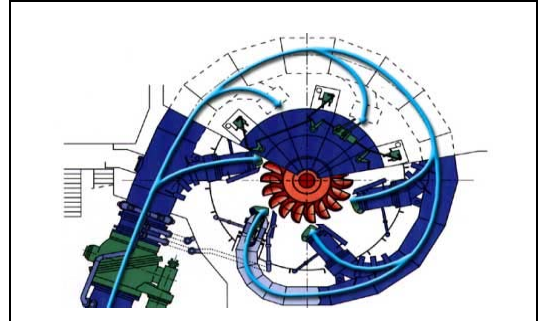


Turbine Pelton

Micro hydraulique

Carte d'identité de la technologie

Source d'énergie	Hydraulique
Etat de la technologie	Pas de site d'implantation à Madagascar
Niveau de complexité :	
- A la fabrication	Difficulté pour réaliser les augets
- A la maintenance	



I. Présentation

1. Description technique

La turbine Pelton (fig.1) est une machine hydraulique au fonctionnement simple. Le principe de la turbine repose sur la transformation de l'énergie potentielle de l'eau, évaluable par la pression, en énergie cinétique. D'une conception accessible, le faible nombre de pièces mis en jeu en fait une turbine particulièrement robuste.

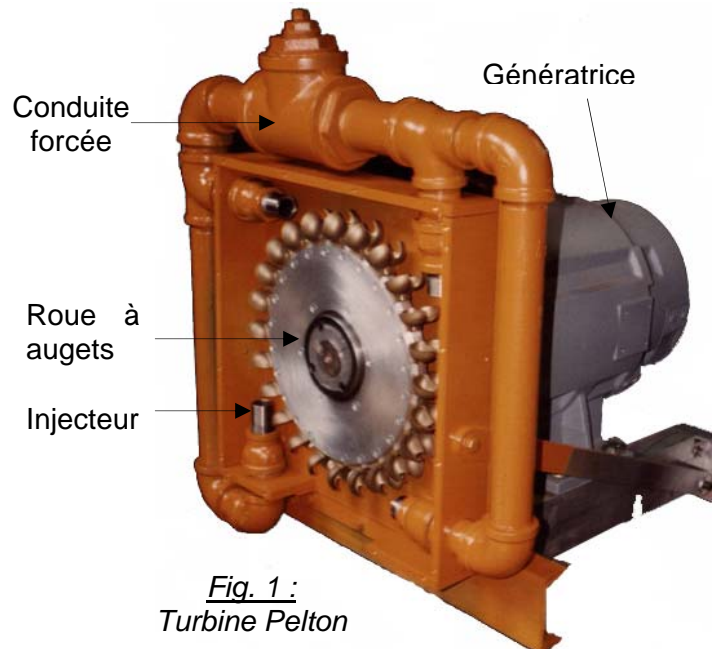


Fig. 1 :
Turbine Pelton

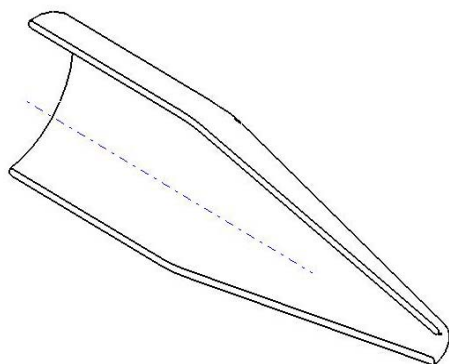


Fig. 2 :
Coupe injecteur de turbine Pelton

L'eau provenant du bassin de mise en charge, ou du barrage, est acheminée vers la turbine par une conduite forcée. Aux abords de la turbine, la conduite se sépare en deux ou trois canalisations de diamètre inférieur qui vont alimenter les injecteurs (fig.2). Les injecteurs ont pour rôle d'accélérer l'eau par le biais d'un convergent, qui permet de transformer l'énergie potentielle de l'eau en énergie cinétique. L'eau vient ensuite frapper les augets de façon tangentielle, afin de leur transmettre une énergie maximum. Plus la vitesse en sortie d'injecteur est importante, plus l'énergie de l'impact sur les aubes est élevée et donc plus la turbine tourne vite. En pratique, la vitesse des augets correspond à 47% de la vitesse de l'eau en sortie d'injecteur, bien qu'en théorie celle-ci devrait être égale.

L'auget (*fig. 3*) constitue la partie la plus importante de la turbine. Les performances, l'acoustique et la longévité de la machine dépendent de son bon dimensionnement et de sa forme. Réalisé en acier inoxydable moulé, la vingtaine d'aubes qui constitue la roue sont rapportées après fabrication sur le corps de la turbine par soudage en général. La forme idéale est une double cuillère qui fend le jet d'eau en son milieu. La face de l'auget en contact avec l'eau doit être particulièrement lisse afin de favoriser l'évacuation de l'eau par effet centrifuge. L'énergie cinétique est donc transformé en énergie mécanique lors du l'impact de l'eau sur l'auget.

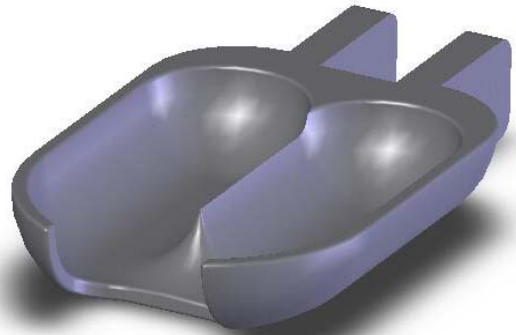


Fig.3:
Aube de turbine Pelton

L'axe de l'alternateur peut-être directement raccordé sur l'axe de la turbine. L'échange d'énergie se faisant à pression atmosphérique, il n'y a pas de grosses contraintes d'étanchéifications supplémentaires. Il est cependant nécessaire que l'ensemble soit équilibré dynamiquement en rotation autour de l'arbre et monté sur roulement. L'accouplement mécanique entre la turbine et la génératrice peut être l'occasion d'assurer un renvoi d'angle ou un décrochement dans la transmission. La configuration de fonctionnement la plus simple est présentée *figure 4*.

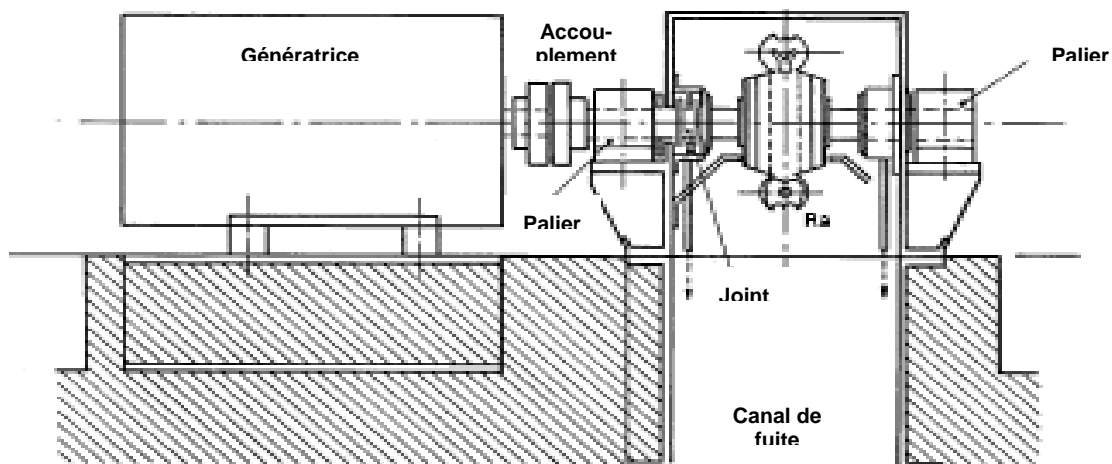


Fig.4 : Groupe turbine et générateur

2. Domaine d'utilisation

La plage d'utilisation des turbines Pelton est très large, avec notamment des roues à augets qui peuvent atteindre une dizaine de mètres de diamètre. Dans le cas de la micro hydraulique, ce type de turbine est particulièrement adapté à des hauteurs de chute supérieure à une cinquantaine de mètre et avec des débits compris entre $0,1$ et $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La *figure 5* reprend la plage d'utilisation caractéristique des turbines Pelton.

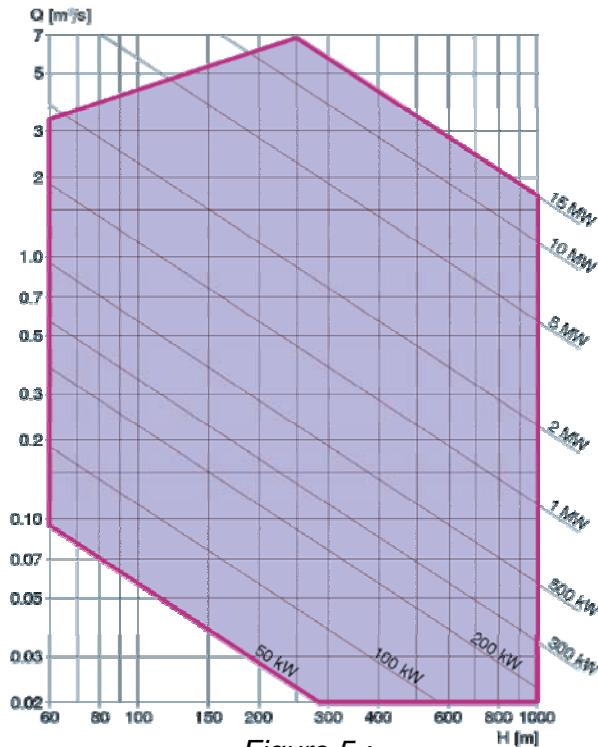


Figure 5 :
Plage d'utilisation des turbines Pelton

II. Contraintes de conception

1. Pièces délicates

▪ Les augets

Les augets sont les pièces de la turbine qui demande le plus haut degré de technicité. Réalisé par moulage, il nécessite la maîtrise des techniques de fonte de l'acier.

Le moulage sable :

Cet technique de moulage est traditionnellement utilisée pour les petites et moyennes séries de pièce. Elle nécessite un modèle de la pièce pour inscrire son empreinte dans le sable dans lequel on viendra ensuite couler l'acier.

En premier lieu, il est nécessaire de réaliser un ou plusieurs modèles de la pièce à mouler. Ces modèles sont réalisés de préférence en aluminium et usinés avec une grande précision, notamment au niveau de la face interne de l'auget. Montés sur les plaques-modèles, le modèle est coupé en deux et chaque partie est fixée sur une plaque comportant des dispositifs de positionnement sur le châssis. Le châssis et les plaques-modèles doivent être réalisés avec une grande précision. Dans un premier temps, ces pièces spécifiques peuvent être réalisées en France, puis importées à Madagascar, à condition que la fonderie soit susceptible de l'utiliser correctement.

dèle est coupé en deux et chaque partie est fixée sur une plaque comportant des dispositifs de positionnement sur le châssis. Le châssis et les plaques-modèles doivent être réalisés avec une grande précision. Dans un premier temps, ces pièces spécifiques peuvent être réalisées en France, puis importées à Madagascar, à condition que la fonderie soit susceptible de l'utiliser correctement.

Une fois en possession du châssis et des plaques-modèles, il faut que la fonderie maîtrise la mise en sable du moule. Afin de garantir un état de surface lisse pour l'auget, le sable utilisé est de type « sable siliceux » avec un indice de finesse supérieur à 80 AFS.

Le moulage en coquille :

L'autre solution consiste à réaliser un moule permanent en acier de la pièce dans le quelle le métal est coulé à la pression atmosphérique. Ce type de moulage garantit un état de surface incroyablement lisse et une vitesse de production plus importante.

Cependant, le degré de technicité à mettre en œuvre est supérieur étant donné que :

- Les moules sont plus complexes à réaliser, ils nécessitent la mise en œuvre de machines-outils à commande numérique. Cependant, ils peuvent également être importés de France.
- Les moules sont beaucoup plus lourds à manœuvrer, et l'outillage doit prendre en compte cette difficulté supplémentaire (vérins, treuils...)
- Il faut systématiquement préchauffer les coquilles avant de pouvoir mettre en œuvre le moulage afin d'éviter les chocs thermiques.
- Il est nécessaire d'effectuer un poteyage entre chaque moulage, c'est-à-dire d'enduire les parties du moule en contact avec le métal en fusion de produits spécifiques afin d'éviter que l'acier liquide s'accroche.

Composition de l'acier :

L'auget est réalisé en en acier inoxydable fortement allié afin de résister à la corrosion. Traditionnellement, les roues Peltons sont réalisées en G – X5 CrNi 13.4 . Cela signifie qu'il s'agit d'un acier :

- Moulé (G)
- Fortement allié (X)
- Comportant 0,05% de carbone
- 13% de chrome et 4% de nickel

La teneur des éléments d'additions peut varier un peu, mais dans une plage limité. En effet ce type d'acier n'est pas excessivement difficile à souder et permet des soudures de bonne qualité. Afin de rendre un état de surface encore plus lisse pour la face interne de l'auget, on pourra utiliser une rectifieuse afin de d'avoir un état de surface poli.

▪ Les autres constituants

Les autres pièces constituant une turbine Pelton sont relativement simple de conception. La roue qui soutient les augets est aisément constructible par tournage et fraisage à partir d'un moulage.

L'arbre de transmission est obtenu à partir d'un profilé en long cylindrique. Il faut y ajouter des opérations de tournage pour la pose de circlips afin de bloquer l'arbre en translation, ainsi quelques opérations de fraisage afin de le rainurer pour recevoir les clavettes qui permettront d'effectuer le blocage en rotation des roues.

Les roulements et les joints étanches qui assurent le guidage en rotation de l'ensemble seront nécessairement importé ou fournit par une firme extérieure. La qualité des roulements peut-être choisi de manière à anticiper la corrosion et à être légèrement sur-dimensionner afin de prendre en compte l'environnement difficile d'utilisation. De plus, il faut veiller à ce que les paliers soit facilement accessible pour les opérations de lubrification afin d'assurer une bonne maintenance de l'ensemble des chambres de roulement.

Le bâti de la turbine ne pose pas de problème au niveau conception. Réalisé en tôle, certaines parties pourront être pressé et plié pour obtenir des formes particulières. L'assemblage se fait par soudage MIG de préférence. L'ensemble du bâti mécano soudé est ensuite enduit avec une peinture anticorrosion.

2. Assemblages difficiles

▪ Assemblage auget -roue

Cet assemblage est un peu délicat puisqu'il nécessite que les augets soient placés de manière strictement identique autour de la roue. Outre les encoches qui peuvent être pratiqué dans la roue à auget pour positionner sous l'angle adéquate les augets, il faut prévoir l'utilisation d'un gabarit pour fixer la vingtaine d'augets radialement à la roue.

Classiquement, la soudure entre les deux aciers s'effectuent à l'aide d'un soudage MIG ou plus moderne par un soudage par résistance.

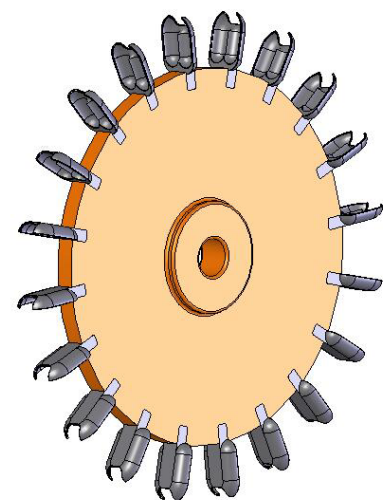


Fig. 6 :
Assemblage de roue Pelton

- **Equilibrage**

Il est nécessaire d'équilibrer statiquement puis dynamiquement la roue Pelton ainsi que son arbre. Si l'équilibrage statique des pièces ne pose en général pas de problème, l'équilibrage dynamique nécessite un banc d'équilibrage supportant une cinquantaine de kilogrammes, avec un diamètre de roue et une longueur de un mètre (fig. 7). La vitesse de rotation du banc doit pouvoir varier entre une centaine de tours par minute et 5400 tr.min^{-1} . Cette plage de vitesse correspond celle d'utilisation de la turbine, 5400 tr.min^{-1} étant la vitesse maximum d'emballage pour une turbine entraînant un alternateur à la fréquence de 50 Hz et n'ayant qu'une paire de pôle sur le rotor.

La technologie d'équilibrage s'approche de celle utilisée pour équilibrer les roues de voiture. Cette étape est indispensable afin d'éviter toutes vibrations au cours du fonctionnement. Les vibrations ont deux conséquences néfastes : elles entraînent des nuisances sonores et participent à l'usure prématurée des roulements.



*Fig. 7 :
Equilibrage d'une roue Pelton*

III. Technique de fabrication à maîtriser

1. Fonderie

L'entreprise désirant produire des turbines Pelton doit maîtriser impérativement les techniques de fonderie relative aux petites pièces moulées. Elle doit également posséder les techniques de préparation de l'acier inoxydable afin de pouvoir doser correctement les proportions de chrome et de nickel dans l'acier.

L'entreprise doit donc être en possession d'un four de fonderie utilisant l'un des procédés de chauffage suivant : résistance électrique, gaz, fioul ou encore induction directement au niveau du creuset. Les moules pour la fonderie sont souvent produites par des sociétés annexes, spécialisé dans la construction mécanique de précision.

2. Soudure

L'entreprise doit posséder des postes de soudure MIG (Metal Inert Gas). Appelé également semi-auto, ces postes sont très adaptés à la petite industrie, de part la flexibilité d'emploi et de part leur grande vitesse de soudage. Cependant, il nécessite l'approvisionnement d'un gaz inerte pour protéger le bain de fusion lors du soudage. Ce peut-être soit de l'argon, soit de l'hélium.

Une autre forme du soudage MIG est le soudage TIG (Tungsten Inert Gas). Il s'agit d'une variante qui peut-être utilisé pour réaliser le bâtis mécano soudé et qui est adapté à de faibles épaisseurs de métal entre 0,20 et 3,0 mm. Plus classiquement, le soudage à l'arc électrique à l'électrode enrobée, dit aussi soudure à l'arc, peut convenir également, bien qu'il présente une résistance et une solidité inférieure aux autres types de soudure. Néanmoins, il présente l'avantage de ne pas nécessiter de gaz protecteur lors de l'opération de soudure, ce qui le rend aisé à mettre en œuvre.

Quelque soit la technologie de soudage employée, l'utilisation de gabarit lors de production en moyenne série est indispensable afin d'avoir des pièces semblables au final. Ils permettent également d'avoir une certaine homogénéité au niveau de l'assemblage et de pouvoir assurer un remplacement aisé en cas d'incident.

3. Les roulements :

Il est important que les ajustements entre l'arbre, les roulements et le bâti soit effectués correctement afin d'avoir une bonne tenue des roulements sur le long terme. Étant donné la configuration de la turbine, il faut monter les roulements serrés sur l'arbre intérieur et ajustés avec jeu par rapport au bâti.

Il est donc nécessaire de posséder les techniques d'usinage par tournage ou par fraisage afin de pouvoir mettre en œuvre les ajustements suivants :

- Pour des roulements à bille ou des roulements à rotule sur rouleaux, il faut prévoir un ajustement de type K6 pour la bague extérieure par rapport au bâti.
- Pour des roulements à billes et un diamètre d'arbre inférieur à 100mm, l'ajustement entre l'arbre et la bague intérieure est un k6, voir un m6 pour des roulements à rotule sur rouleaux.

Exemple : Pour un roulement à bille et un arbre de diamètre 50 mm, les dimensions de l'arbre seront coté 50 H7/k6. Ce qui signifie que le jeu entre les deux pièces est de type « jeu incertain peu serré » et que le montage s'effectue au maillet. Dans ces conditions, le diamètre de l'arbre est obligatoirement compris entre 50,002 mm et 50,018 mm. Ce type d'ajustement permet également un démontage sans détérioration de l'arbre.

4. Les machines outils :

L'entreprise désirent fabriquer des turbines Pelton doit avoir en sa possession tout l'équipement qui incombe une petite société de mécanique : tour, fraiseuse, rectifieuse, perceuse, aléseuse, plieuse, poste de soudure,...

Il est également nécessaire de vérifier que les conditions d'utilisation des différents équipements. À titre d'exemple, il n'est pas tolérable que des ouvriers soudent sans avoir de masque de protection et des lunettes adaptées.

IV. Maintenance

1. Opérations d'entretien

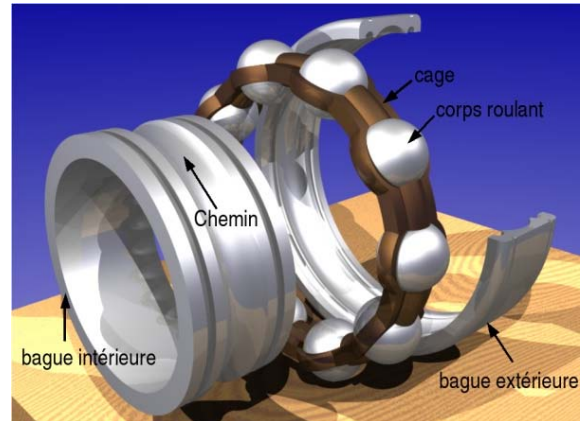


Fig. 8 : Roulement à bille

- Les roulements :

Il convient de changer les roulements sur les turbines environ tous les 10 à 15 ans. Cette valeur dépend du dimensionnement des roulements et de la fréquence de lubrification. Il est recommandé de changer l'huile ou le lubrifiant en moyenne tous les ans. La fréquence de lubrification et de changement des roulements dépend également de la vitesse de rotation. Ainsi, une génératrice n'ayant qu'une paire de pôles sur le rotor doit tourner deux fois plus vite qu'une génératrice double pôles et use donc plus vite ses roulements.

- Petites opérations de maintenance

En dehors du graissage des roulements qui conditionne la durée de vie de la machine, des petites opérations de maintenance sont nécessaires pour maintenir la turbine dans un bon état. Il est impératif que les points de rouilles soient éliminés dès leur apparition et traiter ensuite en appliquant une peinture anti-rouille.

Il faut également vérifier lors des révisions le bon fonctionnement des injecteurs, ainsi que des augets qui ne doivent pas présenter d'éclats ou de fentes. Dans le même ordre d'idée, il faut s'assurer que rien n'encombre le canal de fuite. La vérification des joints d'étanchéité au niveau des roulements doit être systématique, une perte de lubrifiant entraînant la destruction rapide des paliers par échauffement.

En soit une turbine Pelton ne nécessite pas de grosses opérations de maintenance en dehors du changement des roulements. Elle peut être révisé de manière mensuelle par un technicien formé sur le produit.

2. Formations requises pour assurer la maintenance

Les petites opérations d'entretien ne nécessitent pas une qualification importante. Un ouvrier formé sur ce genre de maintenance avec un niveau de type baccalauréat technique est à même de l'effectuer.

En revanche, le changement des roulements fait appel à des notions de mécanique plus poussé pour être effectué correctement. Un technicien avec un BTS en mécanique ou équivalent est à même de pouvoir procéder au remplacement des roulements et des joints d'étanchéité.