



COURANT DOUBS

TURBINAGE DES EAUX ÉPURÉES DE LA VILLE DE LA CHAUX-DE-FONDS

Rapport technique

Auteur

Rüetschi Matthias, Naturelec SA co Planair SA

Crêt 108 a

2314 La Sagne

matthias.ruetschi@planair.ch

www.planair.ch



Date: 29 octobre 2008

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: 101261

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



Table des matières

0	Résumé	4
1	Introduction	5
2	Bases	6
2.1	elements existants, bases pour la planification.....	6
2.2	volume d'eau, hydrologie, courbe des débits classés.....	6
2.3	situation du droit d'eau, propriétés concernées	6
3	Caractéristiques techniques et options	7
3.1	description des elements de l'installation.....	7
3.2	analyse de la chute, debit nominal.....	8
3.3	choix techniques de l'equipement, modes d'exploitation, puissance installée	8
3.4	production annuelle moyenne attendue	10
4	Aspects environnementaux.....	12
4.1	protection de la nature et du paysage	12
4.2	crues.....	12
4.3	emissions sonores (bruit et vibrations).....	12
5	Coûts, recettes et rentabilité	12
5.1	estimation des coûts.....	12
5.2	capital, coûts de revient, recettes attendues de la production d'énergie, bénéfice annuels	13
6	Perspectives et recommandations	15
7	Conclusion	16



0 Résumé

L'exploitation énergétique des eaux usées de La Chaux-de-Fonds nécessite des aménagements complexes et variés, temps au niveau des travaux de génie civil que des équipements hydrauliques, c'est pourquoi, malgré quelques investigations sommaires, cette source d'énergie n'a pas été exploitée jusqu'ici. En effet, il est nécessaire de pomper les débits afin de franchir un sommet avant de mettre en charge les eaux épurées et exploiter l'énergie hydraulique. La réalisation d'une succession d'ouvrages est donc nécessaire outre l'installation du dispositif électromécanique de turbinage.

Les chiffres clés résultants de ce projet sont les suivants :

Puissance électrique nominale :	1532 kW	(sans tenir compte de la puissance pour le pompage ~ 400 kW)
Hauteur de chute nette :	380 m	(sans tenir compte du pompage préalable sur 65 m)
Production annuelle :	4'178'830 kWh/an	(énergie pompage déduite)
Prix de revient :	13.0 ct/kWh	

Le mode d'exploitation envisagé privilégie l'exploitation en période de pointe de consommation électrique grâce à l'aménagement d'un bassin de rétention. Ce prix de revient est significativement plus bas en comparaison avec les autres technologies permettant la production d'énergie renouvelable en Suisse. Les chances de réalisation sont excellentes, un distributeur d'énergie a déjà manifesté son intérêt pour le rachat du projet en vue d'une réalisation à court terme.



1 Introduction

A l'échelle internationale, la production d'énergie à partir de sources renouvelables représente un défi actuel majeur, en raison de la pénurie d'électricité annoncée dans les années à venir ainsi que de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, notamment dans la perspective du respect du protocole de Kyoto. En Suisse, l'Office fédéral de l'énergie encourage vivement l'éclosion de nouveaux projets produisant de l'énergie renouvelable, d'une part à travers des mécanismes d'encouragement (subvention pour les études préliminaires – présente étude) et d'autre part en garantissant le rachat du courant ainsi produit (rétribution à prix coûtant). A ce titre, la production d'électricité à partir de micro-centrales hydrauliques fait partie intégrante des priorités de la politique énergétique suisse.

Dans le canton de Neuchâtel, le relief du Jura offre quelques opportunités intéressantes en matière de turbinage des eaux malgré le contexte karstique. A ce titre, les eaux épurées provenant de la STEP (Station d'Epurations) de La Chaux-de-Fonds, inexploitées jusqu'ici, présentent des caractéristiques très favorables à une exploitation énergétique : ces eaux parviennent à la rivière du Doubs, avec un dénivelé d'environ 400 m et bénéficient d'un débit moyen considérable avec l'ensemble de la ville comme bassin versant – eaux claires et usées comprises.

La réalisation du projet de turbinage des eaux épurées de La Chaux-de-Fonds, présente néanmoins des complications en raison du cheminement de la conduite jusqu'à l'emplacement de la turbine sur les rives du Doubs : il est en effet nécessaire d'aménager un bassin de rétention d'eau, puis de surmonter une crête, soit de pomper l'eau sur 60 m de dénivelé jusqu'au sommet, puis, après le passage dans une chambre d'équilibre, d'acheminer l'eau dans la conduite forcée afin de valoriser énergétiquement la ressource.

Dans le but de réaliser ce projet, une démarche visant à déposer le permis de construire a été entreprise par Naturelec SA, consortium de plusieurs bureaux d'ingénieurs et entreprises régionales incluant Viteos SA (services industriels). La première étape consiste à présenter un avant-projet, détaillant les aspects techniques et les impacts sur l'environnement. Par ailleurs, les contacts auprès des propriétaires concernés par le tracé de la conduite sont également entrepris ainsi que l'information du projet auprès d'organisations environnementales.

Les bases pour la planification du projet ont été réparties de la manière suivante, entre les différents partenaires constituant Naturelec SA :

- Avant-projet pour les travaux de génie civil et estimation des coûts par le bureau d'ingénieurs RWB,
- Avant-projet pour les calculs et les équipements hydrauliques par le laboratoire MHyLab, spécialisé dans le domaine de la petite hydraulique,
- Notice d'impact sur l'environnement et information auprès des organisations environnementales par Planair SA, bureau d'ingénieurs en environnement et énergies renouvelables,
- Démarches auprès des propriétaires des terrains concernés par Claude-Alain Nissile, instigateur du projet.

Le présent rapport représente la synthèse des aspects techniques du projet de turbinage des eaux épurées de La Chaux-de-Fonds.



2 Bases

2.1 ELEMENTS EXISTANTS, BASES POUR LA PLANIFICATION

Le but de ce projet de turbinage est d'exploiter les eaux épurées sortant de la STEP existante de La Chaux-de-Fonds. Ces eaux s'infiltrent actuellement dans la roche karstique à la sortie de la STEP et resurgissent dans le Doubs, en plusieurs points.

2.2 VOLUME D'EAU, HYDROLOGIE, COURBE DES DÉBITS CLASSÉS

Les débits exploités dans ce projet sont basés sur les mesures réalisées à l'intérieur de la STEP. La courbe des débits classés résultante est présentée à la Figure 1, avec l'année de référence 2006. Le volume annuel d'eau épurée exploitable s'élève à 6'626'344 m³.

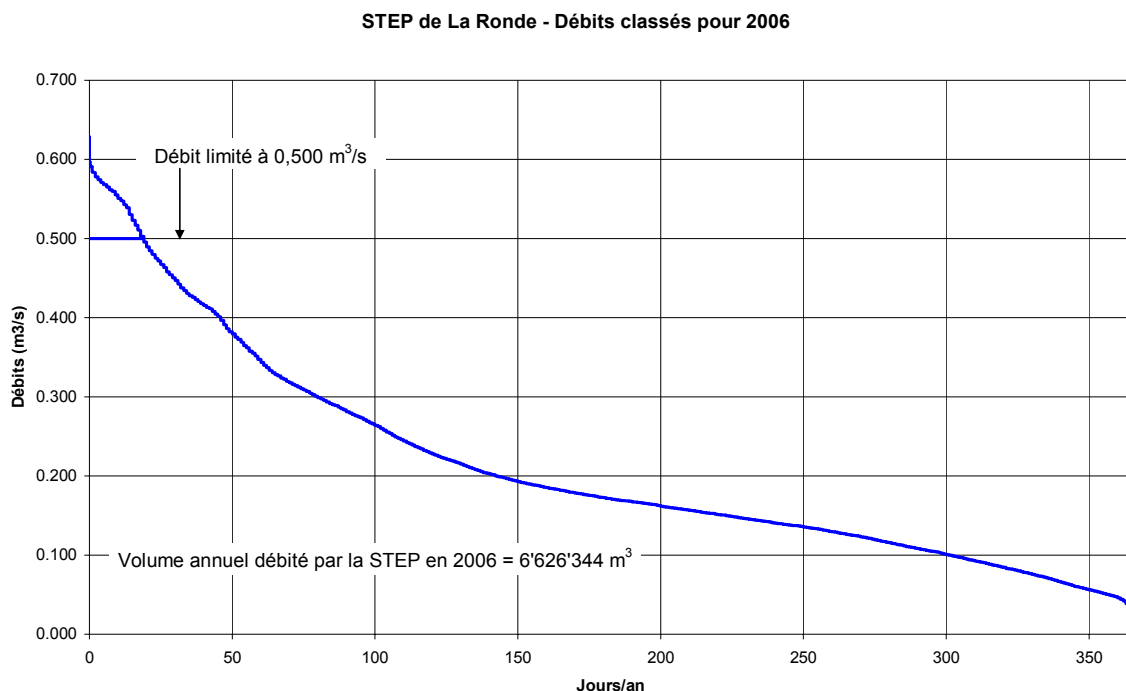


Figure 1 : courbe des débits classés, mesures à la sortie de la STEP de la Ronde, 2006

2.3 SITUATION DU DROIT D'EAU, PROPRIÉTÉS CONCERNÉES

Ce projet de turbinage ne concerne pas un cours d'eau, il n'y a donc pas de problématique concernant le droit d'eau.

Les cinq propriétaires des terrains concernés par le tracé de la conduite ont été informés du projet. Des contrats de servitude selon le modèle connu pour les conduites d'eau potable sont en cours de préparation. En effet, les terrains précités se trouvent tous dans la partie où l'eau est pompée jusqu'au sommet de la crête, avant la conduite forcée parvenant à la turbine, la pression ne dépasse donc pas 6.5 bar sur ce tronçon. Les dangers liés à une rupture de conduite sont donc exactement similaires à ceux engendrés par une rupture de conduite d'acheminement d'eau potable dans un réseau d'eau en Suisse, les pressions étant du même ordre de grandeur.

Concernant la partie entre la chambre de régulation et l'installation de turbinage, tous les terrains appartiennent au Canton de Neuchâtel et le projet a été déjà présenté à travers la remise de la première version de la notice de l'impact sur l'environnement en 2007.



Caractéristiques techniques et options

3.1 DESCRIPTION DES ELEMENTS DE L'INSTALLATION

La figure 1 présente le plan de situation du projet, se référer à l'Annexe A pour visualiser le profil en long.

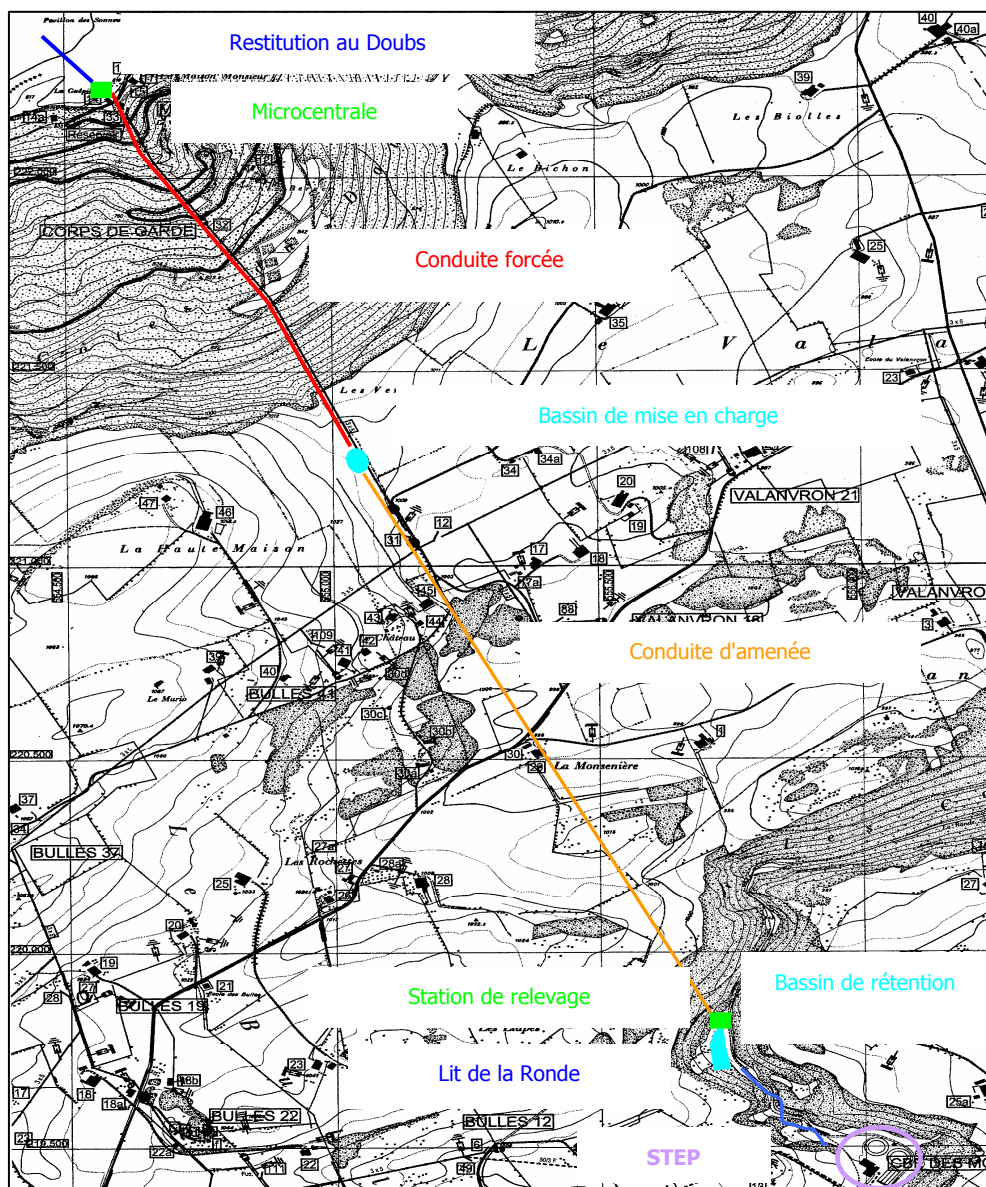


Figure 1: Plan de situation du projet

Description des divers éléments prévus dans le projet de turbinage (Figure 1) :

- l'aménagement d'un bassin de rétention, soit garantir l'étanchéité du bassin déjà existant pour un **volume de 8'000 m³**,
- une **conduite d'amenée de DN 600, longueur 1635 m**, située sur le plateau du Valanvron est enterrée à profondeur hors gel et n'entrave pas de manière significative l'utilisation des terres appartenant aux agriculteurs,
- au sommet de la crête, avant la mise en charge dans la conduite, un **bassin de réglage de 150 m³** pour la turbine est aménagé,



- une **conduite forcée DN 600, longueur 980 m**, descend de manière rectiligne sur les rives du Doubs. Son tracé emprunte la tranchée forestière utilisée pour le passage de la ligne électrique alimentant « Maison Monsieur ». Ce tracé présente le double avantage de ne pas nécessiter de travaux forestiers, et d'offrir la possibilité d'enterrer la ligne électrique afin de la rendre moins sensible aux pannes dues aux intempéries,
- au pied de la conduite forcée, **un local de 7x7x7.5 m³** en partie enterré est construit – béton à l'intérieur pour l'isolation phonique et revêtement extérieur en bois pour l'intégration dans le paysage – afin d'abriter les dispositifs électromécaniques de turbinage,
- l'évacuation de l'eau se fait par une **conduite souterraine, 42 m et conduite sous-marine, 40 m** qui arrive au milieu du Doubs afin de préserver la beauté du site d'une part et de favoriser la dilution des eaux épurées d'autre part.

3.2 ANALYSE DE LA CHUTE, DEBIT NOMINAL

L'analyse de la chute nette a été réalisée par le laboratoire MHyLab. Les résultats doivent ensuite tenir compte de l'énergie utilisée pour le pompage, afin d'observer la production nette d'énergie du projet (voir partie 3.4) :

- Chute brute : 393 m,
- Chute nette : 380 m,
- Débit nominal : 500 l/s

3.3 CHOIX TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT, MODES D'EXPLOITATION, PUISSANCE INSTALLÉE

Les chiffres en parenthèse font référence aux figures de l'annexe B, respectivement pour les installations de pompage et turbinage.

Groupe de pompage

- Pompe centrifuge principale à doubles ouïes (6), à axe de rotation horizontal, construite pour les caractéristiques principales suivantes :

➤ Débit nominal :	0.500	[m ³ /s]
➤ Hauteur de refoulement nominale nette au débit nominal :	65.0	[m]
➤ Hauteur de refoulement maximale :	68.0	[m]
➤ Hauteur de refoulement minimale :	62.0	[m]
➤ Vitesse de rotation asynchrone :	1'488	[t/min]
➤ Diamètre de la tubulure d'entrée (aspiration) :	0.400	[m]
➤ Diamètre de la tubulure de sortie (refoulement) :	0.350	[m]
➤ Puissance électrique nominale absorbée :	397	[kW]
➤ Puissance maximale du moteur :	500	[kW]
➤ Tension de service :	400	[V]
➤ Démarrage : étoile/triangle.		



Turbogénérateur

- Turbine Pelton (22) à deux injecteurs, à axe de rotation vertical, roue motrice en porte-à-faux en bout d'arbre de l'alternateur, construite pour les caractéristiques suivantes :
 - Débit nominal : 0.500 [m³/s]
 - Hauteur de chute nette nominale au débit nominal : 380.0 [m]
 - Vitesse de rotation synchrone : 1'000 [t/min]
 - Vitesse d'emballement : 1'815 [t/min]
 - Nombre d'injecteurs : 2 [-]
 - Diamètre Pelton : 0.782 [m]
 - Diamètre du cuvelage : 2.380 [m]
 - Accélération de la pesanteur : 9.804 [N/kg]
 - Puissance mécanique : 1'680 [kW]
 - Puissance électrique à la sortie du transformateur : 1'532 [kW]
 - Alternateur synchrone, tension nominale : 400 V.
 - Transformateur à déterminer en fonction de la valeur de la tension au point de raccordement.
 - Canal de fuite (23).

Procédures d'exploitation

- Remplissage de la conduite

Il s'effectue au moyen de la pompe auxiliaire. On prendra soin de fermer la vanne à guillotine de révision de la turbine et de purger soigneusement la conduite de turbinage par la vanne de vidange, singulièrement pour le premier remplissage, afin d'éliminer les résidus du montage.
- Démarrage de l'installation et prise de la charge

En principe, sauf intervention humaine, le démarrage est enclenché uniquement lorsque le niveau maximal dans le bassin de stockage est atteint, hors de tout programme horaire, mais au plus tard à 11h30. Cette circonstance apparaît lorsque le débit de la STEP est le plus faible.
- Arrêt normal

Simultanément : le moteur de la pompe principale est déclenché, la vanne automatique (8) ferme très rapidement, avant l'inversion du débit, les déflecteurs dévient instantanément les jets de la turbine, le disjoncteur de l'alternateur ouvre, les pointeaux amorcent leur fermeture.

La fin de fermeture des pointeaux commande la fermeture de la vanne (21). Lorsque celle-ci est fermée, les pointeaux ouvrent de quelques mm.
- Arrêt d'urgence : les disjoncteurs du moteur de la pompe principale et de l'alternateur ouvrent.

Simultanément : la vanne automatique (8) ferme, les déflecteurs dévient les jets de la turbine, les pointeaux, commandés par le courant continu sécurisé, amorcent leur fermeture. La suite se déroule comme pour l'arrêt normal. À la fin du processus, l'installation est prête à redémarrer automatiquement.
- Régime permanent

Le régime du pompage est asservi aux niveaux d'eau dans le bassin de stockage et à un programme horaire associé aux heures de forte consommation électrique du réseau.

L'ouverture de la turbine est commandée par le système de contrôle de niveau de la chambre de régulation, le niveau de consigne étant à la cote moyenne de 1'013.50 m.



3.4 PRODUCTION ANNUELLE MOYENNE ATTENDUE

La consommation liée au pompage a été déduite – un quart de l'énergie turbinée est ainsi perdue – on obtient une production nette pour l'ensemble du projet de :

- 4'178'830 kWh/an

Cette production correspond à une énergie essentiellement produite durant les périodes de pointe de consommation d'électricité. Le détail du calcul est présenté ci-dessous :

La production électrique nette E_N résulte de l'expression suivante :

$$E_N = E_T - E_P \quad [\text{kWh/an}]$$

avec E_t = énergie produite par le turbinage [kWh/an]

et E_p = énergie consommée par le pompage [kWh/an]

$$E_t = 10^{-3} \cdot \rho \cdot V \cdot g \cdot H_t \cdot \eta_t \cdot \eta_a \cdot \eta_{tr} \quad [\text{kJ/an}]$$

avec ρ = masse volumique de l'eau = 1'000 [kg/m³]

V = volume annuel débité par la STEP (voir ici-bas et Figure 4) [m³/an]

g = accélération de la pesanteur = 9.804 [N/kg]

H_t = hauteur de chute nette nominale = 380.0 [m]

η_t = rendement de la turbine = 0.902 [-]

η_a = rendement de l'alternateur = 0.940 [-]

η_{tr} = rendement du transformateur = 0.970 [-]

donc $E_t = 10^{-3} \cdot 1'000 \cdot 9,804 \cdot 380,0 \cdot 0,902 \cdot 0,940 \cdot 0,970 \cdot V = 3'064.0 \cdot V$ [kJ/an]

D'autre part :

$$E_p = \frac{10^{-3} \cdot \rho \cdot V \cdot g \cdot H_p}{\eta_p \cdot \eta_m} \quad [\text{J/an}]$$

avec ρ = masse volumique de l'eau = 999.6 [kg/m³]

V = volume annuel débité par la STEP (voir plus loin) [m³/an]

g = accélération de la pesanteur = 9.804 [N/kg]

H_p = hauteur de refoulement nominale = 65.0 [m]

η_p = rendement de la pompe = 0.863 [-]

η_m = rendement du moteur de la pompe = 0.930 [-]

donc $E_p = \frac{10^{-3} \cdot 999,6 \cdot V \cdot 9,804 \cdot 65,0}{0,863 \cdot 0,930} = 793.7 \cdot V$ [kJ/an]

d'où $E_N = 3'064.0 \cdot V - 793.7 \cdot V = 2'270.3 \cdot V$ [kJ/an]

Le volume annuel V débité est déterminé à partir de la courbe des débits classés de la STEP éta-



blie selon les relevés horaires durant l'année 2006 (année de référence).

L'intégration de cette courbe donne le volume annuel (voir page suivante).

On trouve $V = 6'626'344$ [m³/an]

Donc $E_N = 2'270.3 \cdot 6'626'344 = 15'043'789$ [kJ/an]

Exprimée en kWh/an ce résultat s'écrit (1 kWh = 3'600 kJ) :

$$E_N = \frac{15'043'789}{3'600} = 4'178'830 \quad \text{[kWh]}$$



4 Aspects environnementaux

La partie concernant le débit résiduel est sans objet dans le cas précis car l'ouvrage n'est pas situé directement sur un cours d'eau.

4.1 PROTECTION DE LA NATURE ET DU PAYSAGE

L'aspect environnemental premier à considérer pour le projet de La Ronde réside dans le fait que l'eau épurée est directement remise au Doubs, alors qu'actuellement, ces eaux cheminent à travers un passage souterrain dans la roche. De fait, l'eau, en transitant dans le sol, subit un traitement naturel. Cependant, le contexte karstique de la région n'engendre pas les filtrations rencontrées habituellement dans les sols et autres roches car les cavités sont trop grandes. Cette thématique a été approfondie par le service de l'hygiène et de l'environnement du canton de Neuchâtel en 2007, les analyses aboutissant aux conclusions suivantes : le traitement opéré dans la STEP, notamment avec les récentes installations de traitement pour la nitrification et la dénitrification permettent d'obtenir d'excellents résultats au niveau de l'abattement de la pollution, ainsi le seuil de pollution des eaux épurées est considéré comme incompressible.

Une notice d'impact sur l'environnement a été remise aux autorités neuchâteloises en février 07. Un préavis a ensuite été communiqué le 1^{er} juin 2007 par le département de la gestion du territoire du canton de Neuchâtel. Ce préavis intègre les éléments à améliorer dans le projet afin de minimiser les impacts environnementaux. La notice d'impact sur l'environnement est actuellement en cours de finalisation, est sera remise début décembre 2008, selon la planification présentée au chapitre 6.

Afin de minimiser les impacts paysagers, les deux mesures suivantes sont prévues :

- toutes les conduites du projet sont enterrées,
- la station de pompage sera immergée au niveau du bassin de rétention, les impacts visuels du projet sont donc quasi nuls,
- le local en béton abritant la turbine est revêtu de bois.

4.2 CRUES

Le turbinage n'est pas effectué sur un cours d'eau, ainsi la problématique des crues ne concerne pas directement ce projet. En cas de crue, le déversoir d'orage à l'entrée de la STEP permet de canaliser le surplus d'eau dans un by-pass et l'eau en excès est déversée et s'infiltre dans la roche, à l'aval de la STEP.

4.3 EMISSIONS SONORES (BRUIT ET VIBRATIONS)

La problématique du bruit compose les autres points du projet potentiellement dommageables au niveau environnemental. Concernant le bruit, une insonorisation du local abritant la turbine est prévue au moyen d'une paroi en béton afin de garantir l'isolation phonique requise en zone de forêt.

5 Coûts, recettes et rentabilité

5.1 ESTIMATION DES COÛTS

Les coûts pour les positions relatives aux travaux de génie civil ont été formulés par RWB. Ils sont répartis de la façon suivante :

• Total conduites :	3'251'750.- CHF
• Total locaux :	422'000.- CHF
• Bassin rétention :	806'800.- CHF
• Installation chantier et imprévus :	537'666.- CHF
• Frais d'ingénierie :	602'186.- CHF
• TVA :	427'151.- CHF

Coût **total** des travaux de génie civil :

6'047'552.- CHF



Les coûts relatifs aux équipements hydrauliques, estimés par MHyLab sont récapitulés comme suit :

• Groupes de pompage :	158'000.- CHF
• Vannes:	121'300.- CHF
• Turbogénérateur :	1'350'000.- CHF
• Tuyauteries :	30'000.- CHF
• Armoires électriques et tableaux de commande :	135'000.- CHF
• Transformateur :	105'000.- CHF
Coût total (estimation) des équipements électromécaniques :	1'899'300,- CHF
Avec les frais d'ingénierie (12%), on obtient le total suivant :	2'100'000.- CHF

Le coût total d'investissement s'élève à : 8'147'552.- CHF

Les coûts d'exploitation annuels, incluant l'entretien des installations, sont estimés à 50'000 CHF.

5.2 CAPITAL, COÛTS DE REVIENT, RECETTES ATTENDUES DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE, BÉNÉFICE ANNUELS

Selon l'ordonnance sur l'énergie, la rémunération de l'énergie produite par l'installation de ce projet s'élève à **14.5 cts/kWh** (en tenant compte de la déduction de la puissance pour le pompage).

Les autres composantes permettant l'appréciation économique du projet de La Ronde sont synthétisés dans le Tableau 1. L'énergie produite annuellement qui figure dans ce tableau est déjà déduite de l'énergie utilisée pour le pompage.

Les hypothèses financières qui ont été prises en considération sont les suivantes :

- taux d'intérêt fixé à 4.5%,
- la totalité des emprunts de l'investissement provient soit d'un emprunt bancaire, soit de capitaux propres rémunérés au même taux,
- Au niveau du calcul de l'annuité, les investissements dans les différents domaines sont amortis de la façon suivante :
 - 40 ans pour le génie civil,
 - 25 ans pour l'électromécanique,
 - 10 ans pour le système de contrôle commande.



Energie produite annuelle	4'178'830	kWh
Coût génie civil	6'047'552	CHF
Coût équipement hydraulique	1'965'000	CHF
Coût système contrôle commande	135'000	CHF
Total investissement	8'147'552	CHF
Charges financières, annuité	493'779	CHF/an
Charges d'exploitation et maintenance	50'000	CHF/an
Prix de revient	13.0	cts/kWh
Rémunération selon l'Ordonnance sur l'énergie	14.50	cts/kWh
Recettes annuelles	605'930	CHF/an
Marge annuelle	62'151	CHF/an

Tableau 1 : Récapitulatif de l'investissement, des charges et du prix de revient du projet de turbinage

Les travaux de génie civil constituent 74% du coût total du projet. Cette proportion, supérieure en comparaison avec les microcentrales installées actuellement en Suisse, s'explique par la conduite d'amenée particulièrement longue.



6 Perspectives et recommandations

Le projet est à présent suffisamment avancé, des points de vue techniques et organisationnels. Plusieurs étapes cruciales restent cependant à franchir afin de garantir une réalisation à court terme.

Les éléments représentés dans la Figure 2 définissent les prochaines échéances pour le déroulement du projet dans la perspective d'une réalisation à court terme.

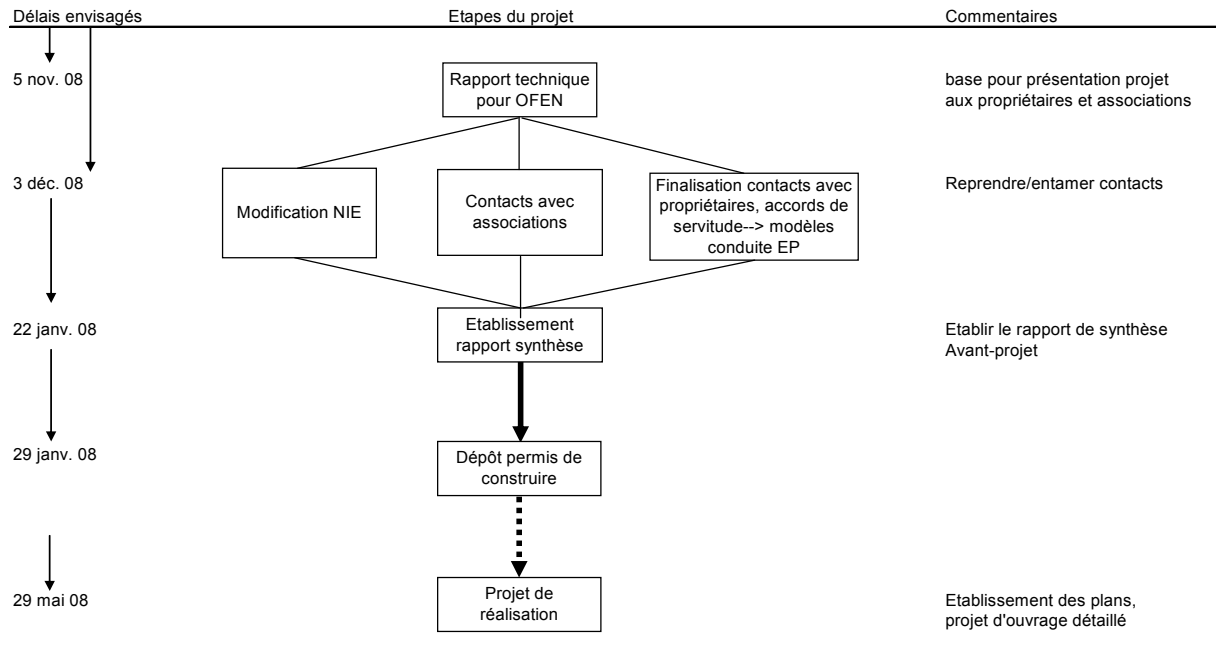


Figure 2 : Etapes futures du projet et délais envisagés

Les priorités reportées sur la Figure 2, après la diffusion du rapport technique, sont donc les suivantes:

- Finaliser les contacts avec les propriétaires des terrains sur lesquels la canalisation sera enterrée et consolider les accords des propriétaires par des pré-accords de servitude,
- Finaliser la notice d'impact sur l'environnement : modifier les éléments en fonction des remarques des autorités compétentes,
- Contacter les associations environnementales afin d'expliquer le projet en spécifiant les impacts sur l'environnement attendus.

Les chances de réalisation du projet sont excellentes : un potentiel distributeur d'énergie s'est annoncé pour acheter le projet dans la perspective d'une exécution à court terme. Néanmoins, les étapes précitées doivent impérativement être franchies avec succès.

Il est cependant indispensable de réviser, lors du projet de réalisation, l'ensemble des coûts et investissements afin d'optimiser les installations et de minimiser les coûts d'investissement.



7 Conclusion

L'exploitation énergétique des eaux épurées de La Chaux-de-Fonds nécessite des aménagements complexes et variés, tant au niveau des travaux de génie civil que des équipements hydrauliques, c'est pourquoi, malgré quelques investigations sommaires, cette source d'énergie n'a pas été exploitée jusqu'ici. Les conditions actuelles – pénurie annoncée dans l'approvisionnement de l'électricité, hausse du prix de l'énergie en général et impératifs environnementaux – favorisent désormais l'accomplissement de nouvelles installations de production d'énergie renouvelable.

Le projet envisagé ici produirait plus de 4 GWh d'électricité par an, avec l'avantage de desservir cette énergie durant les heures de forte consommation.

Le prix de revient, estimé à 13 cts/kWh est relativement bas en comparaison avec les prix de revient des autres technologies permettant de produire de l'énergie renouvelable en Suisse.



Annexes B : Figures installations techniques de pompage et turbinage

