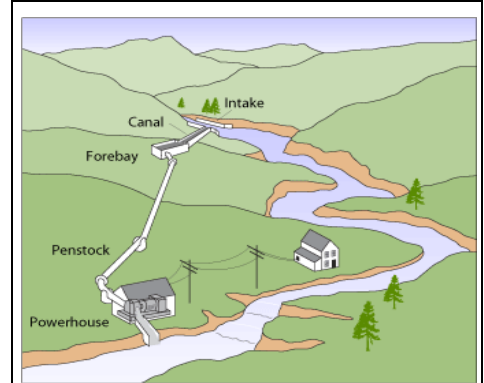


# Micro Centrale Hydraulique

## Micro Hydraulique

### Carte d'identité de la technologie

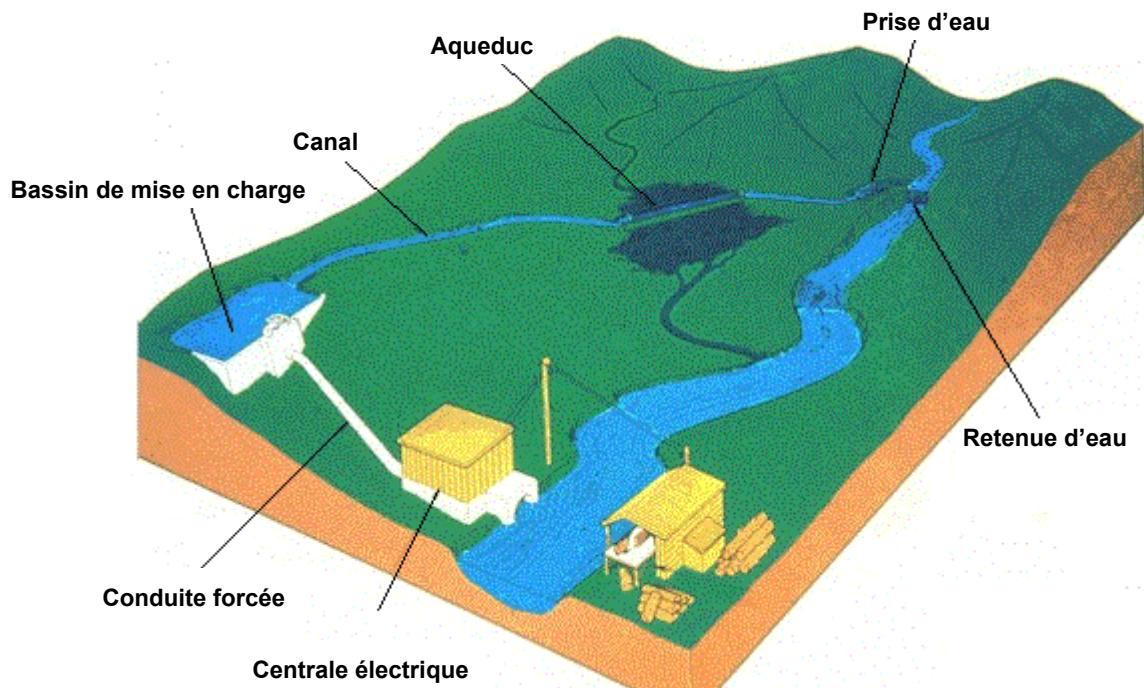
Source d'énergie	Hydraulique
Etat de la technologie	Quelques sites pilotes à Madagascar
Niveau de complexité :	
- A la fabrication	La partie génie civile est parfois délicate
- A la maintenance	Relativement aisé, mais avec un suivi constant



Il n'existe pas de définition universelle du terme « petite centrale hydroélectrique ». Selon les définitions locales, ce terme peut couvrir des capacités nominales de quelques kilowatts à 50 mégawatts ou plus. Quelque fois, les projets de 100 kW à 1 MW sont appelés « mini-centrales » et les projets de moins de 100 kW, « micro-centrales ». Toutefois, la puissance installée n'est pas toujours un bon indicateur de la taille d'un projet. Une « petite centrale » hydroélectrique à basse chute est loin d'être petite, car en général les projets à basse chute ont besoin d'un volume d'eau beaucoup plus important et de plus grosses turbines que des projets à haute chute.

### I. Présentation

On distingue trois types de travaux pour la réalisation d'une petite centrale hydraulique : les ouvrages de génie civil, les équipements électriques et les équipements hydrauliques. La *figure 1* détaille les différents éléments d'une centrale.



*Fig. 1: Principe d'une micro-centrale électrique*

## 1. Ouvrages de génie civil :

Les principaux ouvrages de génie civil d'une petite centrale hydraulique sont le barrage de dérivation, les conduites d'eau et la centrale en elle-même.

### ■ *Le barrage*

Le barrage de dérivation dirige l'eau dans un canal, un tunnel ou directement dans une conduite forcée. L'eau passe ensuite dans la turbine qu'elle fait tourner avec suffisamment de force pour créer de l'électricité par le biais d'une génératrice, après quoi elle retourne à la rivière par le canal de fuite. D'ordinaire, les petites centrales hydroélectriques construites pour alimenter un village ou une région isolée sont des installations au fil de l'eau. L'eau n'est pas stockée dans un réservoir et elle est utilisée que lorsqu'elle est disponible. Le coût de gros barrage de retenue avec accumulateur n'est normalement pas justifié pour les petits projets hydroélectriques et par conséquent, un simple barrage de dérivation de faible hauteur est utilisé. Ces ouvrages peuvent être en béton, en bois en maçonnerie ou en une combinaison de ces matériaux. Le coût des travaux de génie civil ayant trait à l'installation d'un vrai barrage est souvent un obstacle qui rend le projet financièrement non viable.

### ■ *Les conduites d'eau*

Les conduites d'eau d'une petite centrale hydroélectrique sont les suivantes :

- Une entrée d'eau munie d'une grille crapaudine alimentant un canal, suivit du bassin de mise en charge et de la conduite forcée. L'entrée est généralement en béton armé, la grille en acier et la vanne en bois ou en acier.
- Une conduite forcée (*figure 2*), qui peut parfois prendre la forme d'un tunnel souterrain, qui amène l'eau jusqu'à la turbine de la centrale. Elle est généralement en acier galvanisé, en fer et plus rarement en fibre de verre, en plastique ou en béton.
- L'entrée et la sortie de la turbine, qui incluent les soupapes et les vannes nécessaires pour arrêter l'arrivée d'eau lors de la fermeture pour l'entretien. Ces composants sont généralement en acier.
- Un canal de fuite, qui transporte l'eau de la sortie de la turbine jusqu'à la rivière. Ce canal est en général excavé, muni de vanne en bois qui permettent les opérations d'entretien.



*Fig. 2: Conduite forcée et centrale*

### ■ *La centrale*

La centrale en elle-même contient la ou les turbines et la plupart des équipements mécaniques et électriques. Les petites centrales hydroélectriques sont généralement d'une taille minimale tout en assurant une infrastructure, un accès pour l'entretien et un niveau de sécurité adéquats. La centrale est construite en béton et autres matériaux locaux.

Afin de limiter les coûts, une conception simple mettant l'accent sur des structures pratiques et facile à construire est la principale préoccupation dans un projet de micro centrale hydraulique.

## 2. Les turbines et leur régulation :

Les deux types de turbine recommandés en micro hydraulique sont la turbine Pelton et la turbine Crossflow, notamment pour des raisons de rendement et de facilité de conception. Elles font chacune l'objet d'une fiche technique descriptive. Pour ces deux turbines, on peut distinguer deux systèmes de régulation de la vitesse de rotation.

### ■ *Présentation*

Pour faire fonctionner une turbine correctement, un système de régulation doit être mis en place. Ce dernier doit permettre d'adapter le régime de vitesse de la turbine en fonction de la consommation électrique et du débit à l'entrée de la prise d'eau. Cette régulation doit permettre de maintenir la vitesse de rotation la plus constante possible afin que le réseau reste calé sur sa fréquence propre, en l'occurrence 50 Hz.

### ■ *Description technique*

Il existe deux types de régulation :

#### La régulation « vitesse débit » :

Elle consiste à adapter le débit de l'eau afin de réguler la vitesse de rotation. Le contrôle du débit se fait par l'intermédiaire de pointeaux amovibles dans les injecteurs de la turbine Pelton et par un ou deux volets rotatifs au niveau de l'injection d'eau dans la turbine Crossflow.

En général, le contrôle des vannes se fait par l'intermédiaire de vérins qui sont commandés sur le principe de la rétroaction. La vitesse de rotation en sortie de turbine est mesurée à l'aide d'un capteur ou de la fréquence de réseau, l'information étant ensuite transmise à un micro-contrôleur qui calcule la course à donner aux vérins pour adapter le débit. Les meilleures régulations sont de type PID, c'est-à-dire Proportionnelle Intégrale Différentielle qui assurent une correction à la fois précise et rapide.

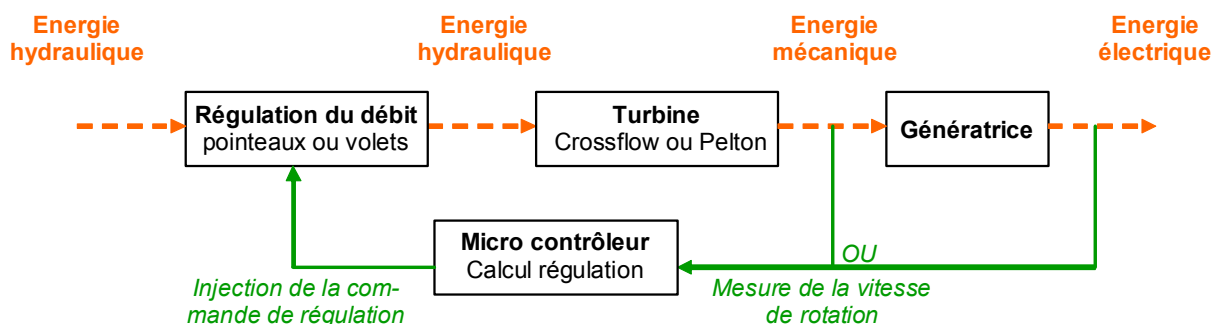
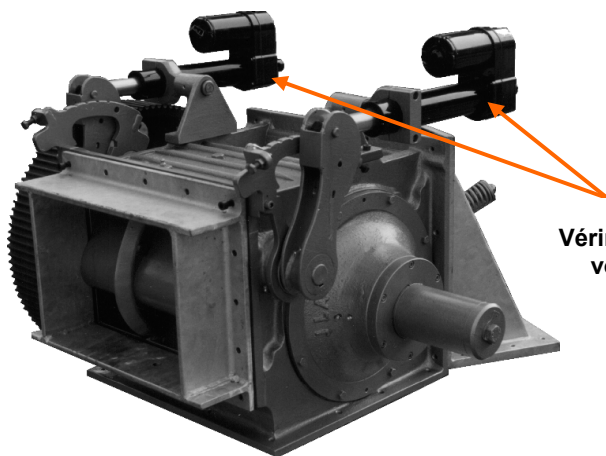


Fig. 3: Principe de régulation « vitesse débit »

Lorsqu'une retenue d'eau est présente, la régulation « vitesse débit » présente l'avantage de consommer l'eau de façon intelligente. En effet, quand la demande du réseau est faible, cette méthode permet d'économiser de l'énergie et de la stocker sous forme d'énergie potentielle hydraulique. Cependant, c'est un système relativement complexe à mettre en œuvre, puisqu'il nécessite la programmation d'un micro contrôleur, l'implantation de capteur et l'intervention d'un système de conversion numérique analogique.

Ce système est malheureusement obligatoire pour des turbines d'une puissance supérieure à 100 kW. Cependant, le micro contrôleur peut être remplacé par opérateur qui ajuste de façon manuelle le débit en fonction de la fréquence du réseau. Le technicien peut également effectuer la maintenance quotidienne de l'installation en parallèle.

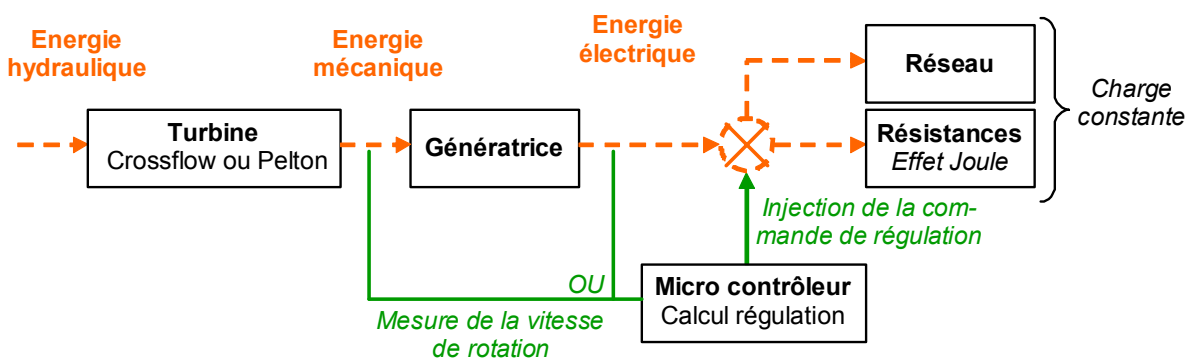


*Fig. 4: Volet de commande sur une turbine Crossflow. Constructeur JLA Willot*

Vérins de commande des volets hydrauliques

#### La régulation «charge fréquence » :

Elle agit afin de garder constante la charge électrique du réseau, sans système de contrôle du débit. La régulation s'effectue par dissipation du surplus d'énergie dans des charges résistives. Toute l'énergie non consommée est redirigée dans une batterie de résistances. La centrale tourne donc toujours au maximum de sa capacité, produisant sa puissance nominale.



*Fig. 5: Principe de régulation « charge fréquence »*

De la même manière que pour la régulation « débit vitesse », le délestage de l'énergie excédentaire peut s'effectuer de manière automatique ou de façon manuelle. Lorsque la fréquence du réseau augmente, on connecte des charges résistives qui dissipe une partie de l'énergie sous

forme d'effet joule. On augmente du même coup le couple mécanique de la génératrice et on réduit donc la vitesse de rotation de la turbine. Inversement, en déconnectant des résistors, on réduit la charge du réseau, le couple dans la génératrice devient moins important et la vitesse de rotation de la turbine augmente.

Lorsque la connection des charges se fait de manière automatique, il est nécessaire qu'un régulateur contrôle la vitesse de rotation de la turbine. En cas de rupture du circuit électrique, les charges résistives s'annulent et la vitesse de rotation de la turbine s'accélère puisque la charge hydraulique demeure inchangée. La turbine va donc s'emballer et une vitesse trop importante risque d'être fatale aux équipements. La présence d'une alimentation électrique de secours est donc obligatoire afin de limiter tout phénomène d'emballement. De plus, la régulation « charge fréquence » s'adapte mal pour des centrales ayant une puissance nominale supérieure à 100 kW, l'énergie à dissiper étant trop importante.

### 3. L'équipement électrique:

#### ■ *La génératrice*

Les génératrices utilisées dans les petites centrales hydroélectriques sont de deux grands types : synchrones ou à inductions (asynchrones), comprises entre 10 et 1000 kW pour l'électrification rurale. La génératrice synchrone peut fonctionner isolément, tandis que la génératrice asynchrone doit normalement fonctionner de concert avec d'autres ou être raccordée au réseau principal. Les premières sont utilisées comme principale source d'énergie par les compagnies d'électricité et pour les petites centrales hydrauliques isolées en milieu rural. Les génératrices à induction d'une capacité inférieure à 500 kW sont généralement préférées pour les petites centrales hydroélectriques qui fournissent l'électricité à un important réseau de distribution existant.

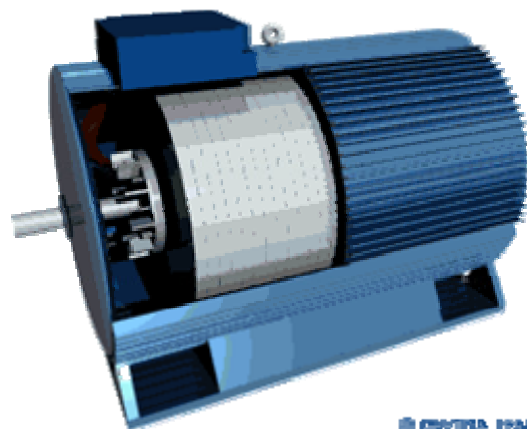


Fig. 6: *Génératrice synchrone*

#### ■ *Autres composants électriques de la centrale*

Les autres composants constituant une centrale hydraulique sont les suivants :

- Système électrique de protection et de contrôle, tableau de commande avec coffret de puissance ;
- Dispositif de commutation électrique ;
- Transformateurs auxiliaires et de transport de l'énergie ;
- Services auxiliaires, notamment l'éclairage, ainsi que l'énergie pour alimenter les systèmes de contrôle et le dispositif de commutation électrique ;
- Système de ventilation.



## ■ Les pylônes

Le rôle des pylônes est de porter les câbles électriques dans un réseau aérien. Ils doivent être capables de supporter le poids de ces câbles ainsi que celui des composants installés en haut de poteau, tout en résistant aux contraintes mécaniques et aux agressions chimiques du milieu extérieur.

### **Les pylônes en bois :**

Le bois présente de nombreux avantages qui en font un matériau privilégié lors de la réalisation de petits réseaux ruraux. Il permet entre autre :

- d'être produit et exploité avec des moyens locaux ;
- de présenter une excellente résistance et une bonne flexibilité d'utilisation, tant durant son exploitation que lors de son transport et de son installation.

Cependant, le bois peut également pourrir ou subir des attaques par les insectes. Pour éviter ce genre de désagrément, il peut être traité en conséquence. Mais cela nécessite la mise en œuvre de technologies plus complexes, qui ne sont pas forcément disponibles localement.



*Fig. 7: Poteau en bois artisanal*

### **Les pylônes en béton armé :**

Le béton armé est une alternative envisageable lorsque l'on ne peut pas se procurer de bois. Il peut être fabriqué localement pour un coût relativement faible. De conception robuste, il possède un bon comportement face aux intempéries et présente une longévité exceptionnelle.

Cependant, la qualité du poteau dépend pour beaucoup du soin apporté à la conception. Les facteurs qui influent sur la résistance du pylône sont :

- la qualité du béton employé, et notamment le dosage ciment – sable ;
- la qualité de l'armature métallique utilisée pour l'ossature du pylône. La résistance du pylône est grandement améliorée si on réalise une précontrainte de l'acier avant moulage.
- Le degré de qualification de la main d'œuvre est également important, puisque la technique de fabrication n'est pas à la portée de tous.

### **Les pylônes en acier :**

L'acier permet de réaliser des pylônes relativement légers et qui peuvent être scindés en deux ou trois morceaux. Cette option permet de faciliter le transport et de monter les pylônes sur le site pour des réseaux peu accessibles. De plus, les caractéristiques physiques de l'acier étant bien connues, le dimensionnement est optimal et aisé.

Néanmoins, l'acier est particulièrement sensible à la corrosion. Le minimum est donc de peindre les pylônes, ou mieux, de galvaniser l'acier. A noter tout de même que le coût de fabrication est plus élevé que celui de pylônes en bois

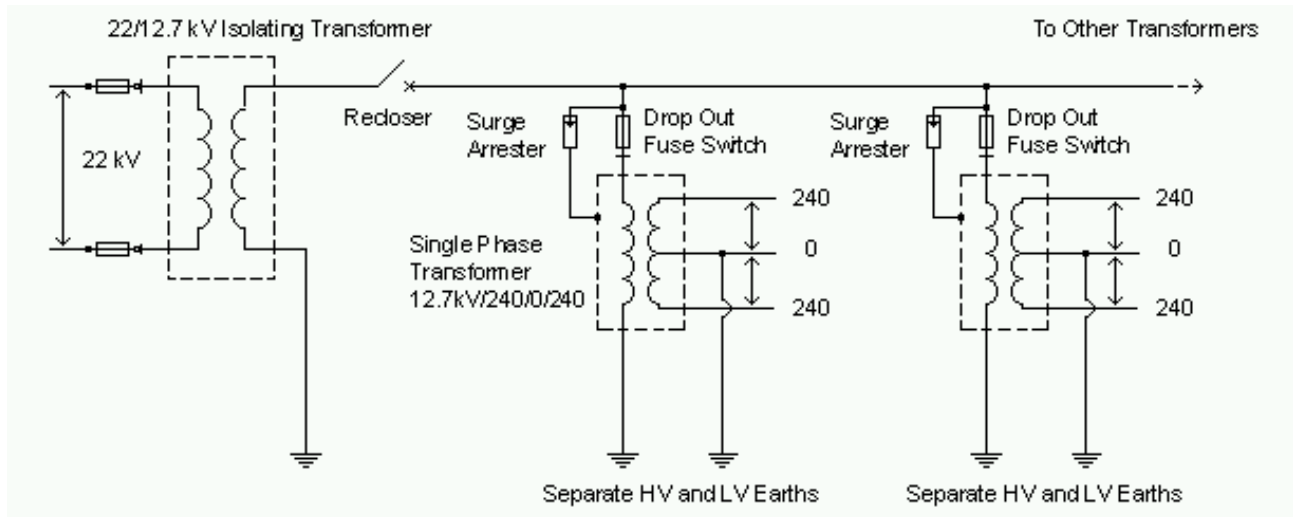
## ■ Les lignes de transport

Lorsque la centrale de production de l'électricité est trop éloigné du lieu de consommation, il est indispensable de prévoir une ligne moyenne tension afin d'acheminer l'énergie. Une ligne moyenne tension (MT) permet de limiter les pertes par effet Joule de façon considérable par rapport à ligne basse tension (BT).

Une ligne MT a un voltage moyen se situant aux alentours de 5000V. En général, ce sont des lignes triphasées, qui permettent un équilibrage en puissance aisé. Cependant, il existe une autre technologie, plus simple à mettre en œuvre et qui diminue les coûts d'implantation: les lignes SWER.

### **Les lignes SWER :**

La ligne SWER ou Single Wire Earth Return, est une ligne moyenne tension qui a la particularité de n'être composée que d'un seul fil électrique : le retour s'effectue par la terre. Le schéma technique est présenté à la figure 8.



**Fig. 8:** Schéma électrique d'une ligne SWER

L'emploi d'un seul fil permet de réaliser des économies substantielles. En effet en comparaison avec un système triphasé classique, on a besoin de moins de câble, une ligne seulement au lieu de trois. Les composants en haut de poteau, tels que les éléments de protection, sont divisés également par trois. De plus, le diamètre des poteaux peut être réduit, étant donné que la charge qu'ils doivent supporter est moindre.

Cependant, ce système peut poser certains problèmes au niveau du contrôle de la tension. Le prix actuel est aux alentours de 600€ par kilomètre.

## **II. Phase d'ingénierie d'un projet hydraulique**

Selon Gordon en 1989, un projet hydroélectrique comporte normalement quatre étapes pour les travaux d'ingénierie. Il faut cependant noter que dans les cas des petites centrales hydrauliques, les travaux de génie sont souvent limités à trois étapes afin de réduire les coûts. En général, une étude préliminaire qui combine l'étude de préfaisabilité et les relevés de reconnaissance est conduite. Cependant, ces études sont souvent complétées avec un moindre degré de

détail afin de réduire les coûts. La réduction du niveau de précision de l'étude préliminaire augmente le risque que le projet ne soit pas viable, mais peut habituellement être justifiée en raison des coûts moindres d'un petit projet.

### 1. Levés de reconnaissance et études hydrologiques :

Les premières étapes des travaux d'ingénierie couvrent souvent de nombreux sites. Ces travaux comprennent la délimitation de la prise d'eau, du bassin de mise en charge et les estimations préliminaires du débit et des hauteurs de chute. Au mieux, une visite d'une journée sur chaque site par un ingénieur concepteur et un géologue est réalisée. Le rapport de mission comprendra un plan préliminaire, une estimation des coûts et un classement final des sites basés sur le potentiel hydrologique et les coûts.

### 2. Etude de pré faisabilité

Les travaux d'études de pré faisabilité visant le ou les sites identifiés incluent la cartographie du site et des études géologiques. Les forages de reconnaissance sont limités aux zones où les incertitudes du sol de fondation pourraient avoir un effet important sur les coûts. L'étude de pré faisabilité pourra également inclure un repérage des zones adéquates pour l'extraction de gravier, sable... Techniquement, un plan préliminaire estimant les principales caractéristiques du projet est dressé, accompagné d'une estimation des coûts pour la capacité installée et les types d'aménagements. Une approche environnementale est également souhaitable afin d'évaluer les incidences écologiques possibles.

### 3. Etude de faisabilité

Les travaux d'ingénierie se poursuivent sur le site choisi avec la délimitation et la mise à l'essai de toutes les zones d'emprunt et l'estimation de la conception des infrastructures. L'étude de faisabilité reprend la détermination du potentiel hydraulique avec différentes hauteurs de mise en charge et les capacités installées en vue d'optimiser le projet. Dans les pays occidentaux, une règle énonce que le rapport doit fournir une conception suffisamment détaillée de toutes les structures, afin de pouvoir déterminer tous les composants qui constituent plus de 10% du coût d'installation. Cela permet de produire une estimation détaillée des coûts. De plus, outre l'évaluation économique et financière, le bureau d'étude se doit de fournir un premier calendrier d'exécution du projet.

### 4. Planification du projet

Cette étape constitue la phase finale des travaux du bureau d'étude. Elle fournit toutes les données exactes de l'installation hydroélectrique, en allant jusqu'au plan détaillé de l'intégration du système de transport de l'énergie. Les documents produits sont :

- les plans précis des infrastructures électriques, mécaniques et des constructions ;
- les appels d'offres lancés relative au projet ;
- Les devis en rapport avec ces appels d'offres ;
- la planification temporelle, accompagné si possible d'un diagramme de Gantt détaillant les antécédents à chaque action.

Toutefois cette étape ne comprend pas la surveillance des travaux, ni la gestion du projet. Ces travaux font partie des coûts d'exécution du projet et pourront être l'objet d'une négociation ultérieure avec le bureau d'étude.



### **III. Maintenance des centrales hydroélectriques**

Bien que les micros centrales ne requièrent que peu de maintenance, celle-ci ne doit surtout pas être négligée. Elle doit être effectuée par des techniciens compétents, ayant reçu une formation conséquente lors de la mise en œuvre du projet.

En dehors des opérations d'entretiens spécifiques aux turbines qui sont détaillées dans leur fiche, la maintenance courante d'une micro centrale hydraulique doit comporter :

- Le nettoyage du canal d'amené d'eau, ainsi que du bassin de mise en charge. Toutes les grilles présentes sur le parcours de l'eau doivent être vérifiées afin d'éviter leurs obstruction, notamment au niveau de la crépine de la conduite forcée.
- Le nettoyage du déssableur ou des bassins de décantation qui permettent d'éliminer les déchets susceptibles d'endommager la turbine.
- Un stock de pièce de rechange doit être constituer afin de palier de manière rapide et efficace à une rupture du matériel. Un ensemble de joints, de vannes, de roulements étanches et d'aubes de remplacement est le strict minimum pour assurer une maintenance correcte.