

Rapport final février 2003

Etude de faisabilité

Petite centrale hydro-électrique au lieu dit « Sous les Roches » à Sonceboz



élaboré par :



Mini-Hydraulics Laboratory
N. Tissot
1354 MONTCHERAND
SUISSE

Tél : +41 24 442 87 87

maître d'ouvrage :

H. Hausmann
Clos Carcenai 1
2735 BEVILARD
SUISSE

Tél : +41 32 492 10 07

Sommaire

1. INTRODUCTION ET DONNÉES DE BASE	4
1.1. SITUATION	4
1.2. HISTORIQUE	4
1.3. EQUIPEMENTS EXISTANTS	4
1.4. HYDROLOGIE	5
1.5. SITUATION JURIDIQUE	6
2. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	6
2.1. DEBIT DE RESTITUTION	6
2.2. PASSE A POISSON	7
2.3. PROTECTION DE LA NATURE ET DU PAYSAGE	8
2.4. BRUIT ET VIBRATION	9
3. PRESENTATION DES SOLUTIONS TECHNIQUES	9
3.1. PREAMBULE	9
3.2. HYPOTHÈSES DE BASE	10
3.3. DÉNIVELLATION MOYENNE	10
3.4. CHOIX DU DEBIT D'INSTALLATION ET DU DIAMETRE DE LA CONDUITE	11
3.5. ENERGIE MASSIQUE DISPONIBLE	14
3.6. CHOIX DU TYPE DE MACHINE	15
4. VARIANTES CONSIDÉRÉES POUR LA SUITE DE L'ÉTUDE	16
5. SPECIFICATIONS TECHNIQUES PRELIMINAIRES DES PRINCIPAUX COMPOSANTS	16
5.1. GENIE CIVIL	16
5.1.1. Seuil et passe à poissons	16
5.1.2. Prise d'eau et ouvrage de raccordement	17
5.1.3. Conduite	17
5.1.3.1. <i>Diamètre</i>	17
5.1.3.2. <i>Tracé de la conduite et longueur</i>	18
5.1.3.3. <i>Caractéristiques mécaniques</i>	18
5.1.3.4. <i>Divers</i>	18
5.1.4. Centrale et ouvrage de restitution	18

5.2.	MATERIEL HYDROMECHANIQUE	19
5.2.1.	Dégrilleur	19
5.2.2.	Vidange de fond	19
5.2.3.	Vannes de garde	19
5.2.4.	Turbine	20
5.3.	EQUIPEMENTS ELECTRIQUES	21
5.3.1.	Génératrice	21
5.3.2.	Transformateur	22
5.3.3.	Moyens de levage	22
5.3.4.	Contrôle commande	22
5.3.5.	Dispositif de sécurité	24
5.4.	RACCORDEMENT AU RESEAU	24
6.	ANALYSES TECHNICO-ECONOMIQUE	24
6.1.	HYPOTHESES	24
6.2.	PRIX DE VENTE DE L'ENERGIE	26
6.3.	ETUDE DES VARIANTES	27
6.3.1.	Estimation de la production annuelle	27
6.3.2.	Estimation des frais d'exploitation annuels	27
6.3.2.1.	<i>Droits de passage</i>	27
6.3.2.2.	<i>Entretien</i>	27
6.3.3.	Investissement	28
6.3.3.1.	<i>Matériel électromécanique</i>	28
6.3.3.2.	<i>Génie civil</i>	29
6.3.4.	Total des investissements	30
6.3.5.	Analyse économique des différentes variantes	30
6.3.6.	Analyse de sensibilité	32
6.4.	CONCLUSIONS	33
7.	TRAVAUX FUTURS	35

Ce travail a été réalisé avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie et de l'Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne. L'auteur (ou les auteurs) de ce rapport est (sont) seul(s) responsable(s) de son contenu ainsi que des conclusions qu'il contient.

1. INTRODUCTION ET DONNÉES DE BASE

Le projet a pour but d'étudier la faisabilité de la réalisation d'une petite centrale hydroélectrique basse chute sur la Suze, qui pourrait exploiter une dénivellation d'environ 10 m pour une puissance maximale comprise entre 300 et 500 kW.

1.1. SITUATION

Le site considéré est situé sur la commune de Sonceboz dans le canton de Berne au lieu dit "Sous les Roches". Les coordonnées du seuil existant sont 580320 / 226540, celles de l'implantation prévue de la centrale étant 580770 / 226520. Un plan de situation est fourni en annexe au présent rapport.

1.2. HISTORIQUE

L'exploitation du site a débuté en 1894. Après une modernisation en 1918, comprenant le remplacement de deux machines et de l'ancien canal en bois par une conduite souterraine, la société Electrique et Immobilière de Sonceboz exploite l'installation jusqu'en 1974, année où elle décide la fermeture de la centrale.

En 1985, une station d'épuration pour le Bas-Vallon de St-Imier est construite sur le site de l'ancienne centrale et la conduite est adaptée pour y acheminer les eaux usées.

Actuellement un projet de renaturation du site pour le compte du canton de Berne est à l'étude. Celui-ci comprend notamment la démolition d'une barrière anti-char sise dans la rivière ainsi que la réalisation d'une échelle à poisson au pied du seuil. Cette étude est actuellement arrêtée en attendant les résultats de l'étude de faisabilité.

1.3. EQUIPEMENTS EXISTANTS

De l'ancien aménagement ne subsistent actuellement que le seuil, une partie de la prise d'eau qui a été comblée au fil des ans et la conduite souterraine qui a été modifiée pour permettre l'écoulement des eaux usées depuis le Vallon de St-Imier à la STEP.

1.4. HYDROLOGIE

Les données disponibles sont particulièrement complètes et précises puisqu'une station hydrologique de l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, située à environ 1 km à l'amont du seuil, fournit des relevés depuis 1961.

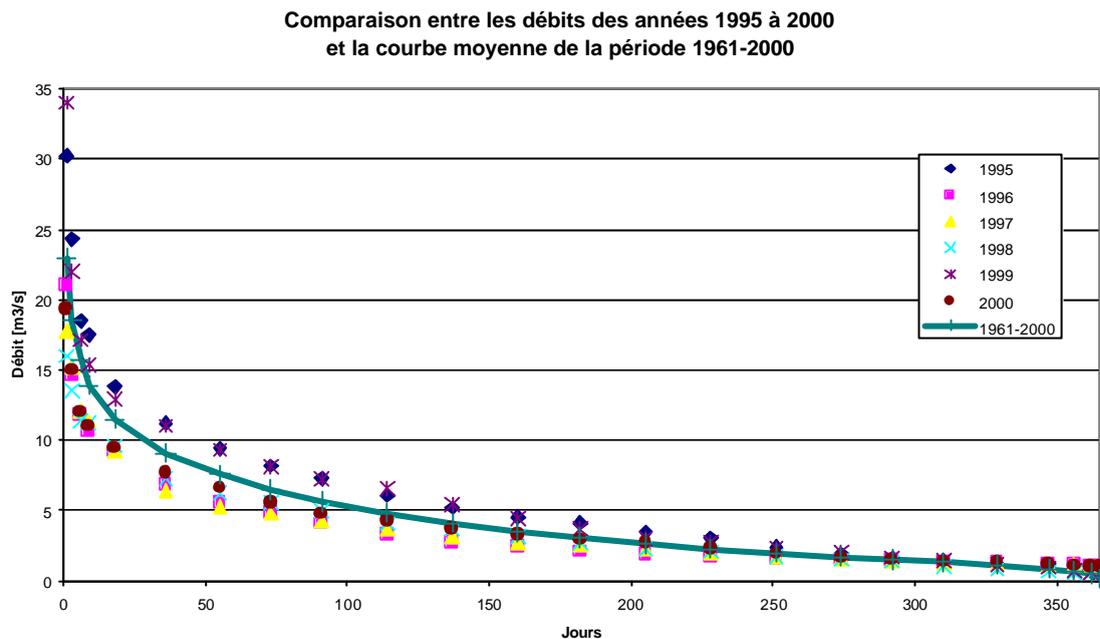


figure 1 : Débits classés pour les années 1995 à 2000 et pour la période 1961 - 2000

La figure 1, comparant les débits classés pour chaque année de 1995 à 2000 et les débits classés de la période 1961 – 2000, permet de relever l'absence de modification notable du régime hydrologique de la Suze en amont du seuil sur les 5 dernières années.

La différence de superficie des bassins versants partiels au droit de la station de mesure et de la prise d'eau étant négligeable et le tronçon de la Suze, situé entre la station de mesure et le seuil, ne comportant pas d'affluent notable, la courbe des débits classés moyens de la période 1961 – 2000 sera utilisée telle quelle.

1.5. SITUATION JURIDIQUE

La situation foncière des terrains est confuse suite à l'achat d'une partie de ceux-ci par le service des Ponts et Chaussées du canton de Berne lors de la construction de la Transjurane.

La parcelle no 489, située rive gauche du seuil, appartient à la Fondation Fritz-Edouard Pfister.

Les parcelles no 732 et 929, situées sur la rive droite, appartiennent à l'Office des Ponts et Chaussées.

Les parcelles no 930 et 488 appartiennent à la STEP du Vallon de St-Imier.

Une solution devra être trouvée avec les différents propriétaires des terrains sur lesquels se trouvera une partie des installations, soit sous la forme d'un droit de superficie, d'une servitude de passage, d'une location ou d'une vente du terrain.

La concession ayant été radiée lors de l'abandon de l'exploitation de la centrale, une nouvelle demande devra être faite à l'Office Cantonal des Eaux. Celle-ci sera accordée pour une durée de 40 ans avec possibilité de renouvellement. Lors des contacts établis par le maître d'œuvre avec cet office, il a été spécifié qu'aucun provisionnement ne devait être prévu pour la remise en état du site au terme de la concession.

La puissance de l'aménagement étant située en dessous de 1 MW, aucun droit d'eau n'est prélevé selon l'article 49 de la loi fédérale sur l'utilisation des forces hydrauliques du 22 décembre 1916.

Une société anonyme, dont le maître d'ouvrage sera l'actionnaire majoritaire, sera créée et assurera l'exploitation de l'aménagement.

2. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

2.1. DEBIT DE RESTITUTION

Le débit de restitution minimum légal est déterminé par l'article 31 de la LEaux. Celui-ci vaut 392 l/s pour un Q_{347} de 860 l/s considéré sur la période 1961 – 2000.

Ce débit doit cependant être suffisant pour garantir en tout temps la profondeur nécessaire à la libre migration des poissons. L'étude réalisée par le maître d'ouvrage montre que certains passages du tronçon court-circuité, situés entre le seuil et la restitution, ne présentent pas une hauteur d'eau suffisante (au minimum 20 cm selon

l'inspecteurat de la pêche) avec le débit de restitution minimum légal. Il est donc proposé d'adopter un débit de restitution de 680 l/s, permettant de respecter en tout temps cette exigence.

Selon le courrier de l'inspecteurat de la pêche du 10 avril 2002, cette valeur de 680 l/s est réaliste pour ce tronçon, raison pour laquelle elle a été prise en compte dans le cadre de cette étude.

2.2. PASSE A POISSON

La solution proposée pour la passe à poissons est une rampe rugueuse, ce qui constitue actuellement la meilleure solution d'un point de vue environnemental. Sa pente est d'environ 10%, sa hauteur correspond à celle du seuil, soit environ 3 m, et sa largeur est de 12 m.

Elle est constituée par un ensemble de blocs de rochers de tailles diverses reconstituant un tronçon de rivière comprenant un lit mineur pour les faibles débits ainsi qu'un lit majeur pour les périodes de crues, le lit mineur devant permettre en tout temps la migration des espèces endémiques. La totalité du débit de restitution passera par le lit mineur.

Les photos ci-dessous donnent un exemple d'une telle passe en fonctionnement durant l'étiage et durant les crues :



Figure 2 : passe à poisson fonctionnant à l'étiage

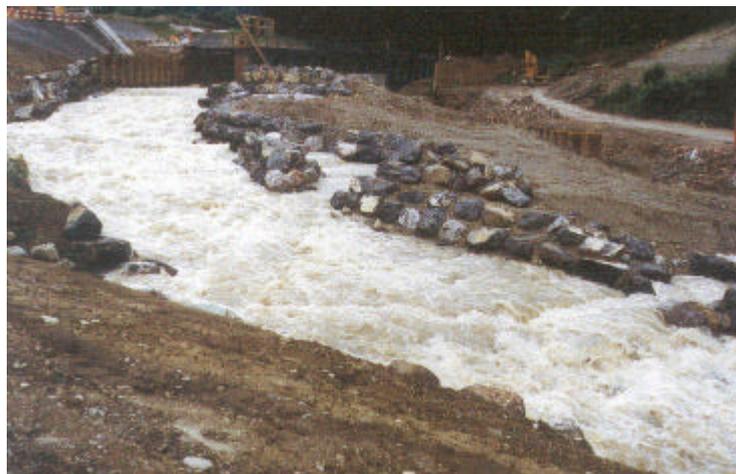


Figure 3 : passe à poisson durant une crue

2.3. PROTECTION DE LA NATURE ET DU PAYSAGE

L'aménagement aura un impact visuel faible sur le paysage, le seuil et la prise d'eau, conservant leur aspect actuel. Ces ouvrages, existant depuis plus de 100 ans, ont notamment permis de développer au fil des ans un microcosme propre à l'amont pour diverses espèces comme, par exemple, les chauve-souris. Le bureau NATURA, dans son courrier du 17 septembre 2001, explique que le plan d'eau amont est particulièrement important pour ces dernières et qu'un démantèlement du seuil pourrait avoir de graves conséquences sur leur maintien dans la région.

Le seuil sera déversant, ce qui le rendra invisible en période de hautes eaux.

La partie la plus visible de la prise d'eau sera le dégrilleur qui a pour but d'empêcher les débris flottants, tels que sacs et bouteilles en plastique, feuilles mortes, etc., d'arriver dans les turbines. Cette installation collectera ces déchets, qui seront évacués pour être brûlés dans une usine d'incinération ou compostés. Cet ouvrage permettra, par conséquent, de limiter le transport de débris solides en aval du seuil.

Aucun impact visuel ne sera dû à la conduite puisqu'elle est enterrée sur toute la longueur.

La centrale, telle qu'envisagée, sera partiellement enterrée et se situera à proximité immédiate de plusieurs constructions en béton tels que les piliers du viaduc de la N16 ou les bâtiments de la STEP. Son intégration dans le paysage en sera facilitée, ceci d'autant plus qu'elle pourra être partiellement recouverte de terre arable.

A noter que le palier inférieur de la turbine sera lubrifié à l'eau afin d'éviter tout risque de pollution dû à l'huile ou à la graisse et que les vérins de commande seront électriques.

Le transformateur prévu étant à remplissage intégral, un bac de rétention autour de celui-ci est prévu afin d'éviter tout risque de pollution de la Suze.

2.4. BRUIT ET VIBRATION

Pour autant que les machines installées aient été développées en laboratoire, leur fonctionnement hydro-dynamique sera optimal. Ceci garantit un niveau de vibration et de bruit particulièrement faible.

L'enterrement partiel de la centrale contribuera par ailleurs à l'isolation phonique.

3. PRESENTATION DES SOLUTIONS TECHNIQUES

3.1. PREAMBULE

La solution technique de base étudiée dans le cadre de ce projet consiste à poser une nouvelle conduite entre la prise d'eau et la centrale hydro-électrique.

Le choix de son diamètre est déterminé par un optimum technico-économique prenant en compte la production annuelle et les coûts de génie civil inhérents à la pose.

La configuration du site rendant cette pose onéreuse, la solution de base aura pour but la maximisation de la production. Une variante avec un débit plus faible a également été étudiée.

La solution consistant à utiliser la conduite d'assainissement a été abandonnée d'entente avec le maître d'ouvrage et ne sera pas présentée dans ce rapport, bien que l'étude ait pratiquement été réalisée dans son ensemble tant du point de vue de l'hydraulique que du génie civil.

Contrairement aux indications initialement fournies par le maître de l'ouvrage, la partie terminale de la conduite existante a partiellement été changée et son diamètre augmenté pour laisser passer les débits de crues et éviter le déversement d'eau usée dans la rivière. Son utilisation par l'aménagement hydro-électrique nécessiterait ainsi la pose d'une conduite en parallèle de dimension importante (de 400 mm, le diamètre aurait dû passer à 900 mm), ce qui réduit considérablement les possibilités d'économie au niveau de l'investissement.

L'emploi d'une conduite neuve garantit, par ailleurs, une sécurité supplémentaire tant du point de vue de la durée de vie que des coefficients de pertes de charge.

3.2. HYPOTHÈSES DE BASE

Les hypothèses faites correspondent à des choix réalistes, que cela soit en matière de rugosité, de longueur des conduites, de dénivellation, de rendement de machine, etc.

Les rendements de turbines utilisés correspondent à des machines testées en laboratoire offrant donc des garanties fiables.

Les constantes et principales grandeurs utilisées dans cette étude sont données ci-dessous :

Altitude moyenne de la centrale :	630	m
Constante de gravitation g :	9.806	m s ⁻²
Température moyenne de l'eau :	10	°C
Masse volumique de l'eau ρ à 10° C:	999.7	kg m ⁻³
Viscosité de l'eau ν à 10°C:	1.31·10 ⁻⁶	m ² s ⁻¹

3.3. DÉNIVELLATION MOYENNE

Le seuil et la prise d'eau ne seront pas déplacés. La centrale sera située entre le pont de la N16 et la STEP. Ces emplacements sont indiqués sur le plan de l'annexe A.

La dénivellation mesurée le 31 août 2001 entre le plan d'eau à l'amont du seuil et celui au droit de l'emplacement de la future centrale est de 10.5 m. Le débit à cette date était de 1.37 m³/s, valeur proche de l'étiage. Il est donc légitime de penser que le niveau du plan d'eau aval à cette date correspond au niveau minimum.

La réfection du seuil prévoit un rehaussement de 20 cm.

La restitution de l'eau lors du fonctionnement à débit maximum entraînera une élévation du plan d'eau aval qui est estimée à environ 60 cm et qui sera supposée constante.

La dénivellation ΔZ considérée dans cette étude est donc de 10.1 m. Il est à relever que cette dénivellation correspond à une dénivellation moyenne. En période de hautes eaux, cette dénivellation pourra varier légèrement. Cependant la largeur de la rivière au droit du seuil et celle au droit de la future centrale sont voisines, par

conséquent l'augmentation de la hauteur d'eau à l'aval sera entièrement compensée par l'élévation du plan d'eau à l'amont.

3.4. CHOIX DU DEBIT D'INSTALLATION ET DU DIAMETRE DE LA CONDUITE

Le débit maximal d'installation est déterminé par des critères d'optimisation de la production, tenant compte des impératifs techniques et environnementaux.

Une étude systématique de production pour différents débits et diamètres de conduite a été réalisée en tenant compte des contraintes suivantes :

- Perte de charge dans la conduite d'au maximum 10%.
- Utilisation de diamètres de conduite normalisés.
- Durée du déversement au seuil, selon la prise de position de l'inspectorat de la pêche du 10 avril 2001, d'au moins 90 jours par an.
- Débit minimal de l'installation (déterminé purement par des critères techniques). Pour une turbine Kaplan, ce débit est d'environ 25% du débit maximal. Pour deux machines, ce débit est, par conséquent, de 12.5% du débit maximal.
- L'espace à disposition pour poser une nouvelle conduite en parrallèle à l'existante étant restreint, le diamètre maximal de la conduite a été limité à 1800 mm.

Considérant les faibles pressions en jeu (de l'ordre de 2 bars) et la nécessité d'une perte de charge faible, le type de conduite choisi est en fibre de verre / résine époxy.

Les diamètres étant importants, ces conduites sont meilleur marché que des conduites en métal ou en béton de diamètre équivalent et elles peuvent être plus aisément mises en place et assemblées que ces dernières.

La longueur de la conduite entre la prise d'eau et la centrale, estimée à partir du plan au 1/1'000 est de 470 m.

La perte de charge dans la conduite a, dans chaque cas, été calculée par la formule de Colebrook en considérant une rugosité k de 0.01 mm.

L'étude de la production annuelle est donnée dans le Tableau 1 ci-dessous :

D conduite [m]	Q max [m ³ /s]	PDC [m]	Production [kW]	Nb turb	Q min [m ³ /s]	Durée dévers Qmin [jours]	Durée dévers Qmax [jours]
1.4	3.5	0.915	1'329	1	0.875	75	130
1.5	3.5	0.653	1'356	1	0.875	75	130
1.6	3.5	0.477	1'377	1	0.875	75	130
1.5	4.0	0.837	1'438	1	1.000	90	114
1.6	4.0	0.611	1'465	1	1.000	90	114
1.5	4.5	1.043	1'470	1	1.125	100	100
1.6	4.5	0.760	1'506	1	1.125	100	100
1.6	5.0	0.925	1'560	1	1.250	110	90
1.8	5.0	0.520	1'613	1	1.250	110	90
1.8	6.0	0.731	1'662	1	1.500	125	70
1.4	3.5	0.915	1'402	2	0.438	36	130
1.5	3.5	0.653	1'432	2	0.438	36	130
1.6	3.5	0.477	1'453	2	0.438	36	130
1.5	4.0	0.837	1'519	2	0.500	40	114
1.6	4.0	0.611	1'547	2	0.500	40	114
1.5	4.5	1.043	1'586	2	0.563	45	100
1.6	4.5	0.760	1'622	2	0.563	45	100
1.6	5.0	0.925	1'684	2	0.625	50	90
1.8	5.0	0.520	1'736	2	0.625	50	90
1.8	6.0	0.731	1'824	2	0.750	65	70

Tableau 1 : Evaluation de la production annuelle et des durées de déversement pour différents débits et diamètres de conduites.

Le critère de déversement est respecté pour toutes les variantes étudiées. La variante présentant le moins de jours de déversement est la variante à 6 m³/s et deux machines qui déversera pendant 135 jours.

Les rendements des conduites à pleine charge varie entre 90 et 94%

Comme évoqué précédemment, les coûts de génie civil risquent d'être élevés et notamment la pose de la conduite qui sera vraisemblablement le poste le plus important. La variante à considérer en priorité est, par conséquent, celle qui permet de maximiser la production annuelle, c'est à dire la variante à 6 m³/s avec un diamètre de conduite de 1800 mm et deux machines.

Une seconde variante sera analysée pour évaluer l'influence, sur la rentabilité du projet, d'une conduite de diamètre inférieur avec une centrale de puissance plus faible. Afin que cette variante puisse bien se démarquer de la précédente, nous

considérerons la variante présentant une différence de section par rapport à la conduite précédente de 30%. En effet les coûts de pose de la conduite sont principalement fonction du volume excavé qui est proportionnel au diamètre de la conduite.

Notre choix s'est porté sur une conduite de 1500 mm de diamètre et un débit de 4.5 m³/s.

En considérant une perte de charge de 10%, la conduite de 1800 mm permettrait d'exploiter un débit d'au maximum 7 m³/s tout en satisfaisant encore au critère de déversement. Cependant, la durée de fonctionnement annuelle n'est plus que de 290 jours alors qu'elle est de 300 jours pour la variante à 6 m³/s. Le gain de production entre 6 et 7 m³/s est de très peu supérieure à la perte de production due à cette réduction de la durée de fonctionnement. De plus, les machines seront plus volumineuses et augmenteront les coûts de l'électromécanique que du génie civil. Ces raisons nous ont amené à nous limiter à un débit de 6 m³/s.

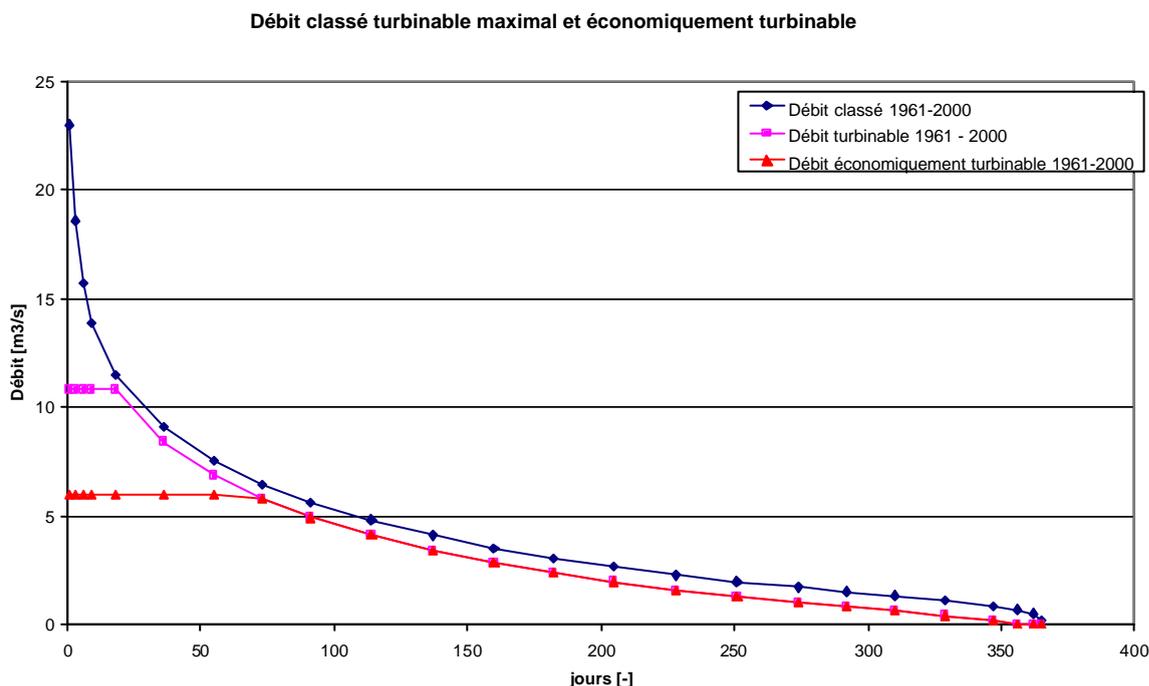


figure 4: Débit maximal turbinable et débit maximal économiquement turbinable avec un débit de restitution de 680 l/s

Les principales caractéristiques des deux conduites sont données dans le Tableau 2 ci-dessous :

Variante	Qmax [m3/s]	Diamètre nominal de la conduite [m]	Coefficient de perte de charge Khr	Rendement de la conduite à Qmax
I	6.0	1800	0.020301	93.00%
II	4.5	1500	0.051491	89.60%

Tableau 2 : Principales caractéristiques des deux conduites sélectionnées

3.5. ENERGIE MASSIQUE DISPONIBLE

L'énergie massique disponible E est définie comme suit :

$$E = gH = g \left(\Delta Z - kQ^2 - \frac{C_r^2}{2} \right)$$

où g est la constante de gravité

ΔZ est la dénivellation

k est le coefficient de pertes de charge

Q est le débit considéré

C_r est la vitesse restante en sortie d'aspirateur, supposée à 2 m/s au débit maximum.

Le terme $\frac{C_r^2}{2}$ est l'énergie cinétique résiduelle qui n'est pas récupérable et dont il faut tenir compte comme une perte lors de l'évaluation de la production annuelle

La méthode la plus simple pour intégrer cette perte est de corriger la dénivellation de la quantité $\frac{C_r^2}{2g} \sim 0.2$ m et de considérer la nouvelle dénivellation obtenue comme constante quel que soit le débit. Cette dénivellation corrigée de 9.9 m a été employée pour l'estimation de la production.

A débit maximum, elle vaut, pour chacune des variantes :

Variante	Débit		ΔZ		E		H_n		$E - \Delta E_c$		$H_n - \Delta H_c$	
	m ³ /s		m		J/kg		m		J/kg		m	
I	6.0	m ³ /s	10.1	m	91.88	J/kg	9.37	m	89.88	J/kg	9.17	m
II	4.5	m ³ /s	10.1	m	88.84	J/kg	9.06	m	86.84	J/kg	8.86	m

Tableau 3 : Energie massique considérée

Nous avons également indiqué dans ce tableau la chute nette H_n , bien que celle-ci ne corresponde pas à une réalité physique.

3.6. CHOIX DU TYPE DE MACHINE

La dénivellation et les débits à disposition rendent nécessaire l'installation d'une ou de plusieurs turbines Kaplan.

Le choix du type (simple ou double réglage) et du nombre de machines dépend de critères techniques et économiques.

Deux machines identiques permettront de meilleures conditions d'exploitation aux faibles débits (jusqu'à 12.5% du débit maximum d'installation) tandis qu'une machine cessera de produire lorsque le débit sera inférieur à 25% du débit maximum. Par ailleurs, dans l'option avec deux machines, la révision d'une machine ne fera perdre qu'une partie de la production, la seconde pouvant continuer à fonctionner en parallèle.

Il est par contre évident que le fait de doubler le nombre de machine augmente l'investissement tant de l'électromécanique que du génie civil, et qu'il convient de trouver un compromis économique acceptable.

L'option d'exploiter le débit de 6.0 m³/s avec une seule machine implique obligatoirement une turbine à double réglage, volumineuse, relativement complexe, difficilement disponible auprès des petits constructeurs et d'un prix élevé. De plus, elle ne permettra pas de conserver une flexibilité en cas de révision d'un des groupes. Nous choisissons donc pour ce débit une exploitation à deux machines.

Le débit de 4.5 m³/s pourrait être exploité avec une seule machine disponible auprès des constructeurs de mini-hydraulique. Afin de conserver les avantages d'une flexibilité importante, nous retenons cependant, également pour ce débit, la variante à deux machines.

4. VARIANTES CONSIDÉRÉES POUR LA SUITE DE L'ÉTUDE

Pour mémoire, les variantes considérées sont rappelées ci-dessous.

Variantes		I		II	
Dénivellation moyenne	ΔZ	10.1	m	10.1	m
Energie massique disponible	E	91.88	J/kg	88.84	J/kg
Chute nette	H_n	9.37	m	9.06	m
Débit max	Q	6.0	m ³ /s	4.5	m ³ /s
Diamètre conduite	D	1800	mm	1500	mm
nombre de turbine		2		2	

Tableau 4 : Caractéristiques principales des variantes considérées

5. SPECIFICATIONS TECHNIQUES PRELIMINAIRES DES PRINCIPAUX COMPOSANTS

5.1. GENIE CIVIL

5.1.1. *Seuil et passe à poissons*

Le seuil a été construit en 1894. Un constat visuel in situ semble indiquer qu'il est en bon état.

Il s'agit d'un ouvrage réalisé en maçonnerie dont la largeur est d'environ 9m, l'épaisseur au couronnement est d'environ 0.5 m et l'épaisseur à la base est d'environ 2 m.

Un rehaussement du seuil est envisagé. Il sera réalisé à l'aide d'éléments en béton armé préfabriqués, ancrés dans le seuil, ce qui portera sa hauteur à environ 3 m

depuis le pied de l'ouvrage. Un décrochement dans le réhaussement permettra l'écoulement de l'eau dans la rampe rugueuse.

La rampe rugueuse est constituée par un ensemble de blocs de rochers de tailles diverses reconstituant un tronçon de rivière comprenant un lit mineur pour les faibles débits et par lequel passera le débit résiduel ainsi qu'un lit majeur pour les périodes de crues.

Cette rampe débutera depuis le couronnement du seuil et s'étendra sur une longueur d'environ 30 m en aval du seuil avec une pente d'environ 10%. Le lit mineur cheminera sur toute la largeur de la rampe.

5.1.2. *Prise d'eau et ouvrage de raccordement*

La prise d'eau actuelle sera réhabilitée. Le contrôle visuel effectué in situ semble indiquer que les maçonneries sont en bon état. L'ouvrage de raccordement entre la prise d'eau et la conduite aura les dimensions suivantes : 2 x 2 x 3 m (longueur x largeur x hauteur).

Un système servant à isoler la conduite pour des contrôles ou de l'entretien, se situera directement à l'aval du dégrilleur. Il se limitera à un batardeau que l'on placera manuellement en cas de nécessité à l'aide d'une potence amovible afin de limiter l'impact sur le paysage.

5.1.3. *Conduite*

5.1.3.1. *Diamètre*

Le diamètre de la nouvelle conduite est :

- pour la variante I : 1800 mm
- pour la variante II : 1500 mm

5.1.3.2. Tracé de la conduite et longueur

Le tracé de la conduite existante se trouve sous un chemin reliant le pont en aval du seuil de la prise d'eau et la STEP et longeant la Suze.

La nouvelle conduite, pour les deux variantes considérées, serait posée en parallèle à la conduite existante et la croiserait par en dessous.

La longueur, déterminée sur plan vaut 470 m.

La conduite est entièrement composée d'un tuyau fibre de verre / époxy jusqu'au répartiteur.

5.1.3.3. Caractéristiques mécaniques

La conduite doit être en mesure de supporter une surpression temporaire dues aux arrêts et démarrages de la machine, environ 30% supérieure à la pression statique. La pression maximum admissible est de 1.5 bars.

L'utilisation de conduite PN6 en standard satisfait largement cette exigence.

5.1.3.4. Divers

Un conduit passe-câble sera posé en parallèle à la conduite. Celui-ci contiendra le câblage de la commande du dégrilleur, de transmission des alarmes, des signaux des sondes de niveau ainsi que l'alimentation électrique.

5.1.4. Centrale et ouvrage de restitution

La centrale se trouve dans l'emprise du viaduc de la N16 sur la Suze. L'Office des Ponts et Chaussées du canton de Berne ne pouvant se déterminer sur la position de la centrale avant d'obtenir des plans d'implantations précis, il a été décidé, d'entente avec le maître d'ouvrage, de positionner la centrale, dans un premier temps, entre le viaduc de la N16 et la STEP. Un contact devra avoir lieu avec cet office dès que possible afin de confirmer la possibilité de construction dans cette zone.

La solution retenue pour la centrale est une implantation partiellement enterrée et réalisée en béton.

L'ouvrage de restitution est composé d'un bassin avec déversoir à la cote du niveau d'étiage de la rivière. Ce déversoir est indispensable pour maintenir en tout temps une contre-pression minimale nécessaire au bon fonctionnement des turbines.

Ce type de réalisation permet en outre de ne mettre en place qu'un batardeau de taille réduite à la sortie du bassin.

Les plans préliminaires d'implantation et de la centrale sont fournis en annexe A.

5.2. MATERIEL HYDROMECHANIQUE

5.2.1. Dégrilleur

La grille de la prise d'eau aura une surface d'environ 6 m².

Le fonctionnement du dégrilleur sera automatique et sera déclenché par la mesure de la différence de niveau entre deux sondes situées de part et d'autre de la grille (détection d'obstruction). Un limiteur d'effort coupera l'alimentation du moteur en cas de blocage du dégrilleur.

L'alimentation électrique sera assurée par un câble électrique partant de la centrale et longeant la conduite dans le passage de câbles prévu à cet effet. Les alarmes ainsi que les indications des sondes de niveau seront également transmises à la centrale.

Les déchets récoltés seront stockés dans une benne et seront régulièrement évacués à l'aide d'un véhicule léger.

5.2.2. Vidange de fond

La réalisation d'une vidange de fond n'est pas réalisable sous le seuil. L'observation actuelle du site indique que le centre de la rivière et la rive gauche ne se sont pas particulièrement comblés par des dépôts alluvionnaires depuis l'arrêt de l'exploitation. Le comblement de la zone de la prise d'eau en rive droite est essentiellement dû à une zone d'eaux mortes qui disparaîtra une fois la nouvelle installation en service.

5.2.3. Vannes de garde

La vanne de garde est installée directement en amont de la machine, elle permet de l'isoler lors d'arrêts et de travaux de maintenance. Chaque turbine aura sa propre vanne, de type guillotine.

Les avantages majeurs de ce type de vanne sont qu'elle n'introduit pas de perte de charge supplémentaire et que leur coût est relativement faible.

Son inconvénient est qu'elle ne possède pas de fonction de sécurité intrinsèque puisqu'elle reste ouverte en cas de perte de réseau.

La manœuvre de la vanne sera réalisée par un vérin électrique 24 ou 48 V DC. En cas de perte d'alimentation, la sécurité sera assurée par un système auxiliaire alimenté par batterie.

Afin de limiter les surpressions dans la conduite, le temps de fermeture sera d'au moins 45 secondes.

5.2.4. Turbine

Les indications fournies à ce stade sont issues des travaux MHyLab. Elles sont fournies à titre provisoire et peuvent varier en fonction du constructeur choisi.

Variantes		I		II	
Débit d'installation	Q_{\max}	6.0	m ³ /s	4.5	m ³ /s
Dénivellation	ΔZ	10.1	m	10.1	m
Chute nette	H_n	9.37	m	9.06	m
Energie massique à Q_{\max}	gH_n	91.88	J/kg	88.84	J/kg
Type de turbine		Kaplan simple réglage		Kaplan simple réglage	
Nombre de turbines		2		2	
Débit nominal par turbine	Q_N	3.0	m ³ /s	2.25	m ³ /s
Débit minimal par turbine	Q_{\min}	0.750	m ³ /s	0.560	m ³ /s
Puissance mécanique	$P_{\text{méc}}$	251	kW	185	kW
Vitesse de rotation	N	500	tr/min	600	tr/min
Vitesse d'emballement	N_r	1165	tr/min	1400	tr/min
Diamètre de roue	D_e	0.820	m	0.670	m
Nombre de pales	Z_p	4		4	
Hauteur d'implantation	H_s	0.3	m	0.5	m

Tableau 5 : Caractéristiques principales des turbines pour les deux variantes considérées

Afin de ne pas risquer de pollution de la rivière, le palier turbine sera lubrifié à l'eau et la commande des vérins du dispositif de réglage des pales sera, si possible, électrique.

La turbine sera en prise directe avec la génératrice afin d'améliorer le rendement de l'installation et augmenter sa fiabilité.

5.3. EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

5.3.1. Génératrice

Variantes		I		II	
Type		synchrone		synchrone	
Nombre		2		2	
Fréquence	f	50	Hz	50	Hz
Tension aux bornes	U	400	V	400	V
Cos phi		0.9		0.9	
Puissance électrique	P_{el}	170	kW	233	kW
Puissance électrique nominale	P_{el}	200	kW	250	kW
Vitesse de rotation	n	600	t/min	500	t/min
Vitesse d'emballement	n_R	1400	t/min	1165	t/min
Classe de protection		IP 23		IP 23	
Classe de refroidissement		IC 01		IC 01	

Tableau 6 : Caractéristiques principales des génératrices pour les deux variantes considérées

Le palier butée devra être dimensionné pour supporter les efforts axiaux de la turbine et devra avoir une durée de vie d'au moins 100'000 heures.

5.3.2. Transformateur

La distance séparant la centrale et le poste d'alimentation de la Cuchatte, située près de la STEP, étant d'environ 200 m et au vu des puissances en jeu, nous préconisons une liaison en 16 kV.

Variantes		I	II	
Type		remplissage intégral	remplissage intégral	
Nombre		1	1	
Tension aux bornes	U	400 / 16'000	400 / 16'000	V
Puissance apparente	P_s	400	630	kVA

Tableau 7 : Caractéristiques principales des transformateurs pour les deux variantes considérées

5.3.3. Moyens de levage

Une fois les équipements électromécaniques mis en place, les moyens de levage seront nécessaire uniquement lors des opérations importantes de maintenance tel que le changement du palier de la génératrice ou de la turbine. Aucun moyen de levage fixe n'est donc prévu dans la centrale, la durée d'utilisation de ces équipements étant trop faible. Les opérations de manutentions éventuelles seront réalisées à l'aide d'un camion grue via une trappe prévue dans le toit.

5.3.4. Contrôle commande

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

Les turbines devront pouvoir fonctionner en automatique ou en manuel (mise en route et couplage au réseau).

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

Les tableaux comprendront en outres les éléments suivants :

- Commande des pales avec affichage de l'ouverture,
- Réglage de $\cos \varphi$ (si non inclus dans les alternateurs).
- 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,
- Température des roulements et du bobinage de l'alternateur,
- Arrêt d'urgence.

Les alarmes suivantes devront être traitées :

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

5.3.5. Dispositif de sécurité

La turbine ainsi que la génératrice devront pouvoir tourner au moins 10 minutes à l'emballement sans dommage.

En cas de perte d'alimentation dans la centrale, la turbine devra pouvoir être arrêtée et mise en sécurité par la fermeture de la vanne de garde.

Ceci sera réalisé par une alimentation auxiliaire alimentée par batteries de capacité suffisante, munie d'un système de contrôle de charge.

5.4. RACCORDEMENT AU RESEAU

Le raccordement sur le poste de transformation de la Cuchatte situé sur le site de la STEP du vallon de St-Imier est la solution technique la plus simple.

Les FMB exploitants du réseau, proposent pour leur part deux solutions. La première est de dévier la ligne actuelle pour qu'elle passe par la centrale avant de rejoindre le poste de la Cuchatte, auquel cas la ligne leur appartiendrait. La seconde est de raccorder la centrale au poste de transformation par un câble souterrain, propriété de la société d'exploitation de la centrale.

6. ANALYSES TECHNICO-ECONOMIQUE

6.1. HYPOTHESES

Les hypothèses prises dans le cadre de cette analyse sont :

Electromécanique

- Dans notre cas, les prix des équipements électromécaniques sont peu dépendants du débit d'installation. Seuls les groupes turbo-alternateurs seront légèrement différents. L'impact sur le coût global de l'aménagement étant faible, nous avons considéré un investissement unique pour ceux-ci. Les prix sont établis sur la base d'offres pour des réalisations semblables.
- Le prix du raccordement a été défini à partir d'une estimation préliminaire des FMB obtenue par le maître d'ouvrage.

Génie civil

- Le seuil est supposé être en bon état (constat visuel in situ), seules les transformations sont considérées.
- La prise d'eau est supposée être en bon état, seuls le curage et le raccordement à la conduite d'alimentation ont été devisés.
- Seul le prix de la conduite et de sa pose varie entre les deux variantes ainsi qu'entre les devis en terrain meuble et en rocher.
- Le coût de construction de la centrale est évalué à partir du bâtiment nécessaire pour la variante 6.0 m³/s.
- Les coûts comprennent un poste "honoraire d'ingénieur" comme responsable de la direction des travaux.

Financier

- Le taux d'emprunt de 4.25% a été défini d'entente avec le maître d'oeuvre suite aux contacts qu'il a eus avec la Banque Alternative Suisse. L'inflation en Suisse étant très faible ces dernières années, le taux d'actualisation est choisi égal au taux d'emprunt.
- Les durées d'amortissement ont été définies, d'entente avec le maître d'ouvrage, et sont données ci-dessous :
 - Génie civil : 30 ans
 - Electro-mécanique : 20 ans
 - Contrôle commande : 15 ans
 - Frais admin./études : 15 ans
- L'annuité est pondérée par la part d'investissement de chaque poste, selon la répartition suivante :
 - Génie civil : 65%
 - Electro-mécanique : 20%
 - Contrôle commande : 7%
 - Etudes & admin. : 8%

- Le coefficient d'annuité considéré tenant compte des valeurs ci-dessus est de 6.75%.
- L'impôt, dépendant fortement de la manière dont est gérée la société et des divers encouragements fiscaux pour la création d'entreprise, n'est pas pris en compte dans cette étude.
- L'investissement initial provient entièrement d'un emprunt et ne tient pas compte d'éventuels fonds propres.

6.2. PRIX DE VENTE DE L'ENERGIE

Les FMB pratiquent un tarif différencié selon la période (été / hiver) et l'heure de la journée avec, en outre, une prime de disponibilité. Ce tarif doit cependant respecter les recommandations de l'Office Fédéral de l'Energie qui garantissent un prix moyen annuel de 15 cts/kWh.

Un calcul de production journalier pour le débit de 6 m³/s a été réalisé sur trois années (1996, 1999 et 2000) et a permis de déterminer la majoration qui varie entre 0.01 – 0.82 cts / kWh en été et entre 1.71 et 2.6 cts / kWh en hiver. Cette majoration nous donne un prix annuel moyen de vente du kWh variant entre 15.61 (1996) et 16.38 centimes (1999). Nous considérerons, par conséquent, pour l'évaluation des revenus un prix de vente moyen de 16 cts/kWh.

	Hiver	Eté
Tarif haut [cts/kWh]	20	14.5
Tarif bas [cts/kWh]	11.5	8
Majoration de disponibilité évaluation [cts/kWh]	2.5	0.4

Tableau 8 : Prix de vente aux FMB

6.3. ETUDE DES VARIANTES

6.3.1. Estimation de la production annuelle

La production annuelle a été estimée à partir de la courbe des débits classés pour la période 1961 – 2000 en prenant des rendements correspondant à des machines développées en laboratoire possédant des garanties fiables.

Le détail du calcul est fourni dans l'annexe B.

	Production [MWh/an]	Revenu [kCHF/an]
Variante I	1'574	251'840
Variante II	1'824	291'840

6.3.2. Estimation des frais d'exploitation annuels

6.3.2.1. Droits de passage

Selon les informations obtenues par le maître d'ouvrage auprès de la commune de Sonceboz, le projet est considéré d'utilité publique et ne devrait pas être soumis à des droits de passage très élevés. Nous avons considéré pour ce poste, d'entente avec le maître d'ouvrage, un montant annuel de 1000.- CHF.

6.3.2.2. Entretien

Les frais d'exploitation, comprenant les frais annuels d'assurance ainsi que les coûts de maintenance, d'entretien courant, d'évacuation des déchets et de consommation d'énergie, sont estimés à partir d'installations de puissance similaire. Ils sont évalués à 30 kCHF. Les coûts de maintenance et d'entretien se limitent à de petites réparations et à une visite sur site régulière pour contrôle et évacuation des déchets accumulés dans le dégrilleur. Par expérience, le temps consacré à ces opérations est d'environ 2h par semaine.

Tous les 5 ans, un montant supplémentaire est prévu pour un contrôle général de la machine et pour le remplacement de certaines pièces d'usure.

Le changement du palier de la génératrice, réalisé de manière préventive, est prévu tous les 10 ans. Les frais inhérents à cette opérations sont évalués à 20 kCHF.

Un changement de l'ensemble du contrôle commande est prévu tous les 15 ans. Le montant de cette opération est chiffré à 211 kCHF.

6.3.3. Investissement

Les prix de l'équipement électromécanique a été déterminé sur la base d'installations de puissance similaire. L'évaluation des coûts pour les travaux de génie civil a été réalisée par le bureau d'ingénieurs SDIN.

6.3.3.1. Matériel électromécanique

	Qté	I	Total	Qté	II	Total
Prise d'eau						
Dégrilleur	1	20'000	20'000	1	20'000	20'000
Batardeau	1	5'000	5'000	1	5'000	5'000
Sous-total			25'000			25'000
Centrale						
Vanne de garde	2		incl.	2		incl.
Turbine	2	230'000	460'000	2	220'000	440'000
Génératrice	2		incl.	2		incl.
Régulation	2	60'000	120'000	2	60'000	120'000
Groupe hydraulique	2		incl.	2		incl.
Transformateur	1	20'000	20'000	1	15'000	15'000
Alimentation de secours 24V	1	25'000	25'000	1	25'000	25'000
Armoires électriques	2	33'000	66'000	2	33'000	66'000
Transport / Montage			incl.			incl.
Mise en service			incl.			incl.
Sous-total			691'000			666'000
Raccordement au réseau						
Pose ligne	1			1		
Comptage	1			1		
Sous-total			100'000			100'000
Divers et imprévus	1	80'000	80'000	1	80'000	80'000
Honoraires d'ingénieur	1	70'000	70'000	1	70'000	70'000
Total			966'000			941'000

Tableau 9 : Coût de l'équipement électromécanique pour les deux variantes considérées

6.3.3.2. Génie civil

Deux types de terrain ont été considérés pour l'estimation des coûts de génie civil. Un premier terrain de type meuble(A) et un second de type rocher (B). Les coûts globaux de ces travaux sont fournis dans le Tableau 10 ci-dessous. Le détail du devis est fourni en annexe D.

Variante	I A	I B	II A	II B
Installation du chantier et travaux préparatoires	62'000	62'000	62'000	62'000
Sous-total	62'000	62'000	62'000	62'000
Ouvrages amont				
Rehaussement du seuil et passe à poissons	134'000	134'000	134'000	134'000
Remise en état de la prise d'eau	26'000	26'000	26'000	26'000
Ouvrage de raccordement amont	34'000	34'000	34'000	34'000
Sous-total	194'000	194'000	194'000	194'000
Conduite				
Fourniture conduite	385'000	385'000	282'000	282'000
Fouille et pose	551'000	735'000	452'000	567'000
Sous-total	936'000	1'120'000	734'000	849'000
Centrale				
Construction centrale	303'000	303'000	303'000	303'000
Second Œuvre	120'000	120'000	120'000	120'000
Sous-total	423'000	423'000	423'000	423'000
Divers et imprévus	150'000	150'000	150'000	150'000
Honoraires d'ingénieur	210'000	210'000	190'000	190'000
Total	1'975'000	2'159'000	1'753'000	1'868'000

Tableau 10 : Coût global du génie civil selon le type de terrain

6.3.4. Total des investissements

	I A	I B	II A	II B
Génie civil	1'975'000	2'159'000	1'753'000	1'868'000
Electromécanique	866'000	866'000	841'000	841'000
Raccordement	100'000	100'000	100'000	100'000
Coût total	2'941'000	3'125'000	2'694'000	2'809'000

Tableau 11: Coût total des deux variantes selon le type de terrain

6.3.5. Analyse économique des différentes variantes

Les tableaux financiers de chaque variante sont donnés dans l'annexe D.

Les honoraires d'ingénieurs sont répartis dans les postes de génie civil et d'électromécanique et sont par conséquent amorti sur la durée correspondante du poste.

Le taux de rendement interne est fourni pour trois périodes : la durée de la concession (40 ans), la durée d'amortissement la plus longue (30 ans) et au milieu de la période d'amortissement (15 ans.)

La valeur actuelle nette est calculée au terme de la concession.

Les calculs ont été réalisés en prenant l'hypothèse d'une annuité fixe. Le coût de revient du kWh est déterminé en divisant la somme des frais annuels, (annuité et frais d'exploitation) par la production annuelle et a été réalisé en considérant une année standard (comprenant 30 kCHF de frais d'exploitation).

Les principaux résultats, exprimés en kCHF, sont repris dans les tableaux ci-dessous :

Variante	I A	I B	II A	II B
Production annuelle [kCHF]	292	292	252	252
Frais généraux initiaux [kCHF]	20	20	20	20
Génie civil [kCHF]	1'975	2'159	1'753	1'868
Electromécanique [kCHF]	866	866	841	841
Raccordement [kCHF]	100	100	100	100
Frais annuels [kCHF]	30	30	30	30
Droits de passage [kCHF]	1	1	1	1
TRI 40 ans	8.90%	8.20%	7.90%	7.50%
TRI 30 ans	8.30%	7.60%	7.30%	6.80%
TRI 15 ans	3.40%	2.40%	1.90%	1.20%
Temps de retour	12 ans	13 ans	13 ans	13 ans
Taux d'actualisation	4.25%	4.25%	4.25%	4.25%
VAN sur 40 ans [kCHF]	1'847	1'671	1'318	1'208

Tableau 12 : Résumé des tableaux financiers pour les deux variantes et les deux configurations de terrain

Variante	I A	I B	II A	II B
Investissement	2'962'000	3'146'000	2'715'000	2'830'000
Annuité	199'935	212'355	183'263	191'025
Frais généraux	1'000	1'000	1'000	1'000
Exploitation	30'000	30'000	31'000	31'000
Dépenses annuelles	230'935	243'355	215'263	223'025
Production [GWh]	1'825	1'825	1'574	1'574
Prix de revient du kWh [12.7	13.3	13.7	14.2
Bénéfice annuel	61'065	48'645	36'578	28'815

Tableau 13 : Prix de revient du kWh et bénéfice annuel

6.3.6. Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité consiste à analyser la variation de rentabilité du projet lorsque l'on y applique des variations sur les hypothèses relatives à chacune des composantes de l'échéancier des flux de trésorerie.

Les variations de production sont estimées à partir des variations annuelles due à l'hydrologie et calculée pour les années 1996 à 2000. Celles-ci sont de l'ordre de $\pm 15\%$.

Les coûts des équipements électro-mécaniques sont donnés avec une plage de précision de $\pm 10\%$.

Le génie civil est un point dont les prix peuvent varier de manière importante. La comparaison entre les deux types de terrain étudiés montre une variation de coût du génie civil de $\pm 10\%$.

De plus certaines conditions locales, qui ne peuvent être prises en considération dans le cadre actuel du projet, peuvent également faire varier les prix de manière significative. Par exemple, si l'entreprise de construction a, en parallèle, un autre chantier lui donnant accès à des gravats, le prix de celui-ci ne sera plus de 100.-/m³ mais, peut être, de 20.-/ m³.

Sans modifications majeures du projet et sans aléas géologiques, les prix fournis pour les travaux en rocher peuvent être considérés comme une fourchette supérieure. Les économies dues aux facteurs locaux peuvent être estimées à 10 à 15%. La plage d'incertitude sur les prix GC en considérant les coûts en rocher peut donc être estimée à $\pm 10\%$.

Les résultats de l'analyse sont donnés dans les tableaux 14 et 15 ci-dessous. Elles sont définies par :

- production de + / -15%
- prix de l'électromécanique de + / -10%
- prix du génie civil en rocher + / -10%

I rocher	GC+Em fav.		GC+EM def.		Prod fav.		Prod def.		Tout fav.		Def. critique	
Production annuelle		292		292	15%	336	-15%	248	15%	336	-10%	262
Génie civil	-10%	1'943	10%	2'375		2159		2159	-10%	1943	10%	2375
Electromécanique	-10%	779	10%	953		866		866	-10%	779	10%	953
Raccordement		100		100		100		100		100		100
Frais annuels		31		31		31		31		31		31
TRI 40 ans		9.50%		7.40%		10.30%		6.50%		11.60%		6.70%
TRI 30 ans		9.00%		6.70%		9.80%		5.60%		11.20%		5.90%
TRI 15 ans		4.30%		1.10%		5.40%		-0.60%		7.30%		-0.10%
Temps de retour		11		14 ans		11		16 ans		10 ans		16 ans
Taux d'actualisation		4.25%		4.25%		4.25%		4.25%		4.25%		4.25%
VAN		2'302		1'451		2'578		905		2'869		969
Coefficient d'actualisation		6.75%		6.75%		6.75%		6.75%		6.75%		6.75%
Prix de revient du kWh		12.1		14.4		11.5		15.6		10.5		16.0
Bénéfice annuel		71		30		94		6		115		0

Tableau 14 : Résumé financier pour la variante I

I rocher	GC+Em fav.		GC+EM def.		Prod fav.		Prod def.		Tout fav.		Def. critique	
Production annuelle		252		252	15%	290	-15%	214	15%	290	-5%	238
Génie civil	-10%	1'699	10%	2'047		1868		1868	-10%	1699	10%	2047
Electromécanique	-10%	757	10%	925		841		841	-10%	757	10%	925
Raccordement		100		100		100		100		100		100
Frais annuels		31		31		31		31		31		31
TRI 40 ans		8.60%		6.70%		9.40%		5.70%		10.60%		6.10%
TRI 30 ans		8.00%		5.80%		8.80%		4.70%		10.10%		5.10%
TRI 15 ans		2.90%		-0.20%		4.00%		-2.00%		5.90%		-1.20%
Temps de retour		12 ans		16 ans		12 ans		17 ans		11 ans		17 ans
Taux d'actualisation		4.25%		4.25%		4.25%		4.25%		4.25%		4.25%
VAN		1'521		1'007		1'980		539		2'242		756
Coefficient d'actualisation		6.75%		6.75%		6.75%		6.75%		6.75%		6.75%
Prix de revient du kWh		12.9		15.1		12.2		16.5		11.2		16.0
Bénéfice annuel		48		14		69		-7		86		0

Tableau 15 : Résumé financier par la variante II

6.4. CONCLUSIONS

Les deux variantes étudiées présentent une rentabilité certaine et ce quel que soit le type de terrain.

La diminution de la taille de l'installation (variante II) ne permet pas d'obtenir une meilleure rentabilité comparée à la variante I et confirme notre hypothèse de départ de privilégier la variante maximisant la production.

Le coût global du projet s'élève à 2'941 kCHF en terrain meuble et 3'125 kCHF en rocher pour la variante I, respectivement 2'694 kCHF et 2'809 kCHF pour la variante II.

Malgré un coût initial plus important, la valeur actuelle nette au bout de 40 ans est de plus de 30 % supérieure pour la variante II en rocher en comparaison de la variante I en rocher également. Le bénéfice annuel de cette première variante, qui s'élève à 50 kCHF est également de 35% supérieur à la seconde. Cet avantage se ressent également sur le prix de revient du kWh.

L'analyse réalisée ne tient pas compte des éventuels fonds propres à disposition pour le projet. Ceux-ci, diminuant l'annuité, permettront d'augmenter le bénéfice annuel.

L'analyse de sensibilité montre que la variable critique est la production annuelle. Celle-ci dépend essentiellement de l'hydrologie et du rendement des turbines. La première s'équilibre naturellement au fil des ans, les années pluvieuses compensant les années sèches. L'unique cause pouvant provoquer une diminution de longue durée des débits disponibles serait un prélèvement d'eau en amont du seuil. Toutefois un tel prélèvement est fortement improbable.

Le second point, qui est le rendement des turbines, met en évidence l'importance d'avoir des garanties de rendement fiables. En effet, si dans le cas de la variante I, une perte de production de 10% rend la variante critique en supposant des coûts sur le GC et l'EM de +10%. Cette marge descend à -5% pour la variante II avec les mêmes hypothèses sur le GC et l'EM et s'approche des tolérances données par certains constructeurs.

La variante I est donc à privilégier en priorité si aucune limitation de financement n'est posée.

Une optimisation de la conduite peut être réalisée afin d'exploiter la possibilité d'imbriquer des tubes les uns dans les autres et d'employer des tubes de grande longueur pour diminuer les coûts de transport. Un calcul sommaire a fourni une plage de diamètre allant de 2000 à 1700 mm. L'économie possible à ce niveau pourrait être de l'ordre de 100.- / 200.- par mètre de conduite.

Un autre aspect permettant d'augmenter le prix de vente du kWh est d'effectuer une certification verte de type TÜV ou NatureMade de l'installation. Cependant, il sera nécessaire de définir quel sera le prix de reprise de l'électricité par les FMB dans ce cadre et surtout quel est le coût initial et annuel d'une telle certification.

La passe à poisson en rampe rugueuse est particulièrement novatrice et prometteuse et, à notre connaissance, un seul ouvrage de ce type existe actuellement en Suisse. Une subvention fédérale ou cantonale pour la réalisation

d'un second type de ces rampes pourrait être envisagée et une discussion devrait également être entreprise en ce sens dans le cadre du projet de renaturation.

7. TRAVAUX FUTURS

En cas de décision de réaliser la petite centrale, les étapes suivantes sont à entreprendre :

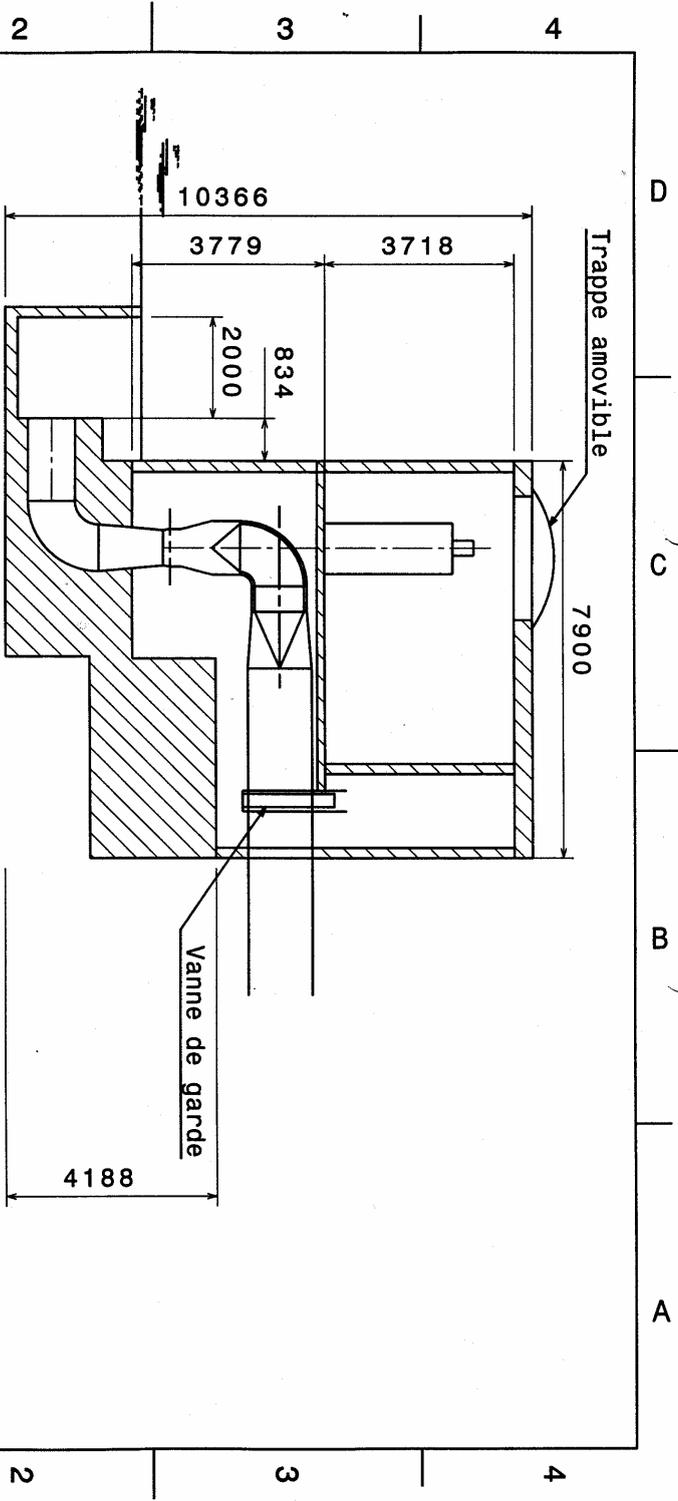
- Prise de contact avec l'office des ponts et chaussée du canton de Berne pour déterminer si l'emplacement envisagé pour la construction de la centrale ne pose pas de problème.
- Prise de contact avec les Forces Motrices Bernoises pour déterminer la meilleure variante de raccordement électrique et son coût.
- Réalisation d'un projet détaillé indiquant clairement les implantations des centrales, le tracé des conduites et le cahier des charges des installations.
- A la suite de l'arrêt de l'exploitation en 1974, la concession a été radiée, une nouvelle demande devra donc être faite à l'Office Cantonal des Eaux. La demande de concession devra être remise à l'autorité concédante, en général la direction des travaux publics, avec les plans et le rapport technique général (sans les détails sur la construction). Les services cantonaux compétents délivrent des aides relatives au dépôt de la demande précisant la forme et la teneur des documents à adresser.
- Demande de subvention, dans le cadre du projet de renaturation, pour la réalisation de la rampe rugueuse.
- Consultation restreinte de constructeurs capables de livrer des installations clés en main, avec toutes les garanties nécessaires, données selon les normes en vigueur.
- Négociations avec le constructeur choisi.
- Réalisation de la centrale

Dans ce contexte, le groupement MHyLab - SDIN peut intervenir comme ingénieur conseil en électromécanique et en génie civil.

Selon le choix du maître d'œuvre, il est envisageable que la technique hydraulique provienne du laboratoire MHyLab.

ANNEXE A

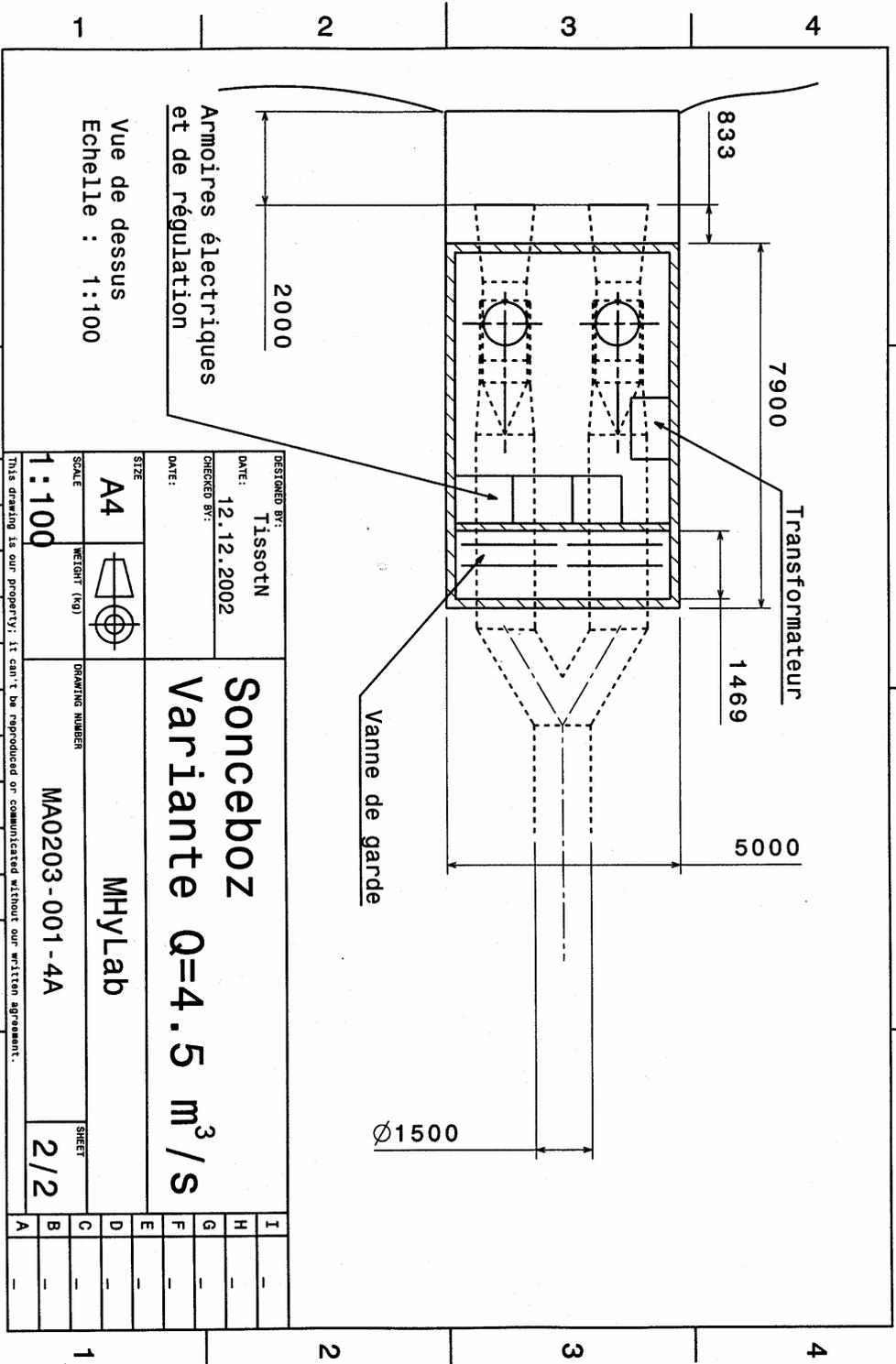
PLANS PRÉLIMINAIRES DES CENTRALES



Vue de face
Echelle : 1:100

DESIGNED BY: Tissotn		Sonceboz Variante Q=4.5 m³/s	I	-
DATE: 12.12.2002	CHECKED BY:		H	-
DATE:		G	-	
		F	-	
		E	-	
		D	-	
		C	-	
		B	-	
		A	-	
SIZE: A4	WEIGHT (KG):	DRAWING NUMBER: Ma0203-001-4A	SHEET: 1/2	
SCALE: 1:100				

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Vue de dessus
Echelle : 1:100

Armoires électriques
et de régulation

2000

833

7900

Transformateur

1469

5000

Vanne de garde

Ø1500

DESIGNED BY: TISSOTIN	Sonceboz	Variante Q=4.5 m³/s	I	-
DATE: 12.12.2002			H	-
CHECKED BY:			G	-
DATE:			F	-
			E	-
SIZE A4		MHYLab	D	-
SCALE 1:100			WEIGHT (kg)	C
			B	-
			A	-
DRAWING NUMBER MA0203-001-4A				
SHEET 2/2				
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.				

3

D

D

C

B

A

A

1

2

3

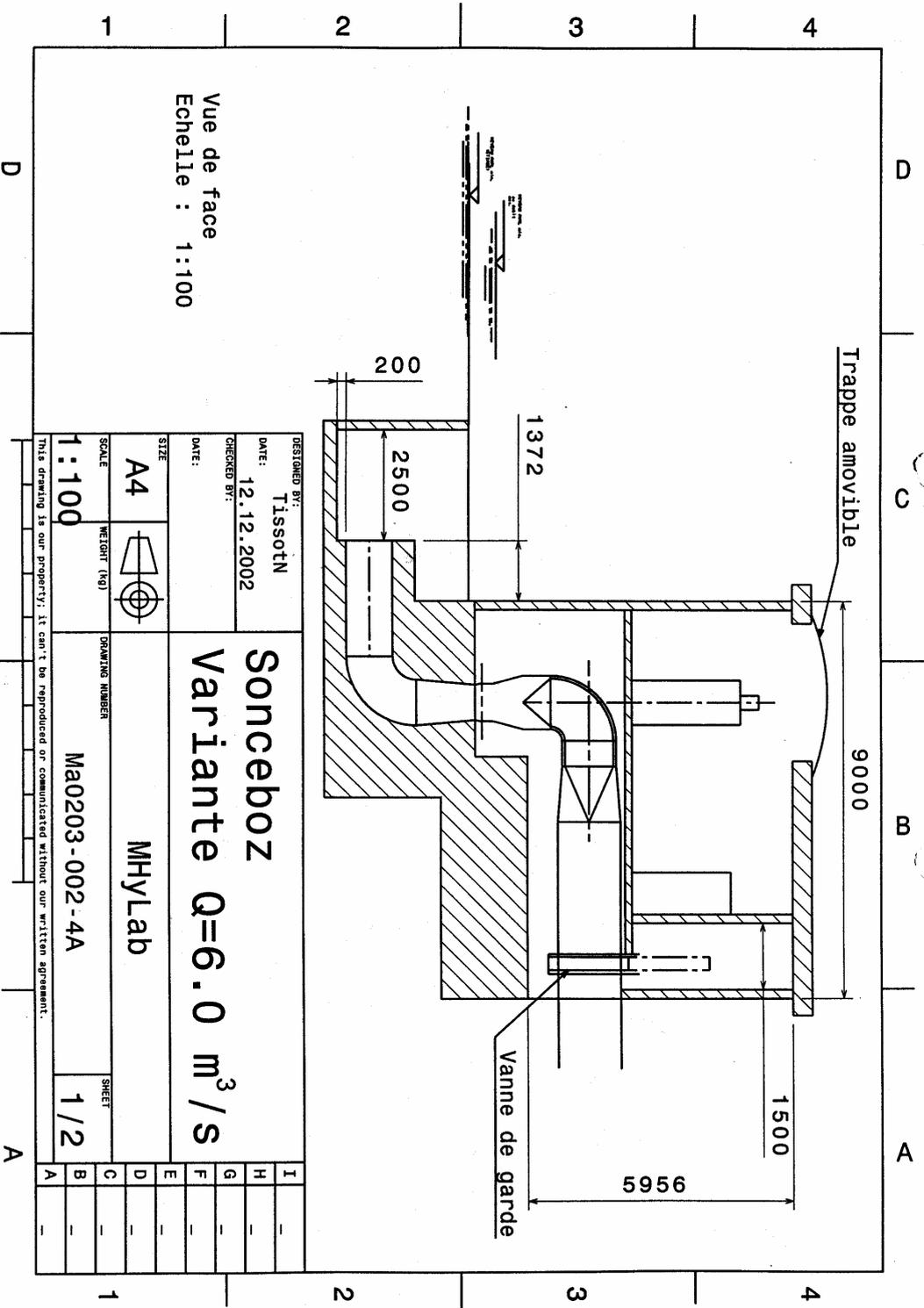
4

1

2

3

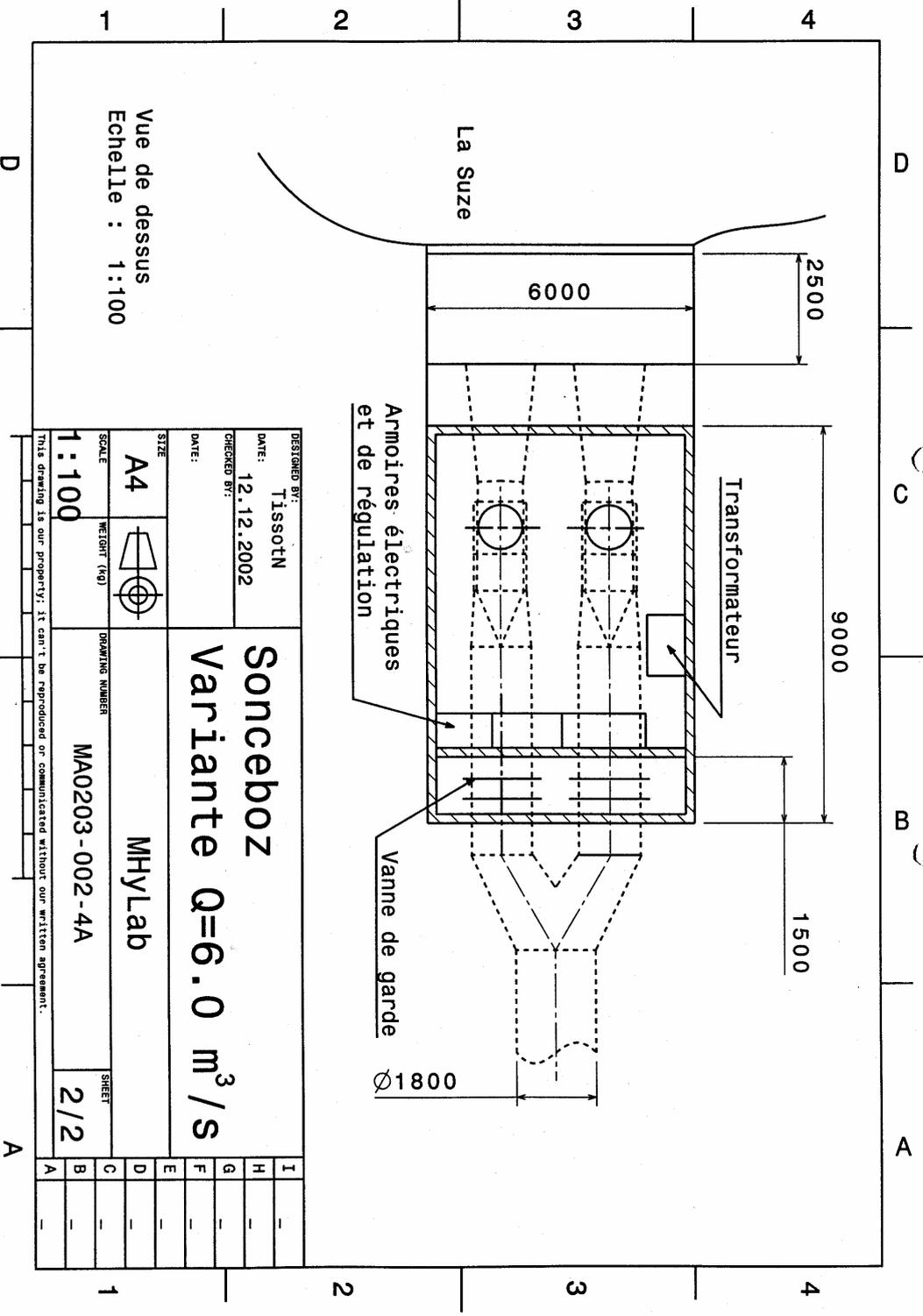
4



Vue de face
Echelle : 1:100

DESIGNED BY: T.ISSOTIN		
DATE: 12.12.2002		
CHECKED BY:		
DATE:		
Sonceboz		
Variante Q=6.0 m³/s		
SIZE A4	WEIGHT (kg)	DRAWING NUMBER MHYLab
SCALE 1:100		Mao203-002-4A
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		SHEET 1/2
		A

4



Vue de dessus
Echelle : 1:100

DESIGNED BY: Tissotn		DRAWING NUMBER MHYLab		SHEET 2/2	
DATE: 12.12.2002		Sonceboz Variante Q=6.0 m³/s			
CHECKED BY:					
DATE:		WEIGHT (kg)		SCALE 1:100	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					

ST

ANNEXE B

PRODUCTION ANNUELLE

Variante I : Production annuelle et puissance de l'installation en fonction du débit

Jours	Q	H	eta mec	P mec	eta electr.	Pel	Prod	Paramètres					
								Q max	Débit	Turbine			
								6.0 m ³ /s	9.9 m	1.8 m	2	Polyester	k=0.01 mm
1	6.00	9.17	0.894	482.1	0.929	447.7	10745						
3	6.00	9.17	0.894	482.1	0.929	447.7	21490						
6	6.00	9.17	0.894	482.1	0.929	447.7	32235						
9	6.00	9.17	0.894	482.1	0.929	447.7	32235						
18	6.00	9.17	0.894	482.1	0.929	447.7	96704						
36	6.00	9.17	0.894	482.1	0.929	447.7	193408						
55	6.00	9.17	0.894	482.1	0.929	447.7	204153						
73	5.78	9.22	0.891	465.5	0.928	432.1	190042						
91	4.95	9.40	0.878	400.7	0.925	370.5	173362						
114	4.14	9.55	0.848	328.8	0.919	302.2	185655						
127	3.75	9.61	0.836	295.4	0.920	271.6	89515						
137	3.43	9.66	0.782	254.0	0.929	236.0	60917						
160	2.84	9.74	0.689	241.1	0.929	223.9	126926						
182	2.38	9.79	0.877	200.2	0.926	185.3	108028						
205	1.98	9.82	0.857	163.3	0.920	150.1	92591						
228	1.61	9.85	0.818	127.2	0.910	115.7	73370						
251	1.30	9.87	0.765	96.2	0.897	86.2	55726						
274	1.04	9.88	0.700	70.5	0.882	62.2	40976						
292	0.85	9.89	0.640	52.7	0.870	45.9	23355						
301	0.75	9.89	0.603	43.9	0.864	37.9	9046						
310	0.66	9.89	0.000	0.0	0.000	0.0	4090						
329	0.43	9.90	0.000	0.0	0.000	0.0	0						
347	0.18	9.90	0.000	0.0	0.000	0.0	0						
356	0.02	9.90	0.000	0.0	0.000	0.0	0						
362	0.00	9.90	0.000	0.0	0.000	0.0	0						
365	0.00	9.90	0.000	0.0	0.000	0.0	0						
Total annuel							1824569						

ANNEXE C**TABLEAUX FINANCIERS**

Evaluation économique Variante 1A

Hypothèses :	10,10
Châssis/moteur m	0,37
Châssis/moteur avec 6,0 m3/h	0,37
Type de turbine	hydro turbine
Nb de turbines	2
Prix de vente du kWh et	0,16 CHF

Année	2004
-------	------

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Production électrique (MWh/year)	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	

Production (kCHF)	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00
-------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Investissement (kCHF)	21	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Coût de l'achat	1820																																						
Electrondecharge	860																																						
Recouvrement	100																																						
Total investissement	2882																																						

Maintenance et assurance	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Revenue Capex Opex (kCHF)	-2700,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00

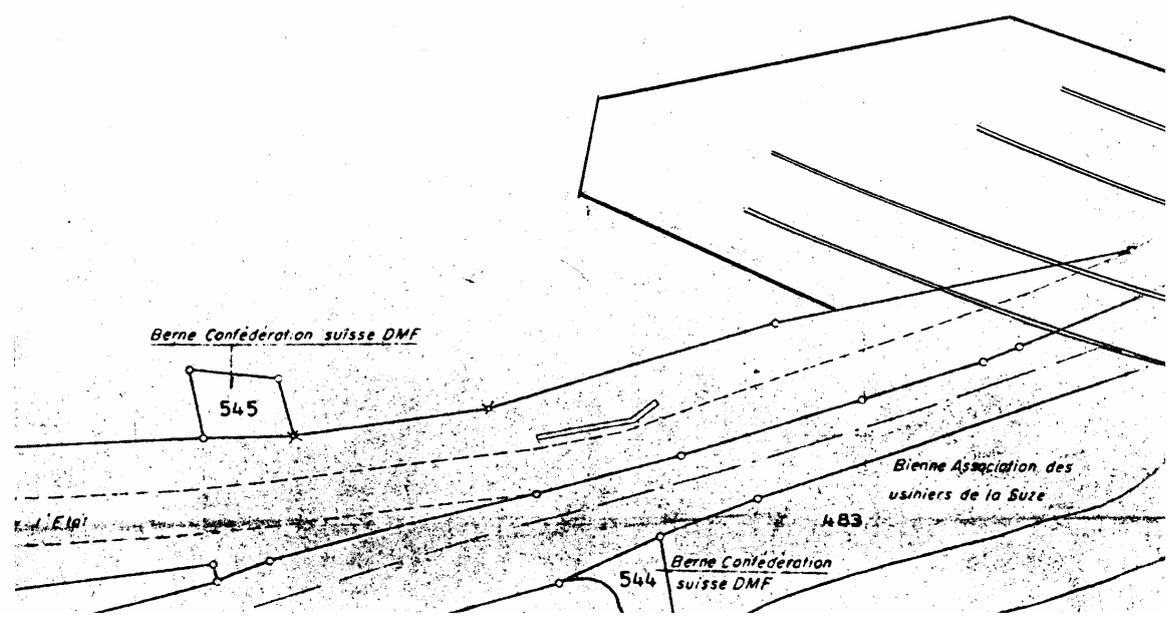
100 ans	8,7%
100 ans	5,4%
100 ans	12,00 ans
Taux d'actualisation	4,25%
VAN 0-10 ans	1741772
VAN 10-100 ans	4000000
VAN 0-100 ans	5741772
Donnée d'investissement (ans)	30
Coefficient d'annuité	0,07%
Annuité des (kCHF)	19534
Frais annuels	2000
Prix de revient au kWh en CHF	12,60
Revenu annuel (kCHF)	81,07

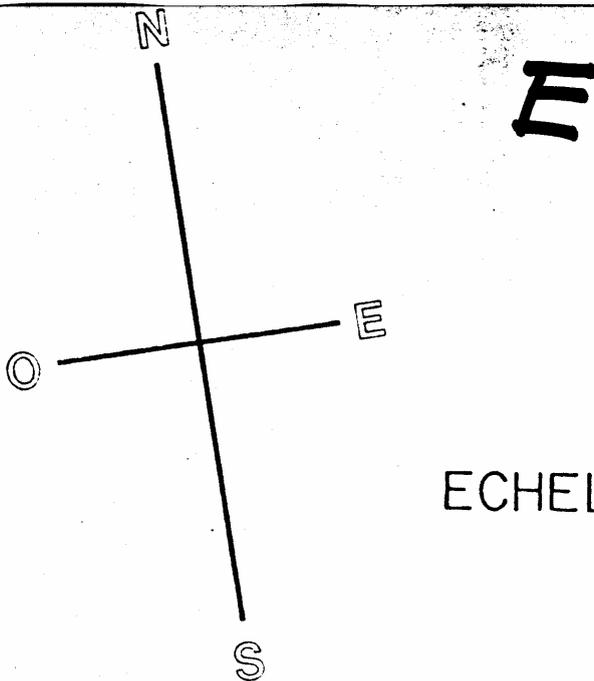
D

Côte de Chaux

476

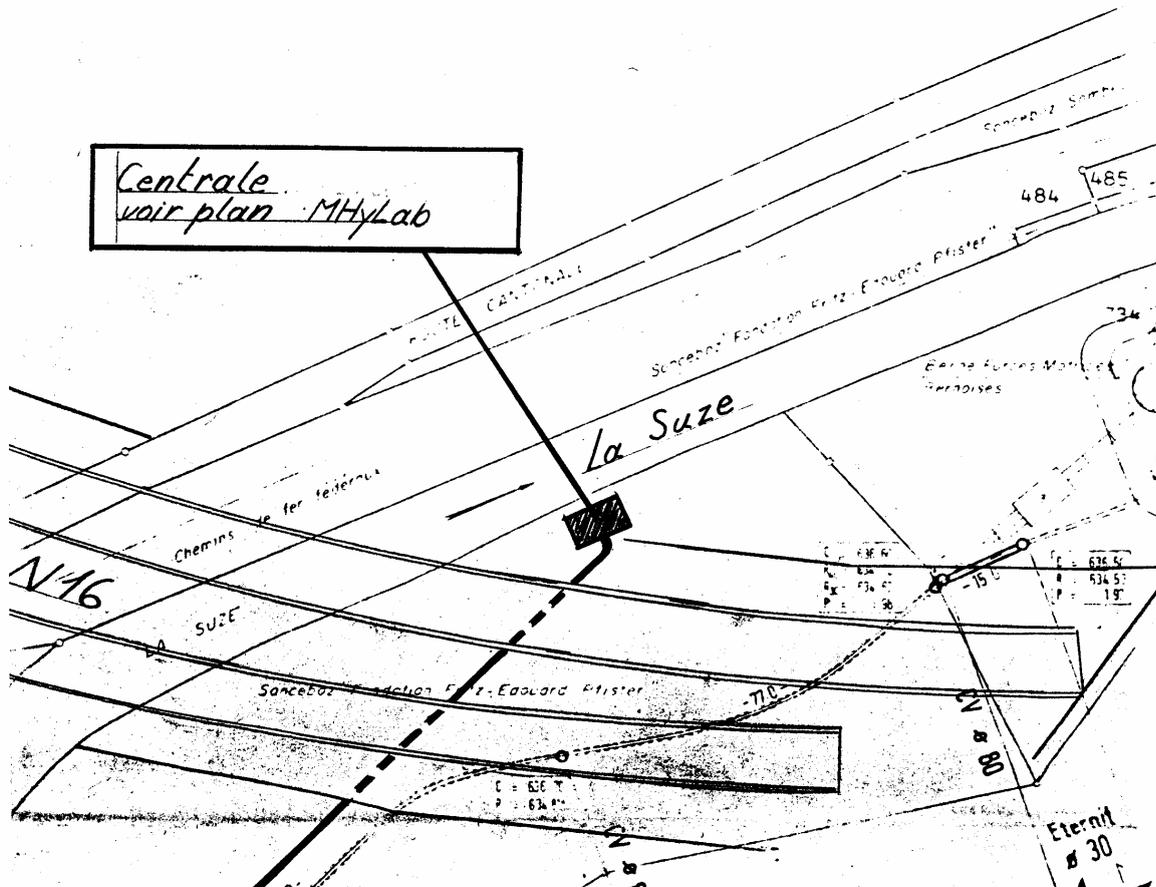
Sonceboz - Sombval la Bourgeoise





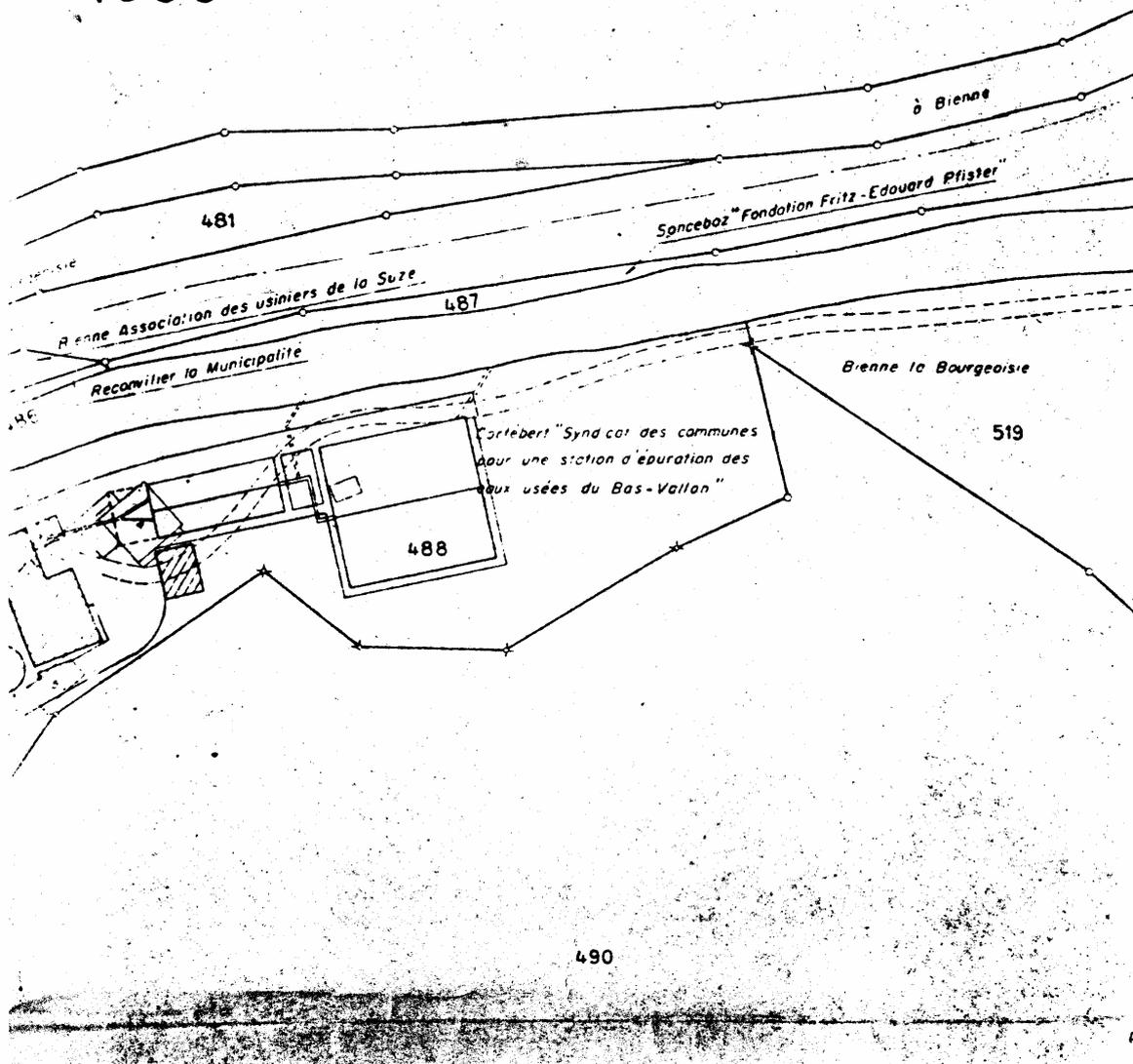
EHELL

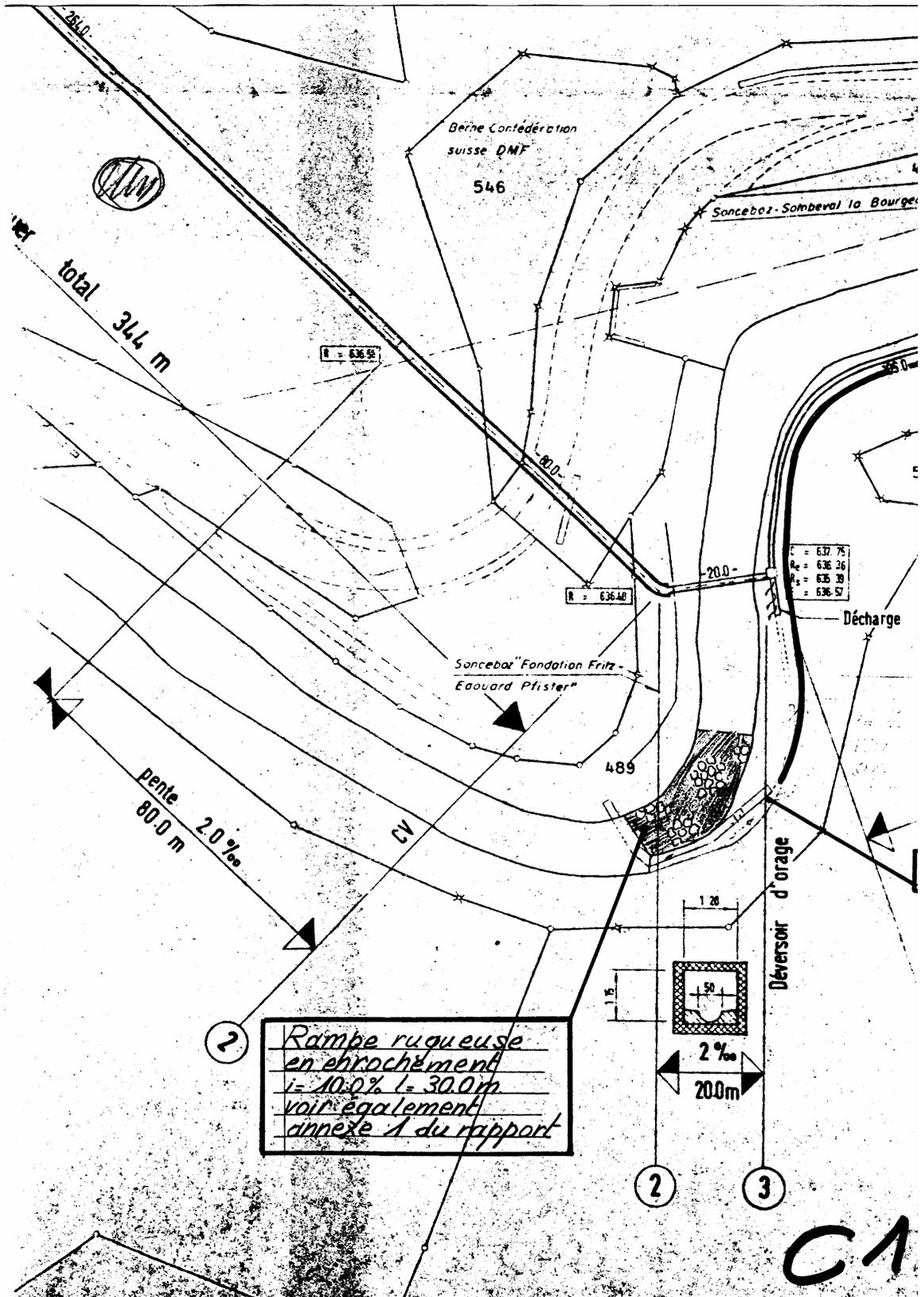
Centrale
voir plan MHylab

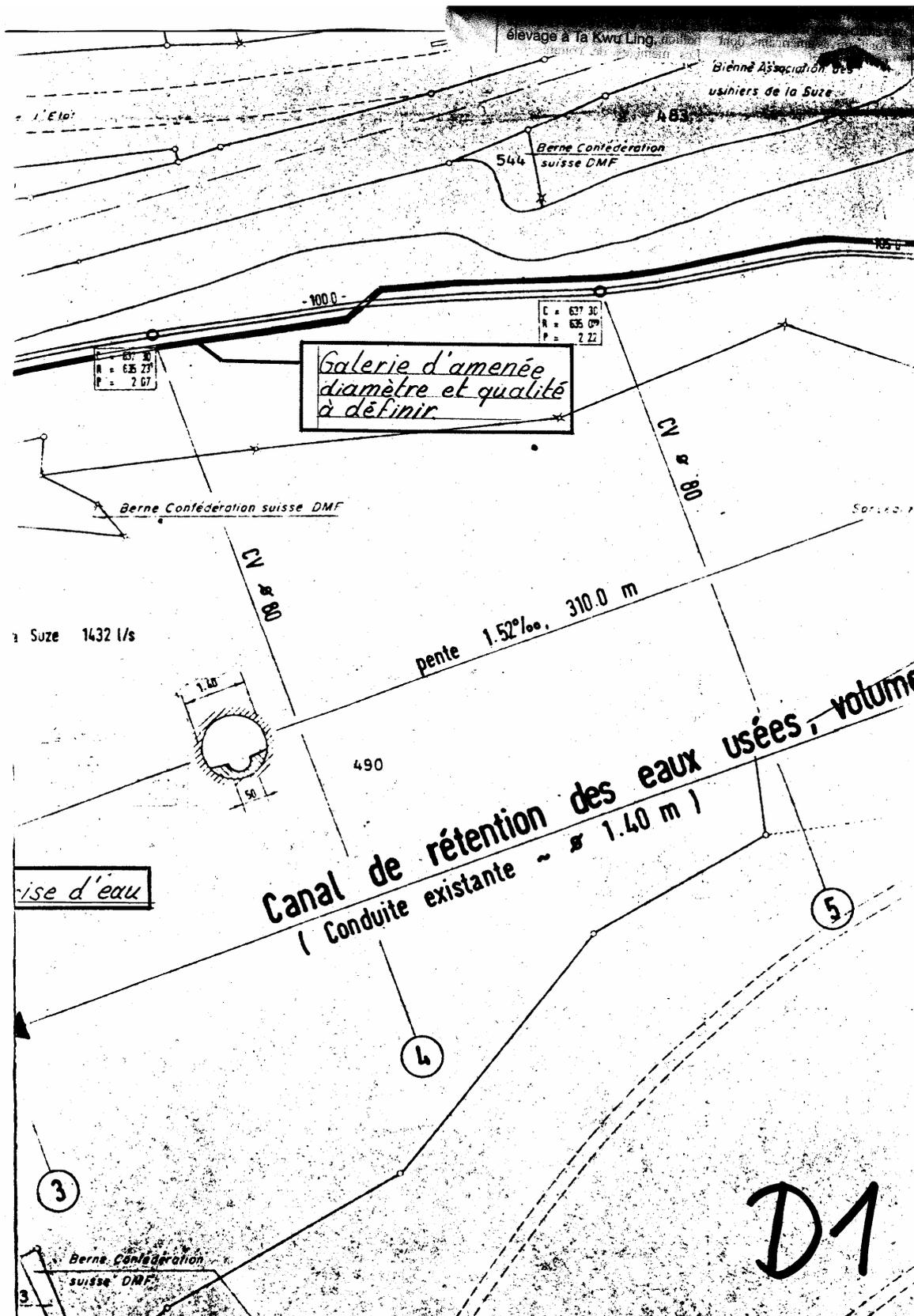


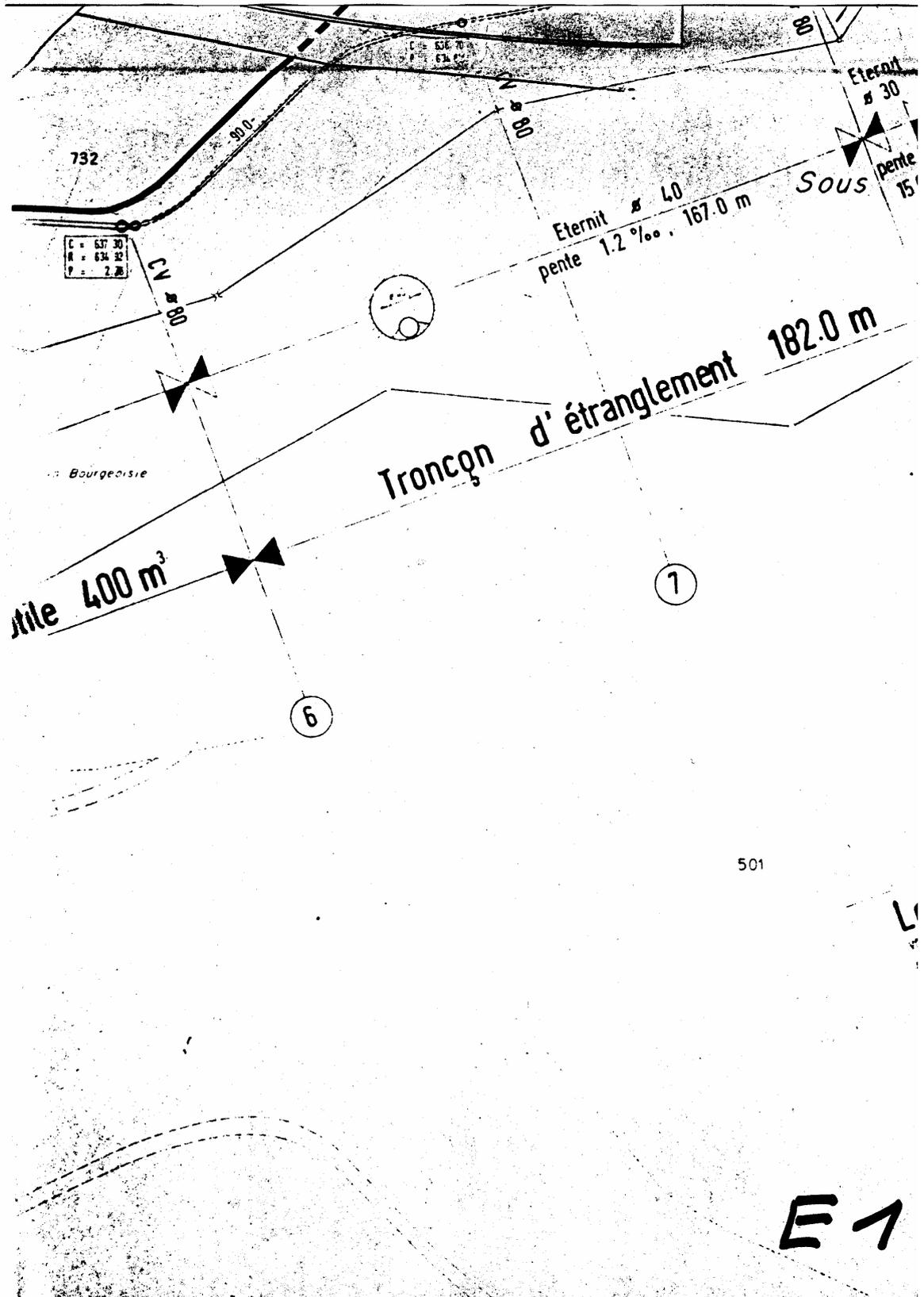
F

1:1000









C = 637.30
R = 634.32
P = 2.28

501

E1

les Roches

