l/s Schéma de principe			CONTROLE		
			APPROUVE		
			Laboratoire de Mini-Hydraulique 1354 MONTCHERAND SUISSE		
				REV.	A
				MP0621-0003-4	

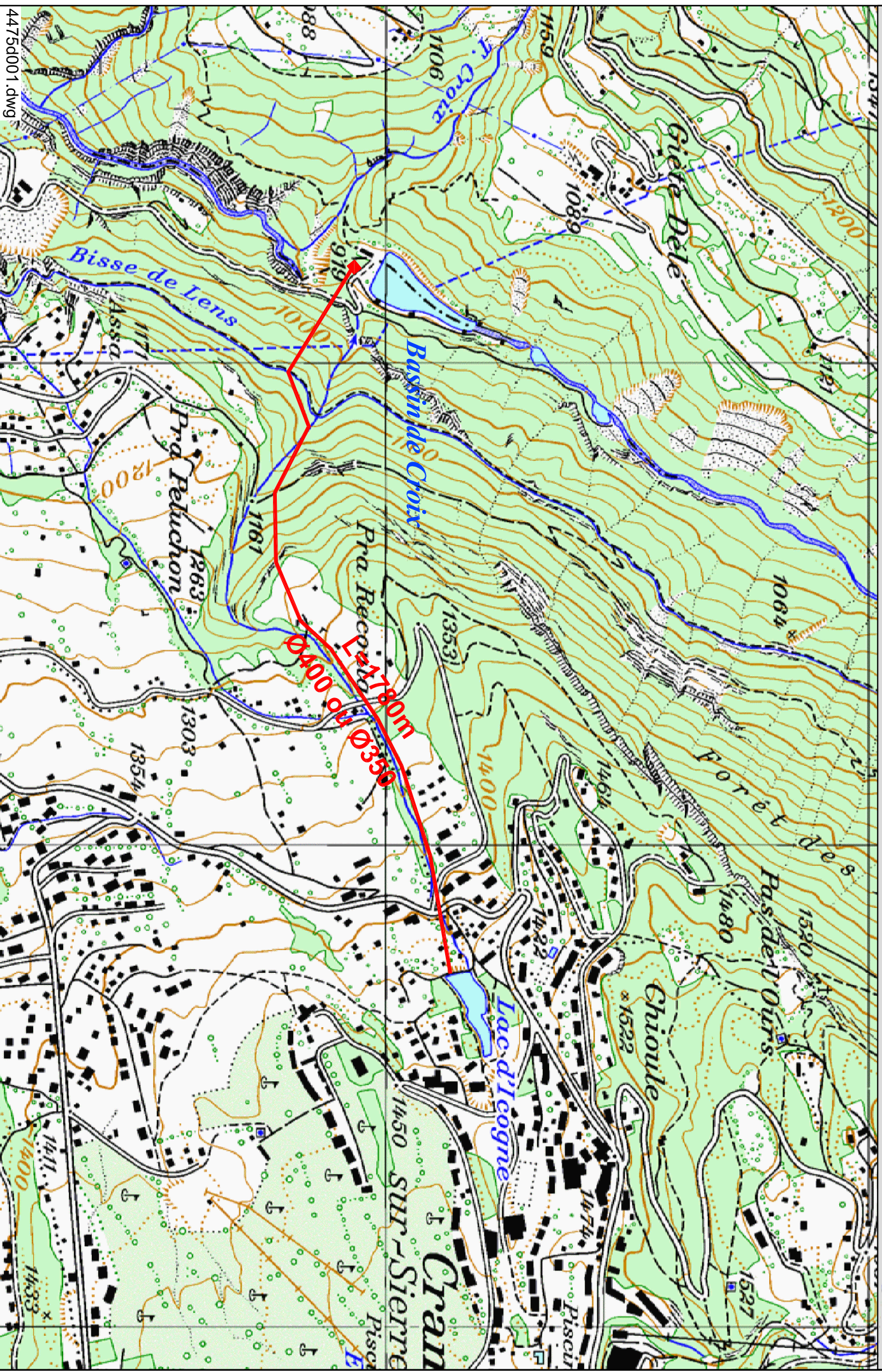
DESSIN CCD (CATTIA-CAD/DM-DRAFTING)

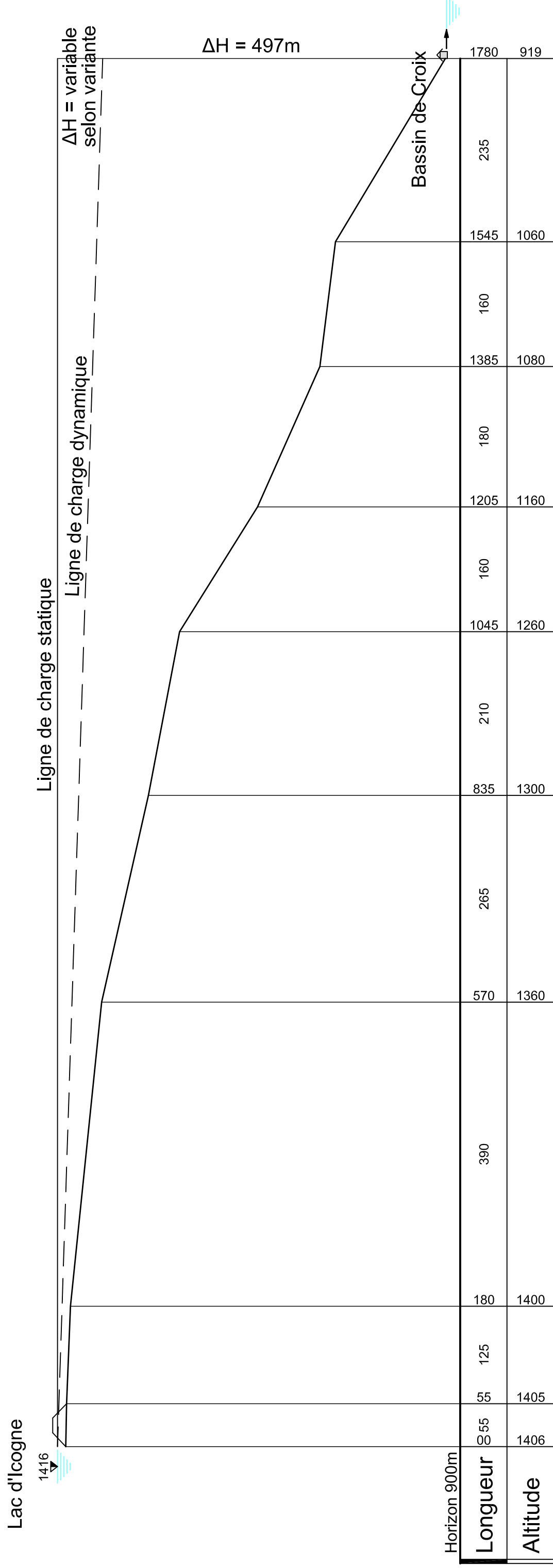
CENTRALE

COUPE A-A

SITUATION







PRISE D'EAU

