

Les éléments nécessaires pour la gestion d'un projet de microcentrale hydroélectrique Etude de cas d'une PCH en Grèce

Dimitrios A. Géorgakéllos

Université du Pirée, 80 rue Karaoli et Dimitriou, 185 34 Le Pirée, Grèce

(reçu le 04/12/05 ; accepté le 07/02/06)

Résumé - Ce travail présente les éléments nécessaires pour la gestion d'un projet de microcentrale hydroélectrique. Actuellement, l'hydroélectricité représente la première source mondiale de production d'énergie renouvelable. Toutefois, des grandes et nouvelles stations hydroélectriques ne vont plus être construites que très rarement. Mais il y a un potentiel considérable pour les micro hydroélectriques. Par conséquent, son développement actuel et futur est essentiellement basé sur les Petites Centrales Hydrauliques (PCH). Dans ce cadre, le but de ce travail est de renfermer les éléments nécessaires pour aborder un projet de microcentrale hydroélectrique en présentant l'information fondamentale sur une PCH typique grecque. Selon la présentation ci-dessous, ces éléments sont le potentiel exploitable qui se détermine par les valeurs du débit et de la chute, les ouvrages de génie civil (ce sont le barrage et les ouvrages des dérivations), le choix de matériel (ce sont surtout la turbine et le générateur) qui est très important car il doit permettre d'utiliser au maximum le potentiel exploitable et les conditions techniques du raccordement au réseau national.

Abstract - The present paper is about the necessary elements for the management of Small Hydro-Electric (Petites Centrales Hydrauliques - PCH) projects. Hydro-electric systems, in general, are a mature technology, since the exploitation of hydrodynamic energy has been competitive for many years. On the other hand, the potential available from small hydro-electric projects remains significant, since only a small part of the economically exploitable potential has already been used. In this context, the aim of the present paper is to investigate the main elements that determine the possibility for the exploitation of a PCH. This is being achieved through the presentation of these elements of a real case concerning a Small Hydro-Electric project in Greece. In this presentation, elements like the exploitable potential of a site, the required civil works (dam etc.), the necessary electrical engineering equipment (turbine, generator etc.), the connection with the national network etc. are included.

Mots clés: Microcentrales hydroélectrique - Petites centrales hydrauliques - Gestion du projet - Grèce.

1. INTRODUCTION

Produire de l'énergie, c'est puisé dans les ressources naturelles de la Terre. Cependant, toutes les énergies ne sont pas égales vis-à-vis de l'impact sur l'environnement. Non seulement cet impact a un coût économique souvent négligé mais il provoque surtout des déséquilibres de l'écosystème dont l'espèce humaine paiera un jour les conséquences [1]. Par exemple, les analyses climatiques mettent en évidence la corrélation existant entre la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et les températures moyennes enregistrées au cours des âges. Le recours aux combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) induit une présence accrue du CO₂ dans l'atmosphère qui, par renforcement de l'effet de serre, peut entraîner à plus ou moins long terme, de graves désordres climatiques. Ainsi beaucoup d'experts estiment que si aucune précaution n'est prise, l'augmentation de la température pourrait atteindre de 2 à 5 °C d'ici à 50 ans. Les conséquences prévisibles sont inquiétantes: sécheresse entraînant une modification de la végétation et pouvant conduire à la désertification de certaines zones, fonte des glaciers et rehaussement du niveau des mers de 10 à 60 cm, entraînant l'immersion de régions côtières habitées [2, 3]. C'est pourquoi, les quinze pays de l'Union Européenne ont récemment ratifié le protocole de Kyoto, destiné à lutter contre le réchauffement climatique. Signé à Kyoto (Japon) en 1997, ce texte demande aux pays industrialisés de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 5 % en moyenne pendant la période 2008-2012 [4, 5]. Par exemple: Etats-Unis -7 %, Japon -6 % et Union Européenne -8 % [6].

Dans ce cadre, le *développement durable* apparaît aujourd'hui comme étant une nécessité. Ce type de développement économique prend en compte la protection de notre environnement au niveau local et mondial, et notamment la préservation des ressources naturelles à long terme. De nombreux travaux tentent aujourd'hui d'inclure dans le coût de production de l'énergie, les coûts de son impact sur l'environnement et de la prévention des risques technologiques. Cette approche novatrice met en évidence les limites et dangers de la production énergétique traditionnelle [7, 8] :

- pollution par des oxydes de soufre et d'azote responsables du phénomène des pluies acides;
- renforcement de l'effet de serre lié à l'utilisation intensive des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel);
- risques technologiques, durée et coût de la gestion des déchets de l'industrie nucléaire [9].

Dans ces conditions, *choisir d'utiliser préférentiellement les énergies renouvelables, c'est assurer un développement économique durable et harmonieux* [10].

Les énergies renouvelables utilisent des flux d'énergies d'origine naturelle (soleil, vent, eau, croissance végétale, géothermie etc.). Elles constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres: elles sont inépuisables, elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux et elles préservent l'environnement car elles n'émettent pas de gaz à effet de serre, ne produisent pas de déchets et n'entraînent ni risques majeurs, ni nuisances locales significatives [11, 12]. L'hydro-électricité, première des énergies renouvelables, a un rôle majeur à jouer dans la sauvegarde de notre environnement. L'énergie hydraulique utilise l'énergie des cours d'eau ou des chutes pour transformer la force motrice de l'eau en électricité. L'eau, par son poids et sa vitesse, met en action une turbine et transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique. La turbine entraîne à son tour une génératrice qui transforme l'énergie mécanique en électricité [13, 14]. Aujourd'hui, l'hydroélectricité représente la première source mondiale de production d'énergie renouvelable. Dans les pays européens, elle couvre plus de 30 % des besoins nationaux en électricité. Toutefois, de grandes et nouvelles stations hydroélectriques ne vont plus être construites que très rarement, 'du fait de l'endiguement des rivières et des lois relatives à l'environnement'. Mais il y a un potentiel considérable pour les micro hydroélectriques [15, 16]. Par conséquent, son développement actuel et futur est essentiellement basé sur les *Petites Centrales Hydrauliques* (PCH) [17]. Le présent travail comprend les éléments nécessaires pour aborder un projet de microcentrale hydroélectrique en présentant l'information fondamentale sur une PCH typique grecque.

2. MICRO-HYDROELECTRICITE

Il n'y a pas de consensus sur la définition de petit aménagement hydroélectrique, mais ici on considérera comme "petit", quand la puissance installée sera égale ou inférieure à 10 MW. Ce chiffre a été adopté pour la Grèce et la plupart des pays de l'Union européenne, pour la Commission elle-même, pour l'ESHA (Association européenne de la Petite Hydraulique) et pour l'UNPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Electricité). Tout aménagement hydroélectrique a pour objet la génération d'énergie électrique à partir de l'énergie potentielle d'une masse d'eau, coulant dans une rivière avec une certaine chute. La puissance de l'aménagement est proportionnelle au débit et à la chute [18].

Les PCH peuvent être un formidable outil de développement local et durable. Quelques points de repères sont les suivants [19, 20] :

- La petite hydroélectricité est la première des énergies renouvelables, historiquement et quantitativement.
- La petite hydroélectricité est une production d'électricité propre (ni déchets en rivière, ni pollution de l'air).
- La production d'électricité annuelle d'une centrale hydroélectrique d'une puissance de 1MW permet d'alimenter 630 foyers toute l'année.
- Cette production permet également d'éviter l'émission de 2500 tonnes de CO₂ par an dans l'atmosphère.
- Très fréquemment, la petite hydroélectricité ne stocke pas l'eau, grâce au turbinage au fil de l'eau.
- Les centrales hydroélectriques ne sont pas un obstacle pour les poissons migrateurs: elles sont équipées d'ouvrages de franchissement adaptés (échelles à poissons, passes à dévalaison).
- Les centrales hydroélectriques sont tenues de délivrer toute l'année un débit réservé, garant de la vie piscicole.
- Les centrales hydroélectriques génèrent des ressources aux communes sur lesquelles elles sont situées, par le biais des différentes redevances et taxes, ainsi qu'aux autres collectivités locales.
- Pour de nombreuses communes ou industries elles constituent une source d'énergie d'appoint économiquement avantageuse.
- Leur construction, rénovation et entretien représentent un potentiel de travail pour les entreprises locales.
- Elles constituent une alternative avantageuse aux longues lignes électriques pour l'électrification des sites isolés.
- Elles tirent parti de l'énergie hydraulique en nuisant faiblement à l'environnement (maintien d'un débit réservé, passe à poissons, intégration paysagère).
- De par leur petite taille et leur simplicité, elles ont une fonction didactique car elles permettent à nombre de visiteurs de prendre conscience des problèmes pratiques de production de l'énergie.

Les aménagements peuvent être du type (a) au fil de l'eau, et (b) avec réservoir. Très fréquemment les petits aménagements hydroélectriques sont du type au fil de l'eau, c'est-à-dire qu'ils ne comportent pas de réservoir de stockage. L'aménagement produit de l'électricité tant que le cours d'eau apporte un débit supérieur au minimum

technique de la turbine et cesse de produire si le débit est inférieur à ce minimum. En général tous les aménagements de montagne sont au fil de l'eau. La rivière est barrée par un petit barrage ou seuil. D'une hauteur suffisante pour permettre le captage de débits. Les ouvrages d'amenée conduisent ces débits jusqu'à l'usine; ils comportent une prise d'eau située à l'amont du seuil, suivi s'il y a lieu, d'un canal d'amenée à l'air libre, ou d'une galerie d'amenée, l'un comme l'autre à faible pente. Ils se terminent par une conduite forcée. A la sortie de l'usine l'eau turbinée est restituée à la rivière par le canal de fuite. Quand le terrain l'impose ou le permet, la conduite forcée peut partir directement du barrage. Les aménagements au fil de l'eau peuvent être classifiés par la hauteur de chute : (1) Aménagements de haute chute de 150 m à 1000 m, avec des turbines Pelton accouplées directement à des alternateurs rapides, (2) Aménagements de moyenne chute de 20 m à 300 m, équipées prioritairement avec des turbines Francis à axe horizontal ou vertical, et roue simple ou double, (3) Aménagements de basse chute de 6 m à 30 m équipées avec des turbines Kaplan, généralement en conduit, dites du type S, (4) Aménagements de très basse chute de 2 m à 12 m, équipées avec des turbines Kaplan. Les aménagements avec réservoir permettent de turbiner à certains périodes un débit plus important que celle de la rivière en le vidant partiellement. Un petit aménagement hydroélectrique est très rarement compatible avec de grands réservoirs en raison du coût élevé des barrages et de leurs ouvrages annexes. On trouve cependant des centrales installées sur des barrages à buts multiples [21].

On estime qu'à la fin de l'année 1999, la capacité des petites centrales hydrauliques (PCH) installées dans l'Union Européenne s'élevait à 9.755 MW (Tableau 1). Depuis le début des années 90, ce total évolue très peu en raison de la saturation des gisements et des nombreuses contraintes (notamment environnementales) que rencontrent les exploitants. Si on projette le taux moyen de croissance des installations PCH observé ces dernières années à l'horizon 2010 (Fig. 1), on obtient des capacités installées en deçà des niveaux qu'ambitionne la Commission Européenne (10.900 MW contre 14.000 MW attendus). La sonnette d'alarme doit donc être tirée, car aucun changement majeur de tendance ne s'annonce au niveau de l'Union européenne et les projets les plus importants sont annoncés dans les pays d'Europe de l'Est ou ceux en voie de développement [22, 23].

La micro-hydroélectricité est relativement peu développée en Grèce. En particulier, l'industrie de la petite (micro et mini) hydraulique c'était en Grèce pour l'année 2000 [24, 25, 26] :

1. 30 unités exploitées par la société d'électricité de Grèce (Public Power Corporation – PPC) ainsi que par des producteurs indépendants.
2. 272,42 MW installés.
3. Une production de 165,9 GWh, soit :
 - a. 0,4 % de la production électrique nationale et
 - b. 4,7 % de la production électrique hydraulique.

Tableau 1: Capacité PCH installée dans l'Union Européenne (en MW)

Pays	1997	1999
Italie	2.186,0	2.190,0
France	2.004,0	2.004,0
Allemagne	1.370,0	1.375,0
Espagne	1.414,0	1.420,0
Suède	969,0	969,0
Autriche	812,0	812,0
Finlande	304,0	304,0
Portugal	245,0	280,0
Royaume-Uni	161,0	161,0
Belgique	59,4	59,4
Irlande	54,2	54,2
Grèce	44,6	44,6
Pays-Bas	37,0	37,0
Luxembourg	34,3	34,3
Danemark	10,5	10,5
Total U.E.	9.705,0	9.755,0

3. DESCRIPTION D'UNE MICRO-CENTRALE HYDROELECTRIQUE EN GRECE

Cette section du travail aborde des renseignements importants pour l'exploitation d'une micro-centrale hydroélectrique en Grèce. Il s'agit d'un cas réel qui est en phase de réalisation. Le site hydroélectrique potentiel est situé sur une petite rivière en Grèce Centrale. La centrale sera la propriété d'une société considérée comme producteur privé d'électricité qui souhaite une production pour une vente au réseau PPC. Dans ce cas, comme dans tous les cas pareils, une étude de la potentialité du site, c'est à dire une étude du débit à disposition et de la hauteur de chute, est nécessaire.

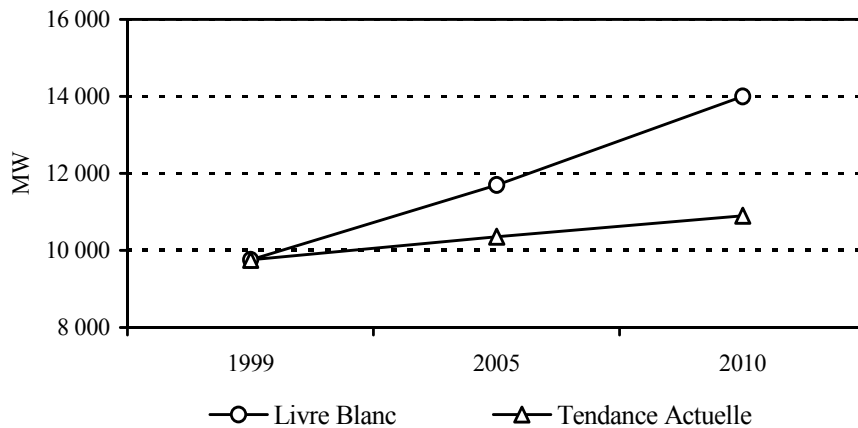


Fig. 1: Comparaison de la tendance actuelle avec les objectifs du Livre Blanc pour la production d'électricité par PCH dans l'Union Européenne

3.1 Etude de la potentialité du site

La chute

Lors de cette étude de la potentialité du site on peut considérer que la chute H est égale à la différence d'altitude entre les niveaux à la prise d'eau et la sortie de la turbine. C'est une donnée topographique mesurable sur le terrain, ou grâce à une carte pour les hautes chutes. A ce stade on n'introduit pas dans les calculs les pertes de charge qui sont les pertes par frottement dues à l'écoulement de l'eau dans les ouvrages de dérivation. Elles diminuent l'importance de la valeur de la chute et dépendent des matériaux utilisés pour les aménagements et du débit turbiné. Elles seront prises en compte plus tard par les bureaux lors du dimensionnement de l'installation. Dans notre cas la chute est de 14 m.

Débit instantané

La connaissance de la quantité d'eau disponible pour l'exploitation d'une centrale hydroélectrique est primordiale. Elle s'obtient grâce à la courbe des débits instantanés (en général une mesure par jour pendant au moins une année). Pour ce genre de données on peut se reporter aux relevés de la station hydrologique la plus proche de l'installation. La courbe des débits instantanés de notre cas a basé sur les mesures de PPC. Le débit moyen est $13,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Potentiel exploitable

Les valeurs du débit et de la chute obtenues, il est possible de déterminer le potentiel exploitable avec la formule suivante :

$$P = r \times g \times Q \times H$$

P : potentiel puissance en W; Q : débit en m^3/s ; H : chute en m; r : masse volumique de l'eau en kg/m^3 ; g : accélération due à la pesanteur en m/s^2 .

En appliquant cette formule pour les données de notre cas (chute et courbe de débit), on a l'énergie électrique produite par mois pendant une année (Fig. 2).

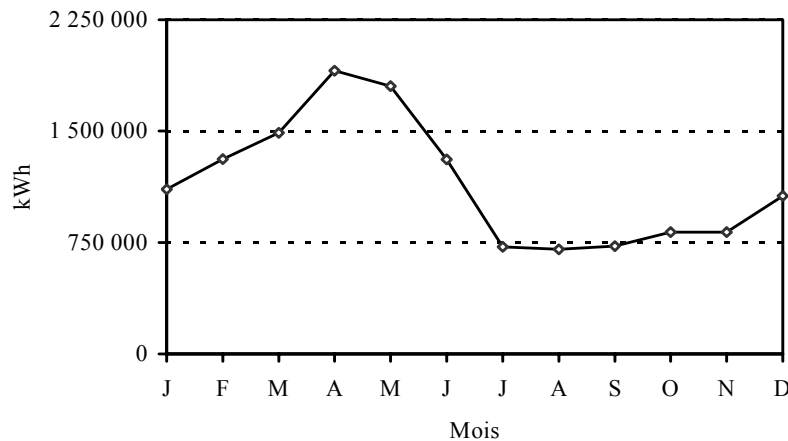


Fig. 2: Energie électrique produite par mois pendant une année

3.2 Les ouvrages de génie civil

Les différents ouvrages qui constituent le génie civil correspondent aux aménagements préalables à la mise en place du matériel de production de courant. L'aménagement comprend:

- un barrage coupant le cours d'eau,
- des ouvrages de dérivation: une prise d'eau, un canal d'amenée, une conduite forcée et un canal de restitution au cours d'eau qui permettent l'écoulement du débit nécessaire au fonctionnement de l'installation,
- la micro centrale elle-même: un bâtiment en dur qui abrite les équipements hydroélectriques qui assurent la production de courant (turbine, générateur de courant, systèmes de contrôle et de régulation).

Le barrage

La plupart des barrages utilisés servent à dériver le débit disponible dans la rivière vers la centrale. Dans ce cas, l'usine est dite au fil de l'eau. Cependant lorsque le débit de la rivière est trop faible, il est nécessaire de créer un réservoir pour augmenter la production électrique, pendant les heures de forte demande. La hauteur du barrage est 15 m.

Les ouvrages de dérivation

Les ouvrages de dérivation sont les aménagements qui permettent la circulation en amont et en aval de la turbine :

- Les *ouvrages de prise d'eau* sont destinés à prélever le débit nécessaire à chaque instant à l'alimentation de l'ouvrage d'amenée à la turbine, en éliminant dans la mesure du possible les matières solides du cours d'eau.
- Le *canal d'amenée* est de section rectangulaire ou trapézoïdale, et amène l'eau à la conduite forcée ou directement à la centrale.
- La *conduite forcée* relie le barrage ou le canal d'amenée à la turbine.
- Le *canal de restitution* permet le retour du débit turbiné au cours d'eau.

3.3 Le choix du matériel

Le matériel est très important car il doit permettre d'utiliser au maximum le potentiel exploitable. Il dépend naturellement des caractéristiques de la chute, mais aussi de l'utilisation de l'énergie produite.

La turbine

Le choix de la turbine se fait en fonction du débit nominal Q et de la chute H à disposition selon le diagramme Sulzer-Escher Wyss [27]. Ainsi, la turbine choisie à notre cas est de type Kaplan Double Regulated. La puissance de la turbine est 3,3 MW. Les turbines Kaplan sont les plus appropriées pour le turbinage des *faibles chutes*. Les puissances correspondantes peuvent varier de quelques kW à plusieurs centaines de kW. Elles se caractérisent par leur roue qui est similaire à une hélice de bateau et dont les pales sont réglables en marche (Kaplan) ou fixes (hélices). En général, ces machines sont classées en fonction de leurs possibilités de réglage et le type d'écoulement. Ainsi, selon les exigences du site on utilise :

- pour des débits constants: une turbine hélice à pales et distributeur fixes,

- pour des débits élevés et peu variables: une turbine hélice à pales fixes et un distributeur mobile,
- pour des débits variants entre 30 et 100 % du débit nominal, une turbine Kaplan à distributeur fixe,
- pour des débits variants entre 15 et 100 % du débit nominal, une turbine Kaplan à distributeur réglable.

Il s'agit de la machine la plus compliquée avec ses deux possibilités de régulation qui doivent être accordées ensemble pour détenir les meilleurs résultats [21, 27].

Le générateur

Le choix du générateur dépend essentiellement de l'utilisation de l'énergie produite. Pour des problèmes de régulation, il est en effet conseillé d'utiliser une génératrice synchrone (en 3 phases, refroidissement par air). La tension est 6 kV et la fréquence 50 Hz. Cette génératrice de courant est aussi appelée alternateur. Sa caractéristique vient du fait que la fréquence du courant produit est imposée par la vitesse de rotation du rotor, qui doit donc rester constante pendant la période d'exploitation. Pour notre type d'installation, son système de réglage des caractéristiques du courant (tension, fréquence, etc.) est bien adapté.

Raccordement au réseau PPC

Les producteurs doivent prendre toutes les dispositions utiles pour n'apporter aucune perturbation dans le bon fonctionnement du réseau. Les conditions techniques du raccordement doivent être d'accord à l'instruction N°129 de PPC. Une ligne électrique doit être tirée sur 3 km pour permettre le couplage de la centrale au réseau moyenne tension (20 kV) de PPC.

Dans le tableau 2, on donne toutes les données techniques du projet, ainsi qu'à la figure 3, on représente le schéma de l'installation.

Tableau 2: Données techniques du projet

<i>Caractéristiques du Site</i>	
Débit moyen	13,0 m ³ /s
Débit maximal	21,2 m ³ /s
Hauteur de chute	14 m
Volume d'eau turbinée (en moyenne)	400 10 ⁶ m ³ /a
<i>Barrage</i>	
Hauteur	15 m
<i>Turbine</i>	
Type	Kaplan S
Hauteur de chute nette	15 m
Débit nominal	28 m ³ /s
Vitesse de rotation	333 rpm
Puissance nominale	3,3 MW
<i>Alternateur</i>	
Type	Synchrone
Tension	6 kV
Fréquence	50 Hz
<i>Raccordement au Réseau</i>	
Instruction technique	N°129/PPC
Longueur de la ligne	3 km
<i>Production d'électricité</i>	
Production annuelle	14,00 GWh

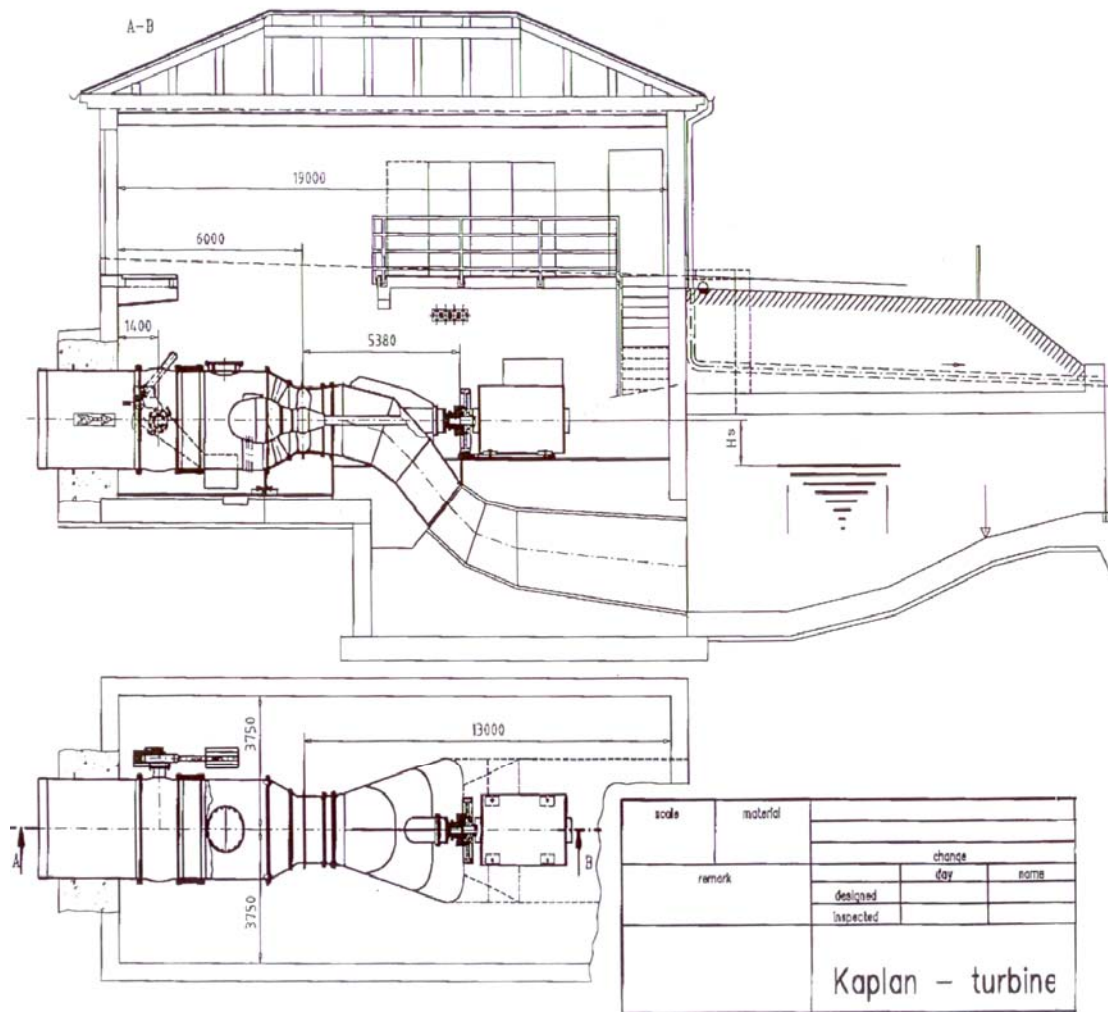


Fig. 3: Schéma de l'installation

3.4 La rentabilité de l'ouvrage

L'estimation de la rentabilité de la PCH de notre cas n'est pas l'objet de ce travail. Par contre, cette estimation se présente en détail ailleurs [28]. Toutefois, pour compléter le présent travail, on donne quelques renseignements sur les éléments déterminants de la rentabilité qui sont le budget d'investissement, les recettes ou les économies attendues et les charges de fonctionnement.

Montant de l'investissement

Le prix d'une petite centrale est fonction du site à équiper. Compte tenu du coût du génie civil, il est conseillé pour limiter les investissements, si c'est possible, de ne pas entreprendre de nouvelles constructions de centrales. Il faut donc essayer de rénover des installations existantes ou de réhabiliter d'anciennes usines. A notre cas, où cela n'est pas possible, le tableau 3 donne le budget d'investissement.

Tableau 3: Le budget d'investissement de la PCH en €

Frais	Somme
Ouvrages de génie civil	
Étude de construction	117.000
Barrage temporel :	
• Creusages	73.000
• Terrassements	293.000

Canal de dérivation	58.000
Barrage, Prise d'eau, Canal d'amenée, Echelle à poissons	
• Creusages	293.000
• Béton	968.000
Bâtiment de la centrale:	
• Creusages	44.000
• Béton	102.000
• Murage	32.000
• Conception Architecturale	29.000
Bâtiment de Transformateur etc.:	
• Creusages	10.000
• Béton	11.000
• Formation d'espace	4.000
Constructions Métalliques	
Étude de construction	14.000
Fourniture et Installation	146.000
Équipements Hydroélectriques et Coût de Raccordement	
Turbine, Générateur, Systèmes de contrôle etc.	1.614.000
Raccordement au réseau PPC	88.000
Autres Coûts	
Voie d'approche	132.000
Coût de propriété	72.000
Frais d'établissement au total	4.100.000

Prévisions d'exploitation

En Grèce, il est fait obligation à PPC de recevoir sur ces réseaux, sous réserve qu'il n'en résulte aucune entrave au bon fonctionnement de la distribution, l'énergie produite par des installations des ressources renouvelables comme une PCH. Dans ce cadre, les lois du tarif pour fournitures garanties le prix de rachat. Ce prix est 56,8 € par MWh et il est fixé [29,30].

Charges de fonctionnement

Les charges de fonctionnement varient en fonction de la taille et des caractéristiques de la centrale. Elles sont composées des coûts d'exploitation, des frais financiers des provisions et des amortissements. Les coûts directs d'exploitation correspondent aux frais entraînés par l'entretien, les assurances, les taxes etc.

Estimation de la rentabilité

La méthode la plus simple à utiliser pour estimer la rentabilité d'un projet reste celle du temps de retour. C'est une étude grossière qui permet de déterminer le temps nécessaire pour que les recettes ou les économies égalent les investissements. Autres méthodes plus complexes mais aussi plus précises sont celles des NPV et IRR.

4. CONCLUSION

Les enjeux de développement des Energies Renouvelables sont mondiaux. A fin de lutter contre l'effet de serre et conformément aux engagements de Kyoto, l'Union Européenne a décidé de doubler la part des Énergies Renouvelables en fixant *un objectif de 12 % de la consommation intérieure brute d'énergie en 2010*, ce qui représentera une part spécifique de 22,1 % pour la consommation d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable. Dans ce cadre, les micro-centrales hydroélectriques sont une source formidable pour le développement durable. Dans ce travail, est décrite la méthode à suivre pour étudier *la faisabilité technique (surtout) et économique* d'une microcentrale. Cette démarche est importante car elle permet d'étudier l'intérêt

d'une éventuelle installation avant d'entamer les démarches auprès de bureaux d'études spécialisés. En particulier, le présent travail renferme les éléments nécessaires pour aborder un projet de micro-centrale hydroélectrique en présentant l'information fondamentale sur une PCH typique grecque. Selon la présentation ci-dessus, ces éléments sont le potentiel exploitable qui se détermine par les valeurs du débit et de la chute, les ouvrages de génie civil (ce sont le barrage et les ouvrages des dérivations), le choix de matériel (ce sont surtout la turbine et le générateur) qui est très important car il doit permettre d'utiliser au maximum le potentiel exploitable et les conditions techniques du raccordement au réseau PPC. De plus, la rentabilité de l'ouvrage est parmi les éléments nécessaires pour la gestion un projet de micro-centrale hydroélectrique.

Toute personne désirant produire de l'hydroélectricité, pour une revente au réseau PPC ou pour une autoconsommation, devra obtenir une autorisation. En vue d'obtenir cette autorisation, le pétitionnaire doit déposer un dossier à la commission de régulation de l'énergie grecque (Regulatory Authority for Energy - RAE) détaillant le plus complètement possible son projet. Le dossier de demande est selon la nature du projet plus ou moins complexe, et doit toujours aborder les thèmes suivants:

- l'emplacement sur lequel les ouvrages doivent être réalisés,
- le profil en long de la section du cours d'eau,
- un plan des terrains qui seront submergés à la côte de la retenue normale,
- le débit maximal dérivé,
- la hauteur de chute brute,
- la puissance maximale brute,
- le volume stockable,
- le débit maintenu dans la rivière,
- le profil en long de la rivière,
- les moyens d'intervention en cas d'incident,
- la durée probable des travaux,
- l'évaluation sommaire des dépenses,
- la nécessité ou non de défrichement,
- la liste des établissements hydrauliques en amont et en aval, du pétitionnaire,
- les titres de propriétés,
- la durée de l'autorisation demandée.

Sans doute, cette opération est compliquée, cependant il est à noter que la plupart des bureaux d'études prennent en charge la rédaction du dossier.

Remerciements: Je remercie Dr A. Vougiouklidou, Lectrice à l'Université du Pirée, qui, par la pertinence de ses remarques, a contribué à la mise au point de cet article.

REFERENCES

- [1] J. Goldemberg, '*Energy, Environment and Development*', Earthscan Publications Ltd, London 1999.
- [2] R.A. Ristinen and J.J. Kraushaar, '*Energy and the Environment*', John Willey & Sons, Inc., New York, 1999.
- [3] European Environment Agency, '*Energy and Environment in the EU*', EEA, Copenhagen, 2002.
- [4] European Commission, '*Green Paper - Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply*', Luxembourg, 2001.
- [5] European Commission, '*Green Paper - Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply - Technical Document*', Luxembourg, 2001.
- [6] Electricité de France, '*EDF et la Lutte contre l'Effet de Serre*', EDF, Le Havre, 2000.
- [7] International Energy Agency, '*Towards a Sustainable Energy Future*', OECD/IEA, Paris, 2001.
- [8] P. Busquin, '*Counting on Sustainable Energy Resources*', JRC in Action, N°8, 2003.
- [9] E.S. Cassedy, '*Prospects for Sustainable Energy: A Critical Assessment*', Cambridge University Press, U.K. 2000.
- [10] International Energy Agency, '*Needs for Renewable*', OECD/IEA, Paris, 2001.
- [11] E.S. Cassedy and P.Z. Grossman, '*Introduction to Energy: Resources, Technology and Society*', Cambridge University Press, U.K. 1998.
- [12] C. Beggs, '*Energy: Management, Supply and Conservation*', Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.

- [13] Eurostat, '*Renewable Energy Sources Statistics in the European Union 1989 - 1998, Part I*', European Commission – DG Transport and Energy, Luxembourg 2001.
- [14] J. Ramage, '*Energy – A Guidebook*', New Edition, Oxford University Press, New York, 1997.
- [15] International Energy Agency, '*Renewable Information 2002*', OECD/IEA, Paris, 2002.
- [16] N. Nakicenovic, A. Gruebler and A. McDonald, '*Global Energy Perspectives*', International Institute for Applied Systems Analysis, World Energy Council, 1998.
- [17] R.O. Hill and P. Keefe and C. Snape, '*The Future of Energy Use*', Earthscan Publications Ltd., London 1996.
- [18] Icap/Délos, '*Le marché d'énergie en Grèce*' (en grec et en anglais), Athènes, 2002.
- [19] P. Fraenkel, '*Flowing too slowly - Performance and potential of small hydro-power*', Renewable Energy World, Vol. 2, No. 2, March 1999.
- [20] D.E. Kodosakis, '*Gestion des Ressources Naturelles et d'Energie*' (en grec), Éditions A. Stamoulis, Le Pirée, 1994.
- [21] N.A. Athanassiadis, '*Equipements Hydrodynamiques – Principes et Pompes*' (en grec), NTUA, Athènes, 1985.
- [22] EurObserv'ER, '*Le Bilan Européen des Energies Renouvelables*', Systèmes Solaires, No 137, 2000.
- [23] European Commission, '*Energy in Europe – European Union Energy Outlook to 2020*', Special Issue, Directorate-General for Energy, Luxembourg, 1999.
- [24] Center for Renewable Energy Sources, <http://www.cres.gr>.
- [25] Regulatory Authority for Energy, <http://www.rae.gr>.
- [26] Public Power Corporation, <http://www.dei.gr>.
- [27] D.E. Papantonis, '*Equipements Hydrodynamiques – Pompes et Turbines*' (en grec), Éditions Syméon, Athènes, 1994.
- [28] D.A. Géorgakèllos, '*Estimation de la Rentabilité d'une PCH*' (en grec), 7 Conférence Nationale pour les Energies Renouvelables, Patras, 2002.
- [29] Loi 2244 / 94, Journal Officiel N°A 168 / 07-10-94.
- [30] Loi 2773 / 98, Journal Officiel N°A 286 / 22-12-98.