

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

SYMBOLES

ABREVIATIONS

INTRODUCTION..... 1

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION D'UNE MICROCENTRALE HYDRAULIQUE..2

Chapitre 1 : NOTION SUR LES MICROCENTRALES HYDRAULIQUES3

1. Généralité3

2. Description des centrales hydrauliques4

3. Classification des petites centrales et de leurs composants.....5

a) Installation à basse pression :5

b) Installation à moyenne et haute pression :5

Chapitre 2 : COMPOSITION D'UNE INSTALLATION MICROCENTRALE HYDRAULIQUE..7

1. L'ouvrage de génie civil7

2. Les équipements électromécaniques :7

Un ouvrage de prise d'eau adapté à la nature du terrain et le barrage:8

Evacuateur de crue:8

Un canal d'amenée en béton, un bassin de mise en charge et une conduite forcée en acier munie d'une grille qui retient les corps solides9

Passeà poissons :9

Une turbine transformant en énergie mécanique l'énergie hydraulique.....9

La bêche d'entrée d'eau :9

La roue et les pales :10

Le diffuseur ou canal de fuite :10

Un générateur produisant l'énergie électrique à partir de l'énergie mécanique de la turbine ...10

<input type="checkbox"/> Un système de régulation, de contrôle et de sécurité.....	11
<input type="checkbox"/> Ligne de transport et réseau de distribution électriques.....	11
<input type="checkbox"/> Bâtiment usine :.....	11
Chapitre 3 : DIFFERENTS TYPES DE TURBINES	12
I. La turbine à action :	12
a) Turbine Pelton :	12
b) Turbine Cross-Flow :	14
II. La turbine à réaction :.....	15
a) Turbine Francis	15
b) Turbine Kaplan et turbine hélice.....	17
<input type="checkbox"/> Leurs possibilités de réglage, selon les exigences du site :.....	17
<input type="checkbox"/> Le type d'écoulement :.....	17
c) Différents types d'installation des microcentrales à basse chute :.....	18
 DEUXIEME PARTIE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES TURBINES ET LES ETAPES A SUIVRE POUR L'ELABORATION D'UNE MICROCENTRALE HYDRAULIQUE.....	 20
Chapitre 1 : DETERMINATION DU TURBINE SUIVANT LE SITE D'INSTALLATION.....	21
1. Ressource hydroélectrique du site.....	21
2. Choix de la turbine a utiliser	21
Chapitre 2 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES TURBINES A HELICES ALIMENTEES PAR UN SIPHON	22
1. Chaîne cinématique de l'ensemble.....	22
2 : Alimentation :.....	23
<input type="checkbox"/> La régulation amont :.....	23
<input type="checkbox"/> La régulation aval :.....	24
<input type="checkbox"/> La régulation mixte :.....	25
4. Le réseau électrique :.....	25
Récapitulation :	26

Chapitre 3 : LES DONNEES NECESSAIRES AU DIMENSIONNEMENT D'UNE MICROCENTRALE HYDRAULIQUE	27
1. Etape à suivre pour l'élaboration d'une petite centrale hydroélectrique.....	27
a) Etude de faisabilité.....	27
b) Description des études à faire :	28
2. Marche à suivre pour la planification et la réalisation des microcentrales :	28
3. Déroulement et durée estimative de projet de petite centrale :	31
 TROISIEME PARTIE : CALCULS ET DIMENSIONNEMENT	32
 Chapitre 1 : DIMENSIONNEMENT DE LA TURBINE HYDRAULIQUE :.....	33
1.1 Description du site :.....	33
1.2 Les pertes et les différentes hauteurs de la turbine.....	33
1.2.1 Hauteur d'aspiration.....	34
1.2.2 Hauteur d'aspiration maximale :	34
1.3 La cavitation :.....	35
1.3 Dimensionnement de la turbine :	38
1.3.1 Hauteur de chute nette H_n [m] :	38
1.3.2 Puissance délivrée par la turbine	39
1.3.3 La vitesse spécifique en fonction de la puissance et du débit	40
•Vitesse spécifique en fonction de la puissance :.....	40
•Vitesse spécifique en fonction du débit	40
1.3.4 Vitesse angulaire spécifique :.....	41
 Chapitre 2 : DIMENSIONNEMENT SUR LA ROUE ET SUR LE CANAL D'ENCEINTE.....	43
2.1. Dimensionnement de la roue.....	43
2.1.1 Diamètre extérieur de la roue :	43
2.1.2 Diamètre du canal d'enceinte :	44
2.1.3 Diamètre du moyeu de la roue :	44
2.1.4 Calcul de la vitesse à la sortie de la roue :.....	45

2.2. Etape de calcul pour la réalisation des pales	46
2.2.1 Les lignes de courant	46
2.2.2 Calcul du coefficient de portance C_z :	47
Interprétation :	51
2.2.3 Tracé des pales :	51
Interprétation :	55
Chapitre 3 : DIMENSIONNEMENT DU DISTRIBUTEUR	56
3.1 Définition :	56
3.2 Hauteur du distributeur :	56
3.3 Vitesse à la sortie du distributeur	57
3.4 Vitesse à l'entrée du distributeur :	57
3.5 Angle d'injection α :	58
3.6 Courbure des ailettes mobiles :	58
3.7 Nombre d'ailettes :	59
Récapitulation :	59
QUATRIEME PARTIE : ESTIMATION DU COUT D'UNE MICROCENTRALE	
HYDRAULIQUE	60
1. Coût d'une petite centrale hydroélectrique	61
2. Estimation des couts des matériels utilisés pour la turbine	61
3. Estimation du coût de la microcentrale hydraulique	62
Les avantages des microcentrales	62
CINQUIEME PARTIE : VOLET ENVIRONNEMENTAL	63
5.1. Etude d'impact environnemental	64
5.1.1 Documents nécessaires avant la réalisation du projet	65
5.1.2. La microcentrale sur l'environnement :	66
5.2. Les principaux impacts susceptibles d'être causés par le projet et mesure d'atténuation.....	67

5.2.1 Débits de restitution :	67
5.2.2 Exigences de la pêche :	69
5.2.3 Installations dans le paysage :	70
Récapitulation :	71
CONCLUSION	72
BIBLIOGRAPHIE :	73
COURS :	Erreur ! Signet non défini.
SITES WEB:	73
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : vue d'ensemble d'une centrale à haute pression sur canal de dérivation.....	6
Figure 2 : principe de fonctionnement d'une turbine Pelton et ses composants.....	13
Figure 3 : roue d'une turbine Pelton.....	13
Figure 4 : principe de fonctionnement d'une turbine Cross-Flow et ses composants.....	14
Figure 5 : paramètres et roue d'une turbine Cross-Flow.....	15
Figure 6 : composants d'une turbine Francis et la forme des roues.....	16
Figure 7 : composants des turbines à hélices et Kaplan avec ses roues.....	18
Figure 8 : turbine Francis en chambre d'eau.....	19
Figure 9 : turbine hélice ou Kaplan à simple réglage en siphon.....	19
Figure 10 : turbine hélice ou Kaplan type bulbe dans le barrage	19
Figure 11 : chaîne cinématique.....	22
Figure 12 : vue globale de l'installation.....	23
Figure 13 : principe de régulation « vitesse débit »	24
Figure 14 : principe de régulation « charge fréquence »	24
Figure 15 : première phase du projet, de l'idée au départ de l'étude.....	29
Figure 16 : hauteur d'aspiration H_s	34
Figure 17 : phénomène de cavitation sur un aubage.....	35
Figure 18 : coefficient de cavitation en fonction de la vitesse spécifique.....	36
Figure 19 : hauteurs d'aspiration d'une turbine.....	37
Figure 20 : composants et profil au long d'une petite centrale hydraulique.....	38
Figure 21 : diagramme (H_n, Q) déterminant les différents types de turbines.....	40
Figure 22 : plage de fonctionnement des turbines en fonction de la vitesse spécifique Ω	42
Figure 23 : caractéristiques de la turbine.....	43
Figure 24 : rapport m en fonction de la hauteur de chute H_n	44
Figure 25 : triangle de vitesse à l'entrée et à la sortie de la roue.....	45
Figure 26 : forme des lignes du courant dans la turbine.....	46
Figure 27 : nombre d'aubes d'une roue à hélices en fonction de la vitesse spécifique n_s	48
Figure 28 : courbe de variation de vitesse en fonction des lignes du courant.....	49
Figure 29 : courbe de variation de vitesse d'entraînement et de la vitesse périphérique d'entrée de l'eau en fonction des lignes du courant.....	50
Figure 30 : courbe de variation de β_∞ en fonction des lignes du courant.....	50

Figure 31 : courbe de variation du coefficient de portance en fonction des lignes du courant.....	50
Figure 32 : différents types du profil.....	52
Figure 33 : courbes d'évolution de la performance aérodynamique globale avec l'angle d'incidence..	52
Figure 34 : principe de tracé des pales.....	53
Figure 35 : courbe de variation de l'épaisseur réelle du profil en fonction des lignes du courant.....	54
Figure 36 : courbe de variation de l'épaisseur réelle du profil après correction.....	55
Figure 37 : forme finale d'une pale après traçage.....	55
Figure 38 : forme caractéristique du distributeur	56
Figure 39 : définition des débits de restitution.....	67
Figure 40 : type d'installation d'une passe à poisson.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : déroulement du projet de microcentrale.....	30
Tableau 2 : déroulement détaillé d'un projet d'une petite centrale hydraulique.....	31
Tableau 3 : atmosphère normalisée internationale INA.....	37
Tableau 4 : variation de la pression de dégagement de vapeur.....	37
Tableau 5 : calcul du coefficient de portance C_z	49
Tableau 6 : calcul pour le tracé de pale	54
Tableau 7 : prix estimatifs des matériels d'une turbine hélice.....	61
Tableau 8 : prix estimatifs d'une microcentrale hydraulique alimentée par siphon	62

SYMBOLES

<i>Symboles</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unités</i>
P	Puissance	[W]
η	Rendement global	
η_M	Rendement mécanique	
η_V	Rendement volumétrique	
η_H	Rendement hydraulique	
Q	Débit	[m ³ /s]
H _n	Hauteur de chute nette	[m]
H _a	Pression atmosphérique	[Pa]
H _b	Hauteur brute	[m]
H _s	Hauteur d'aspiration	[m]
H _v	Pression de dégagement de vapeur	[Pa]
σ	Coefficient de cavitation	
A	Coefficient calculé pour un point de fonctionnement nominal	
ρ	Masse volumique de l'eau	[Kg/m ³]
g	Accélération de pesanteur	[m/s ²]
N	Vitesse de rotation de la turbine	[tr/mn]
n _s	Vitesse spécifique en fonction de la puissance	[tr/mn]
n _q	Vitesse spécifique en fonction du débit	[tr/mn]
Ω	Vitesse angulaire spécifique	[rad/s]
ω	Vitesse angulaire de rotation	[rad/s]
K _u	Coefficient de vitesse	
D _{ep}	Diamètre extérieur de la roue	[mm]
D _e	Diamètre du canal d'enceinte	[mm]
D _m	Diamètre du moyeu	[mm]
m	Rapport entre D _m et D _{ep}	
α	Interstice	[mm]
C	Vitesse absolue de l'eau	[m/s]
C _m	Composante méridienne de la vitesse de l'eau	[m/s]
$\Delta c_u = C_{u1}$	Composante périphérique de la vitesse de l'eau	[m/s]
K _{cm}	Coefficient de la vitesse méridienne	

<i>Symboles</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unités</i>
W_{∞}	Vitesse à l'infini	[m/s]
β_{∞}	Angle	[°]
ΔZ	Portance	
C_z	Coefficient de portance	
ΔX	Trainée	
ΔM	Tangage	
ε	Angle d'injection	[°]
α	Angle d'incidence	[°]
Z	Nombre de pales de la roue	
t	Pas circonférentiel d'aubage	[mm]
L	Longueur des profils	[mm]
Y	Epaisseur maxi des profils	[mm]
F_a	Facteur d'agrandissement ou d'amincissement	
B_o	Hauteur du distributeur	[mm]
f	Facteur pour le calcul de la hauteur du distributeur	
R_{eD}	Rayon d'entrée du distributeur	[mm]
R_{SD}	Rayon de sortie du distributeur	[mm]
R_{CD}	Rayon du cercle tourbillon	[mm]
$C_{u_{sD}}$	vitesse à la sortie du distributeur	[m/s]
$C_{u_{eD}}$	vitesse à l'entrée du distributeur	[m/s]
k	coefficient égal à $\tan \alpha$	
θ	angle que fait R avec R_o ($R_o=R_{SD}$; $R = R_{eD}$)	[°]
Z_D	nombre d'ailettes du distributeur	

ABREVIATIONS

<i>Abréviations</i>	<i>Désignation</i>
Maxi	Maximum
Min.	Minimum
LPE	Loi sur la protection de l'environnement
Nbr	Nombre
EIE	Etude d'Impact Environnemental
ONE	Office National pour l'Environnement
PGEP	Plan de Gestion Environnemental du Projet
MECIE	la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement



INTRODUCTION

La dégradation de l'environnement et l'effet de la pollution causés par l'homme ne cessent d'augmenter; la diminution du pétrole qui est la source d'énergie la plus utilisée depuis le XX^{ème} siècle jusqu'aujourd'hui commence à poser des problèmes aux exploitants ainsi qu'aux utilisateurs. C'est pourquoi les chercheurs et les dirigeants de tous les pays développés sonnent l'alarme et font appel à l'utilisation de l'énergie renouvelable afin de remédier à ces fléaux. Réputée propre et non polluante, elle est de plus en plus répandue de nos jours, surtout dans les pays en voie de développement.

Les microcentrales hydrauliques, une technologie déjà utilisée depuis plus de 100 ans font parties des énergies renouvelables, elles produisent de l'électricité à partir de l'énergie dévastatrice de l'eau en mouvement. Cette énergie est fournie par des roues à eau ou des turbines hydrauliques qui sont les éléments primordiales dans la transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique. Elles peuvent être utilisées dès que l'eau atteint un volume suffisant et un débit régulier. Les microcentrales hydrauliques sont une solution efficace pour le ravitaillement en électricité des sites non raccordés au réseau comme le cas de régions éloignées, des communautés isolées. Elles existent maintenant en plusieurs variantes et sa puissance est de 5 à 500 KW pour des chutes de 1.5 à 400 m et des débits de quelques centaines de litres par seconde à quelques dizaines de mètres cubes par seconde.

Les turbines à hélices et Kaplan sont les plus adéquates pour les faibles chutes, environs de 1.5 à 60 m et un débit de 1 à 100 m³/s.

Actuellement, il existe encore beaucoup de villages ou sites isolés qui n'ont pas encore de l'électricité à Madagascar or qu'il fait parti des pays qui possède le plus de potentiel hydroélectrique en Afrique. On y rencontre beaucoup de cours d'eau ainsi que des fleuves qui puissent être utiles pour fournir de l'énergie électrique. L'exploitation des sites à très basses chutes s'avère nécessaire par l'utilisation d'un siphon.

D'où l'importance de ce mémoire intitulé : « TURBINE D'UNE MICROCENTRALE HYDROELECTRIQUE ».

Pour ce faire, la première partie consiste à la présentation d'une microcentrale hydraulique, la deuxième, le principe de fonctionnement des turbines et les étapes à suivre pour l'élaboration d'une microcentrale hydraulique. Dans la troisième partie, les calculs et le dimensionnement de la turbine. Ensuite la quatrième partie représente l'estimation du coût de la microcentrale et en fin l'étude environnementale dans la cinquième partie.



PREMIERE PARTIE :

PRESENTATION D'UNE

MICROCENTRALE HYDRAULIQUE



CHAPITRE 1 : NOTION SUR LES MICROCENTRALES HYDRAULIQUES

1. GENERALITE

La technologie de la plupart des grandes installations n'a pas évolué au cours du XX^e siècle. Les centrales sont reliées à un grand réservoir d'eau situé en amont du barrage dont le débit peut être contrôlé et le niveau maintenu constant. L'eau est transportée par des conduites, appelées canaux d'amenée, commandées par des vannes ou des portes de turbine, afin que le débit corresponde à la demande en énergie. Elle passe ensuite dans les turbines et est évacuée par une galerie d'évacuation. Les générateurs d'énergie sont directement installés au-dessus des turbines sur des axes verticaux. La conception des turbines dépend de la charge d'eau disponible, les turbines Francis étant utilisées pour les charges élevées et les turbines à hélices pour les charges légères.

Les microcentrales hydroélectriques sont des installations de production d'électricité de faible puissance variant de 5 à 500 KW. Dans les installations modernes, on a privilégié l'accroissement des hauteurs de chute d'eau et l'augmentation de la taille de l'unité pour accroître la puissance fournie par les turbines. Les turbines Kaplan sont maintenant utilisées avec des chutes près de 60 m et les turbines Francis, avec des hauteurs pouvant aller jusqu'à 610 m. La plus Haute chute d'eau (environ 1770 m) utilisant une roue de Pelton se trouve à Reisseck en Autriche.

Pour le cas des turbines à basse chute, il s'agit dans la plupart des cas des centrales au fil de l'eau travaillant sur un débit d'étiage. Les travaux de génie civil sur l'ouvrage de prise et d'adduction d'eau sont réalisés au moindre coût.

Aujourd'hui, avant de réaliser un système de turbine de grande puissance, les ingénieurs développent des modèles réduits pour étudier le comportement de la roue de turbine en fonction de la hauteur de chute. Les lois de similitude permettent de savoir, de manière assez précise, quelles seront les caractéristiques de la turbine hydraulique à réaliser.

La plupart des systèmes hydroélectriques de petites retenues d'eau construits avant 1930 furent abandonnés en raison des coûts de maintenance et de main-d'œuvre élevés. Les augmentations successives du prix du pétrole brut ont réactualisé ces installations. Avec le développement standardisé des turbines à hélices à arbres quasi horizontaux, les petites installations sont redevenues intéressantes. Le rendement des turbines hydrauliques peut atteindre 90 % selon le type d'installation.



2. DESCRIPTION DES CENTRALES HYDRAULIQUES

Une centrale hydroélectrique utilise la force hydraulique d'une chute d'eau qui permet d'actionner une turbine dont le mouvement est transféré à un alternateur qui produit de l'électricité. La puissance, qui peut être produite est proportionnelle à la hauteur de la chute et au débit d'eau disponible. La hauteur de la chute se mesure entre la surface libre de l'eau en amont de la prise d'eau et l'axe de la turbine. De manière approximative, mais conservatrice, on peut obtenir la puissance d'un site en kW, en multipliant par 7 le produit de la hauteur de chute en mètres par le débit d'eau, en m³/s.

Pour les moyennes et hautes chutes, la centrale est alimentée par une conduite forcée depuis la retenue qui constitue le barrage.

Pour les basses chutes, la microcentrale, qui peut être un groupe bulbe, est installée au pied même de l'ouvrage ; elle est souvent alimentée par siphon ou en bout de conduite.

Dans le cas des groupes en siphon, le groupe qui comprend la turbine, la distributrice et la génératrice, se trouve hors de l'eau. Pour arrêter le groupe, il suffit d'entrer de l'air dans la conduite par une soupape.

Les avantages de ces installations sont multiples :

- Récupération d'une partie de l'énergie sauvage des cours d'eau.
- Travaux de génie civile réduits, surtout si l'on utilise les barrages existants.
- Technologie fiable : sauf accident, les microcentrales ont une durée de vie élevée.

L'élément de base d'une turbine est une roue ou un rotor à ailettes, à hélices, à lames, à aubes ou à augets disposés sur sa circonférence, de façon que le fluide en mouvement exerce une force tangentielle qui fait tourner la roue et lui confère de l'énergie mécanique. Cette dernière est ensuite transmise par un arbre qui fait tourner un moteur, un compresseur ou un générateur. On distingue les turbines hydrauliques ou à eau, les turbines à vapeur et les turbines à gaz. Dans le langage courant, le terme turbine désigne une installation de production d'énergie, la turbine étant parfois constituée de plusieurs étages. Aujourd'hui, les générateurs à turbine produisent la plus grande partie de l'énergie électrique dans le monde.



3. CLASSIFICATION DES PETITES CENTRALES ET DE LEURS COMPOSANTS

La classification des microcentrales s'effectue en fonction de la manière dont l'eau a été captée et conduit à la turbine, de l'emplacement de cette dernière et de la hauteur de chute ou dénivellation exploitée. On distingue deux classes principales de petites centrales :

a) Installation à basse pression :

C'est une installation située le long d'un cours d'eau ou sur un canal de dérivation. L'ouvrage le plus important est le barrage, ou prise d'eau, le plus souvent construit en béton. Sa fonction est de détourner le débit nécessaire directement vers la turbine ou dans un canal de dérivation tout en laissant passer les crues. La centrale est soit intégrée directement dans le barrage, soit placée en dehors du canal. Les systèmes de régulation et de contrôle des paramètres électriques sont automatisés et se font après le générateur.

En règle générale, il n'y a pas de conduite forcée ou celle-ci reste très courte. Les chutes varient entre 1.5 à 20 mètres et la pression dans la turbine est faible (0,2 à 2 bars).

b) Installation à moyenne et haute pression :

Type d'installation situé sur des cours d'eau, des sources de montagne, des réseaux d'eau potable et dans des circuits hydrauliques industriels.

La constitution de ce type de centrale est un peu complexe car il doit être muni de tous les éléments nécessaires dans une installation d'une microcentrale afin d'avoir un meilleur rendement et pour éviter les risques de détérioration.

Donc, aux composants mentionnés pour la première catégorie s'ajoute une conduite forcée soit entre la prise d'eau et la centrale, soit entre l'extrémité du canal de dérivation et la centrale. La conduite est l'ouvrage le plus important pour ce type de petite centrale. Elles sont équipées d'un système de régulation de débit pour limiter la pression.

La figure suivante montre les parties les plus importantes d'une centrale à haute pression sur un canal de dérivation.

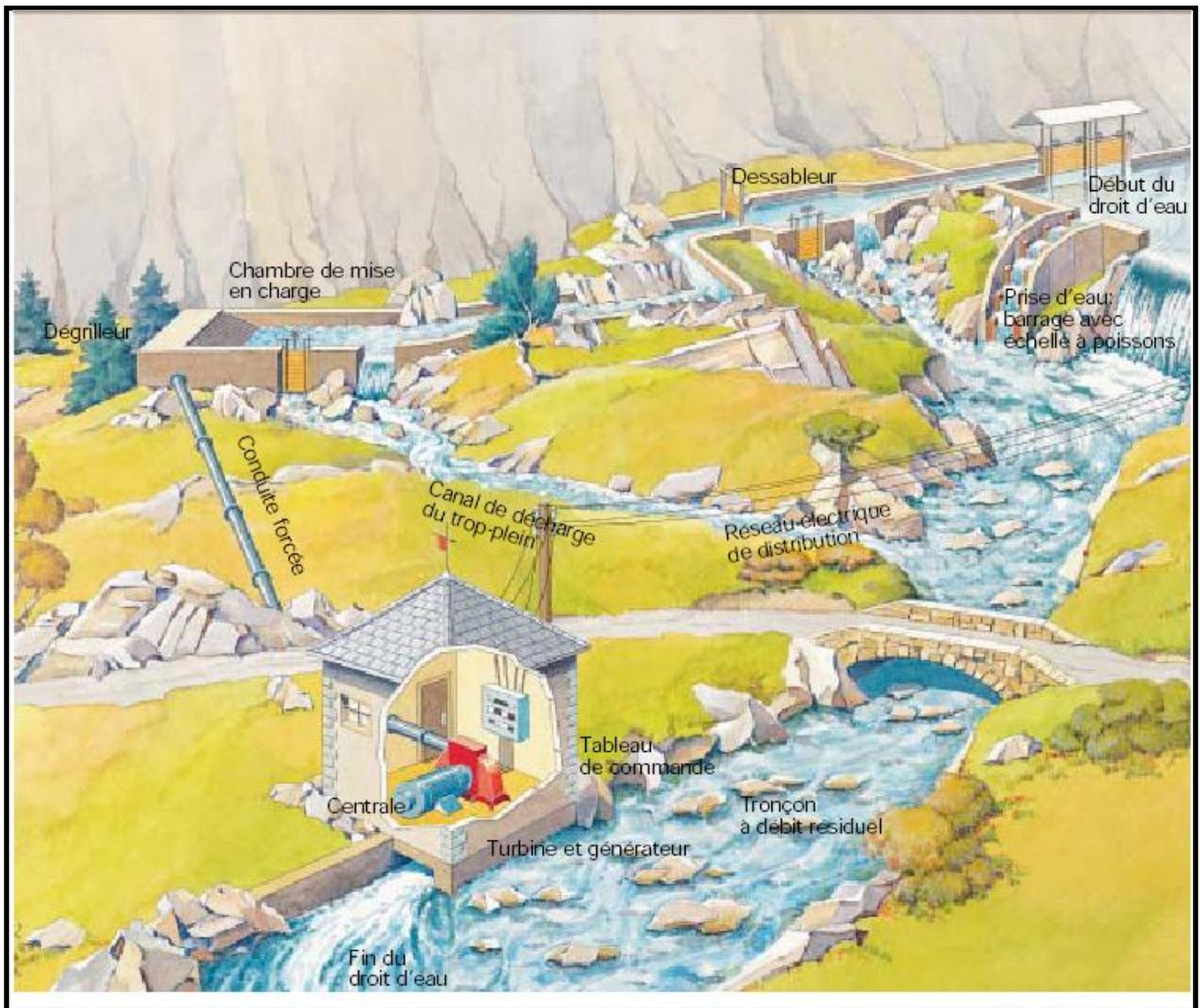


Figure 1 : Vue d'ensemble d'une centrale à haute pression sur canal de dérivation

Dans leur principe, les petites centrales se distinguent peu des grandes installations. La différence se situe avant tout au niveau de la simplicité de conception et d'exploitation.

En effet, les petites centrales doivent, non seulement, être peu coûteuses à la construction mais aussi pouvoir fonctionner automatiquement sans personnel permanent et avec un minimum de surveillance et d'entretien. En règle générale elles sont exploitées au fil de l'eau, sans réservoir d'accumulation, éléments trop coûteux pour de petites installations. Lorsqu'il y a stockage temporaire par le biais d'un étang ou d'un réservoir, celui-ci sert tout au plus à produire de l'énergie de pointe durant quelques heures de la journée.



CHAPITRE 2 : COMPOSITION D'UNE INSTALLATION MICROCENTRALE HYDRAULIQUE

Dans une centrale hydroélectrique, on distingue trois types de travaux pour la réalisation d'une Microcentrale hydraulique : les ouvrages de génie civil, les équipements hydrauliques et les équipements électriques. Les deux derniers sont parfois rassemblés sous le nom d' « équipements électromécaniques ».

1. L'ouvrage de génie civil

La fonction des ouvrages de génie civil est d'approvisionner en eau la turbine. Ils permettent aussi de bâtir éventuellement un réservoir d'eau. Ils comprennent aussi le bâtiment de la centrale qui abrite les équipements mécaniques et électriques. Le plus important ouvrage de génie civil est soit le barrage, soit la digue de dérivation qui doit être érigés dans le lit d'un cours d'eau pour en dévier une très grande partie, voire la totalité du débit vers la prise d'eau de la centrale.

Le génie civil est la partie la plus déterminante dans l'analyse de faisabilité d'un petit projet hydroélectrique. Ces travaux représentent environ 60 % de l'investissement nécessaire à de tels projets et une mauvaise planification de ses coûts peut avoir un effet désastreux sur leur rentabilité. Dans un petit projet hydroélectrique, il n'est généralement pas rentable d'envisager la construction d'un barrage assez important pour créer un réservoir.

2. Les équipements électromécaniques :

Ils comprennent les turbines actionnées par l'eau et les génératrices électriques, dont la puissance produite doit être contrôlée avant de pouvoir être envoyée sur le réseau en passant par un poste de raccordement.

Plusieurs autres composants constituent une centrale hydroélectrique, aussi bien électriques que mécaniques. Quelquefois, on utilise un multiplicateur de vitesse pour ajuster la rotation de la turbine à celle à laquelle doit tourner la génératrice pour fournir le courant alternatif à la bonne fréquence. Des systèmes électromécaniques, tels que des vannes de régulations du débit d'eau, contrôlent les conditions d'opération de la centrale électrique et protègent les installations. En général, le poste de raccordement électrique comprend un transformateur qui amène la tension à celle des lignes de transport et de distribution d'électricité produite.



D'une façon générale, une installation de microcentrale hydroélectrique comporte plusieurs éléments :

- **Un ouvrage de prise d'eau adapté à la nature du terrain et le barrage :**

Le barrage de dérivation dirige l'eau dans un canal, un tunnel ou directement dans une conduite forcée. D'ordinaire, les petites centrales hydroélectriques pour le ravitaillement en électricité d'un village ou d'une région isolée sont des installations au fil de l'eau, l'eau n'est pas stockée dans un réservoir et ce dernier n'est pas utilisé que lorsqu'il est indispensable ou quand la puissance électrique à produire est assez élevée, donc l'énergie produite par celle-ci variera en fonction du débit de la rivière sur laquelle elle est construite. Pour assurer que la puissance délivrée par la centrale est suffisante, il faut tenir compte du débit minimal de la rivière pendant la période de sécheresse. Il faudra prévoir des groupes électrogènes ou d'autres sources d'énergie auxiliaires si le débit minimum de la rivière ne réussit pas à combler ces besoins.

Le coût de grand barrage de retenue avec accumulateur n'est normalement pas justifié pour les petits projets hydroélectriques. 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. C'est pourquoi les petits projets hydroélectriques ne comprendront généralement qu'une simple retenue d'eau à la rigueur capable de s'adapter à des variations de la demande sur de courtes périodes, à moins qu'il n'existe déjà, en amont du projet, un réservoir naturel ou un barrage existant.

- **Evacuateur de crue :**

Il s'agit d'un ouvrage destiné à faciliter les écoulements des crues dont la périodicité et les débits ont été définis dans l'étude hydrologique, et à éviter une détérioration des ouvrages. Son dimensionnement et sa réalisation doivent être particulièrement étudiés pour les ouvrages en remblais (qui ne supporteraient pas l'action du déversement) avec le souci de rester dans un coût d'exécution compatible avec l'objectif d'utilisation fixé dans le projet et le revenu de la production énergétique.



- **Un canal d'amenée en béton, un bassin de mise en charge et une conduite forcée en acier munie d'une grille qui retient les corps solides**

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, qui peut parfois prendre la forme d'un tunnel souterrain, 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. Les conduites forcées peuvent admettre des vitesses de l'ordre de 3 à 8 m/s.
- 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 permette les opérations d'entretien.

- **Passe à poissons :**

C'est un dispositif pour faire passer les poissons migrateurs, il protège la faune aquatique en supprimant la perturbation et la discontinuité causées par les barrages. Ces dispositifs sont conçus et réalisés sur la base d'une bonne connaissance des sens et des périodes de migration des espèces dans les rivières.

- **Une turbine transformant en énergie mécanique l'énergie hydraulique**

La turbine est composée de trois parties :

- **la bêche d'entrée d'eau :**

La bêche d'entrée d'eau est un conduit en colimaçon de section progressivement décroissante et qui a pour rôle de répartir l'énergie de l'eau arrivant au distributeur de manière constante. Au droit de liaison entre la bêche et les distributeurs, on peut facultativement disposer des entretoises fixes orientant les filets liquides vers l'entrée des directrices du distributeur, appelés avant directrices.

Il existe deux types de bêche d'entrée d'eau : bêche spirale de section circulaire et bêche spirale de section plus ou moins rectangulaire.



➤ **la roue et les pales :**

Sa réalisation peut être faite à partir d'assemblage de plusieurs pièces ou en une seule pièce uniquement c'est-à-dire monobloc selon la possibilité de montage, d'usinage et la dimension de la turbine à réaliser. En fait, quand la roue et les pales sont démontables, ils présentent plus d'avantages par rapport à l'ensemble monobloc au niveau de maintenance et entretien car il suffit de changer les pièces usées dans le cas où il est démontable tandis que pour l'ensemble en monobloc, il faut changer tout.

➤ **Le diffuseur ou canal de fuite :**

A la sortie des turbines, les eaux dites « eaux turbinées » sont renvoyées dans la rivière ou le cours d'eau en aval par un canal de fuite revêtu à sa partie supérieure, afin d'éviter tout affouillement et toute détérioration de l'usine ; la pose d'une grille faisant obstacle aux poissons anadromes est nécessaire.

▪ **Un générateur produisant l'énergie électrique à partir de l'énergie mécanique de la turbine**

La pièce électrique la plus importante dans une petite centrale hydroélectrique est la génératrice de courant que l'on peut également appeler alternateur puisqu'il s'agit de production de courant alternatif. Cette génératrice peut être de type synchrone ou de type asynchrone.

Une génératrice asynchrone, appelée aussi génératrice à induction, peut être utilisée dans les projets qui sont raccordés à un réseau électrique central. Elle a besoin du courant alternatif du réseau pour créer un champ magnétique tournant à l'aide d'une série d'électroaimants placés de manière circulaire autour d'une cage conductrice.

Dans une génératrice synchrone, la cage tournant est remplacée par un électroaimant qui génère un champ magnétique tournant. Cependant, une génératrice synchrone n'a pas besoin qu'un courant alternatif l'alimente initialement. Elle peut fonctionner de manière autonome et la fréquence de l'électricité produite sera un multiple de la vitesse de la rotation de la turbine qui actionne la génératrice. C'est par conséquent le type de génératrice qui est utilisé sur les réseaux autonomes ou sur les réseaux qui n'ont pas d'autres centrales électriques.



- **Un système de régulation, de contrôle et de sécurité.**

La puissance consommée par l'utilisateur varie suivant leur besoin et la vitesse ainsi que le débit de l'eau n'est pas toujours constant au cours de l'année. Donc pour satisfaire au besoin des utilisateurs, une microcentrale doit être munie de système de régulation et de contrôle manuel ou automatique de préférence. Pour un réseau isolé, le groupe turbine-générateur doit avoir la capacité de maintenir par lui-même une tension et une fréquence constantes. La puissance produite par le générateur doit être identique à celle consommée par les utilisateurs. Si tel n'est pas le cas (la fréquence et la tension se modifient) il est possible de causer des dommages aux appareils consommateurs (moteurs, lampes, ...), aussi bien qu'aux installations de production.

La tension est maintenue constante par un régulateur électronique intégré au générateur. La fréquence est fixée par la vitesse de la turbine, dont le réglage est également assuré, de nos jours, presque exclusivement par voie électronique ou électromécanique.

- **Ligne de transport et réseau de distribution électriques.**

Un réseau électrique est un ensemble de consommateurs et de centrales électriques, tous reliés par des lignes de transport et de distribution d'électricité sur un territoire donné.

Il peut y avoir un transformateur élévateur après le générateur l'énergie électrique pour diminuer les pertes en ligne au cas où la distance entre l'utilisateur et la microcentrale est trop élevée (>à 1 km) et un transformateur abaisseur à l'extrémité du linge.

- **Bâtiment usine :**

La construction de bâtiments légers protégeant les équipements électromécaniques, en sus des normes classiques, doit tenir compte des risques de crues et des atteintes, d'ordre esthétique et paysager, à l'environnement. Selon la proximité des habitations, un dispositif d'insonorisation peut être mis en place. Le bâtiment usine renferme plusieurs éléments : la turbine, le générateur et le système de régulation.



CHAPITRE 3 : DIFFERENTS TYPES DE TURBINES

Il existe deux types de turbines selon son mode de fonctionnement : la turbine à action et la turbine à réaction.

I. La turbine à action :

Il consiste à diriger des jets libres sur des aubes profilées situées sur la périphérie de la roue (action), qui à son tour exerce une force entraînant la roue en rotation. Le mouvement de rotation est ensuite transformé en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine. La roue de la turbine est dénoyée et tourne dans l'air. Ce type de turbine est caractérisé par le fait que l'énergie à disposition de l'aubage est entièrement sous forme d'énergie cinétique. La pression exercée sur les aubes est constante, généralement la pression atmosphérique.

On distingue deux types de turbine à action : la turbine Pelton et la turbine Cross-Flow.

a) Turbine Pelton :

La turbine Pelton, du nom de l'ingénieur Américain Lester Allen Pelton, est une turbine à axe vertical. La turbine Pelton est constituée par une roue à augets qui est mise en mouvement par un jet d'eau provenant d'un injecteur. Les augets de la turbine Pelton sont profilés pour obtenir un maximum de rendement en permettant à l'eau de s'échapper sur les côtés de la roue. Ils comportent une échancrure qui assure une pénétration progressive optimale du jet dans l'auget. L'injecteur est conçu pour produire un jet cylindrique aussi homogène que possible avec un minimum de dispersion.

La turbine Pelton est adaptée pour une chute élevée et un faible débit. L'eau est amenée depuis un réservoir supérieur par une conduite forcée, jusqu'à une tuyère, où son énergie potentielle est convertie en énergie cinétique. Le jet obtenu est alors dirigé perpendiculairement sur les augets à l'aide d'un injecteur (le nombre d'augets est en général une vingtaine). Le jet incident rebondit contre les augets qui entraînent en rotation la roue sur laquelle ils sont fixés. On produit ainsi de l'énergie mécanique à partir de l'énergie cinétique du jet incident.

La turbine Pelton peut être réalisée avec un seul jet ou des jets multiples (≤ 6). L'action de la roue Pelton dépend surtout de l'action du jet sur la roue. Le débit est réglable avec un pointeau mobile situé à l'intérieur de l'injecteur, ce pointeau est commandé par un servomoteur hydraulique ou électrique.

La turbine Pelton comporte aussi dans la majorité des cas un déflecteur qui se place rapidement entre l'injecteur et la roue pour dévier le jet, ceci pour éviter l'emballement de la turbine en cas de déclenchement brusque de la génératrice.



La figure suivante montre le principe de fonctionnement d'une turbine Pelton utilisant un seul jet.

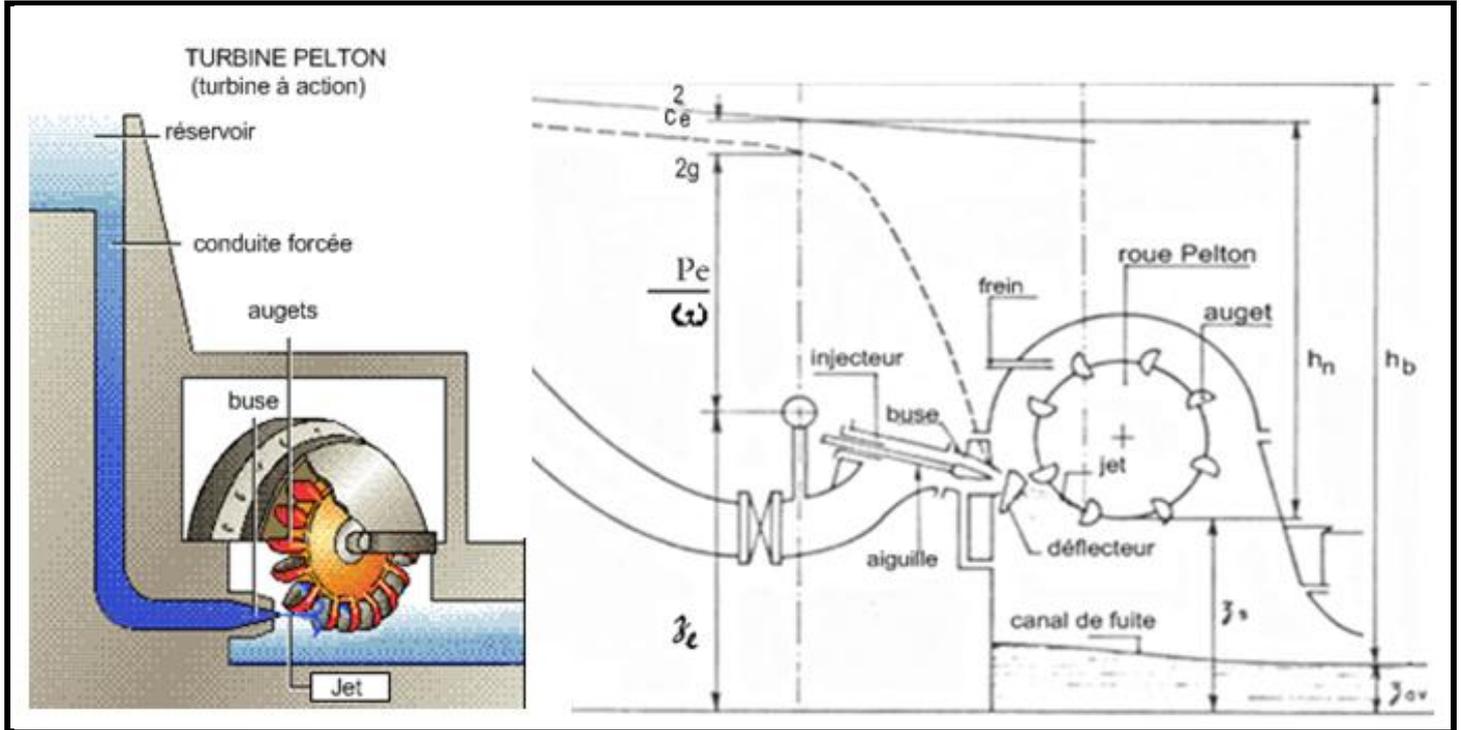


Figure 2 : Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton et ses composants

Dimensions et forme d'une roue Pelton

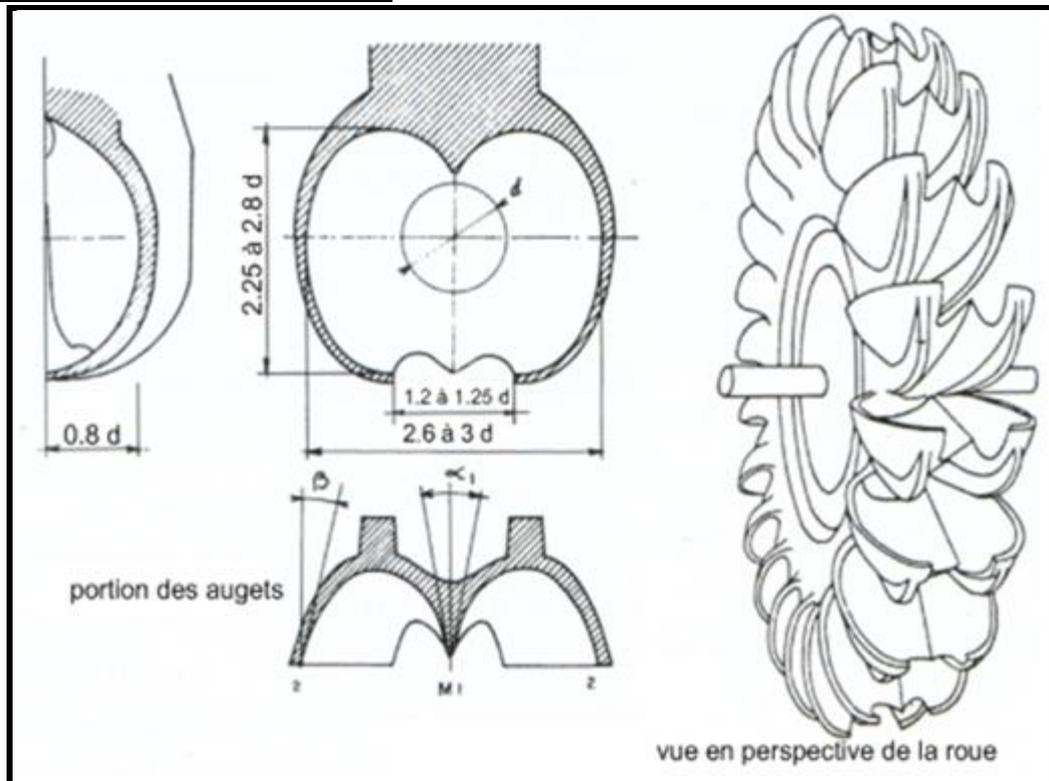


Figure 3 : roue d'une turbine Pelton

**b) Turbine Cross-Flow :**

La turbine Cross-Flow, appelée aussi turbine à flux traversant, est une machine à action qui a ceci de particulier que l'eau traverse deux fois la roue. La roue d'une turbine Cross-Flow est dotée d'aubes cylindriques profilées.

Ce type de turbine se familiarise à des situations très variées mais elle est limitée au niveau de puissance qui ne dépasse pas de 1000 KW en général vue que sa chute de fonctionnement est de 2 à 200 m et le débit varie entre 20 l/s à 10 m³/s.

Sa construction est simple, elle est constituée de trois parties principales :

- un injecteur de section rectangulaire et dont le débit est réglé à l'aide d'une aube profilée rotative, similaire à une vanne papillon. Afin d'assurer un arrêt de la turbine sans énergie d'appoint, la fermeture est souvent réalisée à l'aide d'un contrepoids, et l'ouverture par un vérin hydraulique ;
- une roue en forme de tambour, dotée d'aubes cylindriques profilées ;
- un bâti enveloppant la roue et sur lequel sont fixés les paliers de la turbine.

A partir de la figure suivante, nous pouvons voir le principe de fonctionnement d'une turbine Cross-Flow et ses composants.

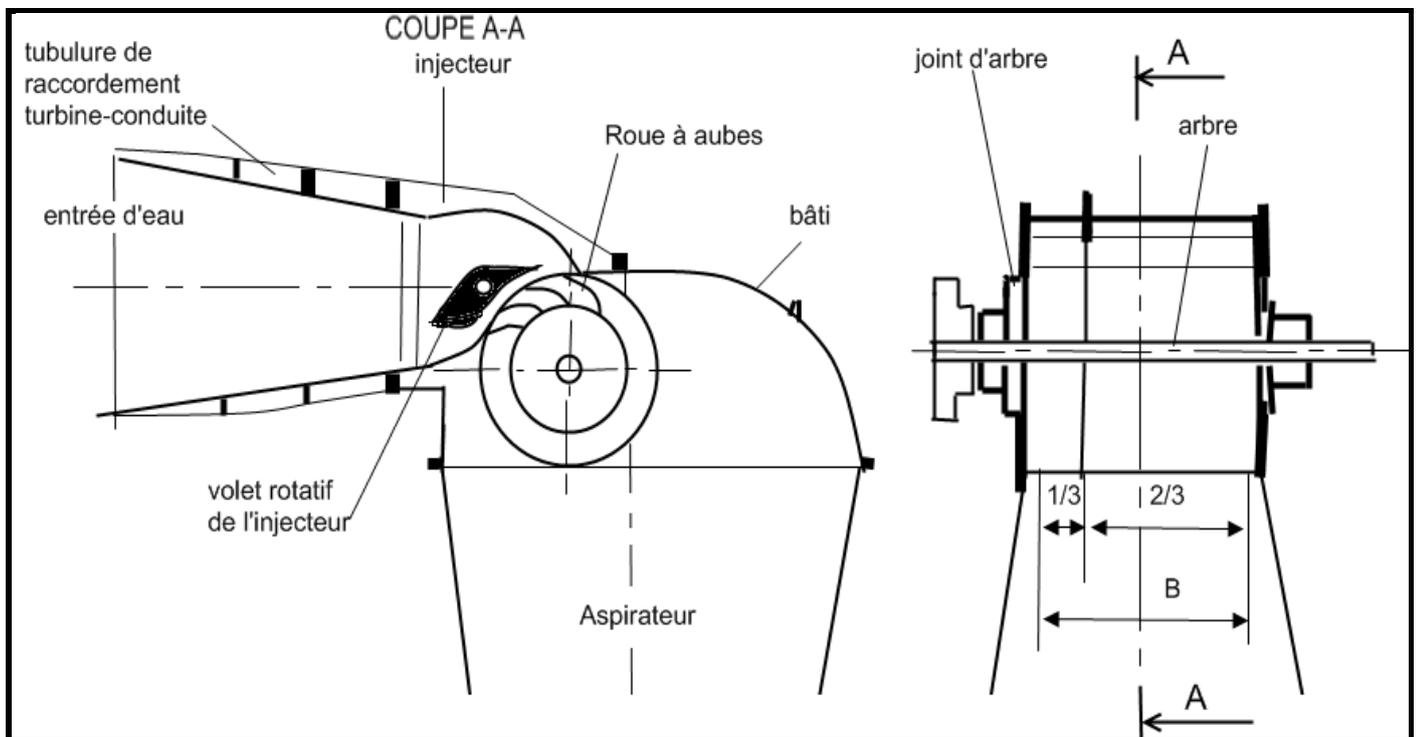


Figure 4 : principe de fonctionnement d'une turbine Cross-Flow et ses composants



La turbine, la roue et l'injecteur sont souvent divisés en 2 secteurs comme nous voyons sur la figure 4, de largeur $1/3$ et $2/3$ et qui peuvent être mise en fonction séparément ou ensemble. Avec ce système, il est possible d'obtenir un rendement satisfaisant sur toute la plage des débits.

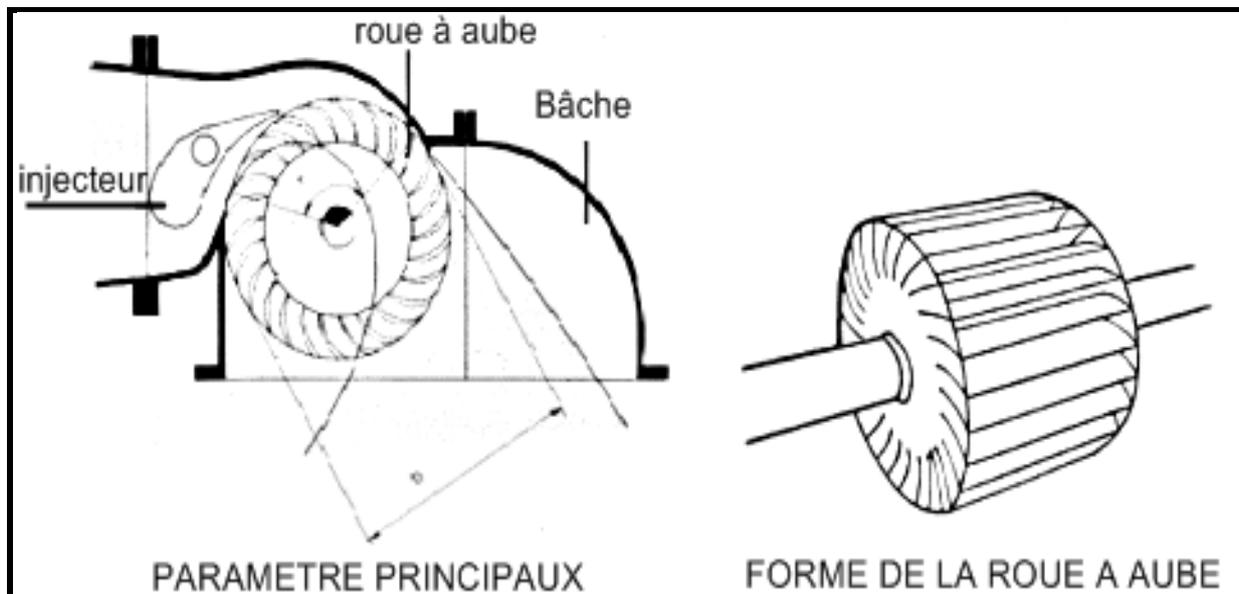


Figure 5 : paramètre et roue de la turbine Cross-Flow

II. La turbine à réaction :

Les turbines à réaction sont noyées entièrement dans l'eau, elles utilisent à la fois la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et la différence de pression pour faire tourner la roue.

Pour fonctionner, elles nécessitent une bêche semi spirale ou des aubes directrices (soit les deux à la fois) pour créer un tourbillon, le mouvement circulaire du tourbillon est ensuite récupéré par les aubages d'une roue en rotation qui dévient les filets d'eau pour leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation de la turbine. L'écoulement de l'eau provoque sur le profil de l'aube une force hydrodynamique qui induit un couple sur l'arbre de la turbine ; la force portante résulte d'une différence de pression entre les deux faces du profil qui sont l'intrados et l'extrados. Pour ce type de turbine, nous avons les turbines Francis, les turbines Kaplan et les turbines à hélices.

a) Turbine Francis :

L'ingénieur américain James Bicheno Francis conçut la turbine Francis, une turbine à axe vertical, dans laquelle le flux était centripète (écoulement radial). L'eau pénètre à la périphérie de la turbine et est évacuée le long de son axe. Ce type de turbine fonctionne par augmentation de la pression de l'eau s'écoulant à travers les lames, engendrant une force de réaction qui entraîne la roue : les énergies cinétique et potentielle sont converties en énergie mécanique.



La pression de l'eau à la sortie de la roue est abaissée par un système appelé *aspireur*, ce qui revient à augmenter virtuellement la hauteur de la colonne d'eau. Dans ce type de machine, le tourbillon est créé par une bache spirale, l'angle final de l'écoulement tourbillonnaire étant défini par le distributeur, en règle générale mobile. L'eau s'écoule radialement pour changer de direction à travers la roue et en ressortir axialement.

La turbine Francis peut fonctionner sur un vaste domaine, elle marche pour les chutes très élevées, à partir de 10m et qui peut aller jusqu'à une chute de 800 m. La puissance unitaire peut atteindre des valeurs considérables et on peut rencontrer une turbine de 1000 MW ou même plus.

On distingue la turbine Francis lente et la turbine Francis rapide.

De la figure suivante, nous voyons la vue globale d'une turbine Francis et ses composants.

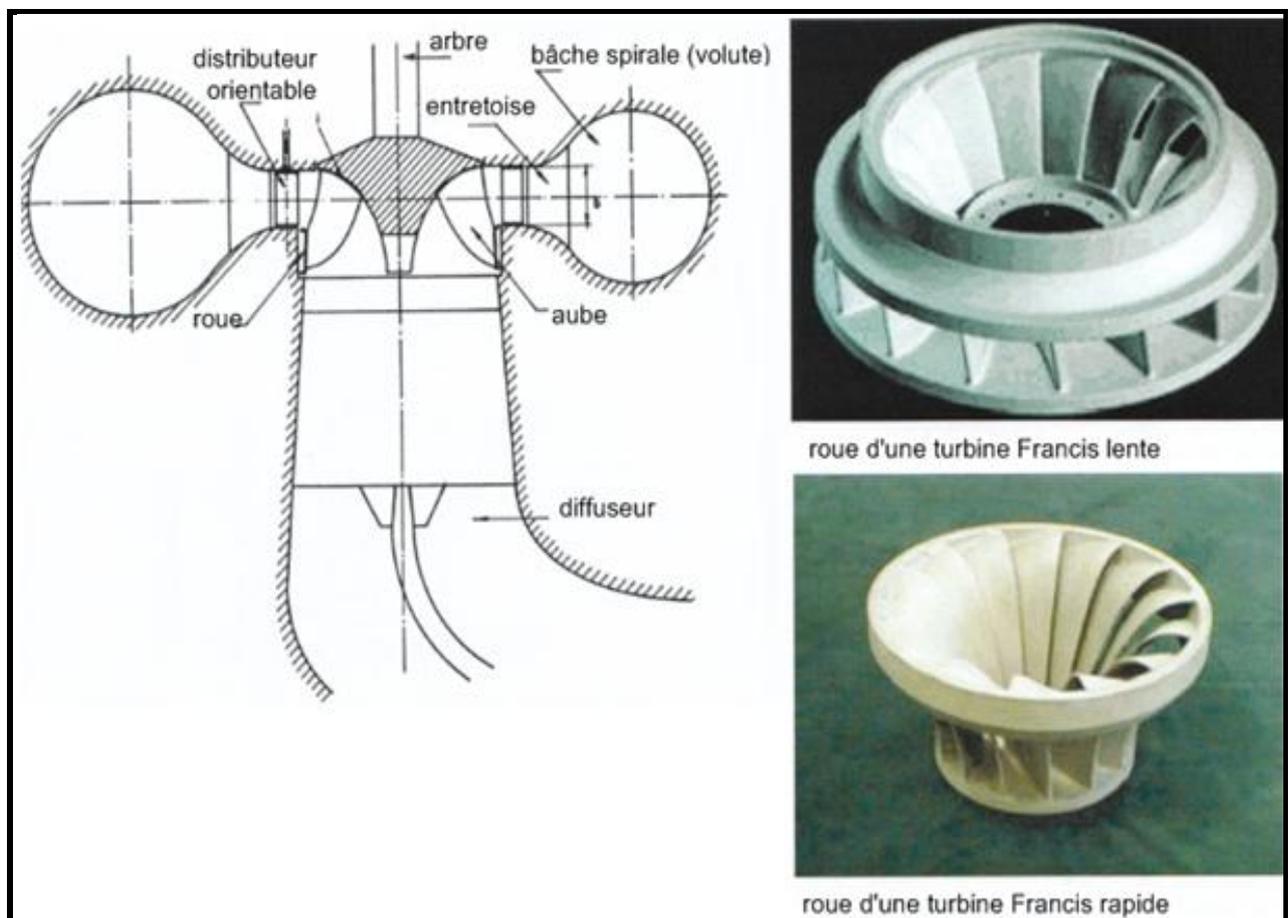


Figure 6 : composants d'une turbine Francis et la forme de ses roues

**b) Turbine Kaplan et turbine hélice :**

Les turbines Kaplan et à hélices sont les plus adaptées pour des faibles chutes et avec un débit variant entre 1 à 100 m³/s. Elles se particularisent par leurs roues qui sont similaires à une hélice de bateau. Ces deux types de turbines ont une même mode de fonctionnement, en s'écoulant, l'eau provoque la rotation de la roue qui entraîne l'arbre de la turbine, mais la différence est que les pales de la turbine Kaplan sont réglables en marche pour lui permettre d'obtenir de meilleurs rendements lorsque le débit diminue, tandis que les pales de la turbine hélice sont fixes et solidaires à la roue. L'eau s'écoule selon le même axe que la roue de la turbine qui ressemble à une simple hélice à pales fixe ou variable. Dans cette machine, l'eau entre axialement, et est mise en rotation par l'aubage du distributeur uniquement puisqu'il n'y a pas de bêche spirale. Ces types de turbines peuvent être classés par leur possibilité de réglage et par leur type d'écoulement.

• leurs possibilités de réglage, selon les exigences du site :

- turbine hélice à pales et distributeur fixe : pour des débits constants et une puissance fixe;
- turbine hélice à pales fixes et distributeur mobile : pour des débits élevés et peu variables;
- turbine Kaplan à pales variables et distributeur fixe : permet de turbiner à bon rendement des débits variant entre 30 à 100%;
- turbine Kaplan à pales et distributeur réglable : adaptée pour des débits très variables, entre 15 à 100 %. Il s'agit de la machine la plus compliquée avec ses deux possibilités de régulation qui doivent être accordées ensemble pour donner les résultats voulus : pour chaque position de pales, le distributeur doit être calé sur l'angle qui donne le meilleur rendement total.

En pratique, le signal de la régulation commande l'un des deux organes (par exemple la roue) et le second est asservi au premier selon une loi de corrélation qui donne automatiquement la position optimale, par une came ou une programmation électronique.

• le type d'écoulement :

- la roue d'une turbine Kaplan peut être placée dans un distributeur classique, comme sur une turbine Francis. L'écoulement est radial dans le distributeur, puis axial à travers la roue.

La turbine est placée soit dans une bêche spirale, soit dans une chambre d'eau.

- le distributeur peut être conique, ou axial, et l'écoulement subit ainsi un minimum de changement de direction. Cette disposition permet d'obtenir une construction très compacte : la turbine peut être intégrée dans une conduite, ce qui simplifie le travail du génie civil.



La figure suivante montre le principe de fonctionnement d'une turbine Kaplan ou à hélices et leurs composants

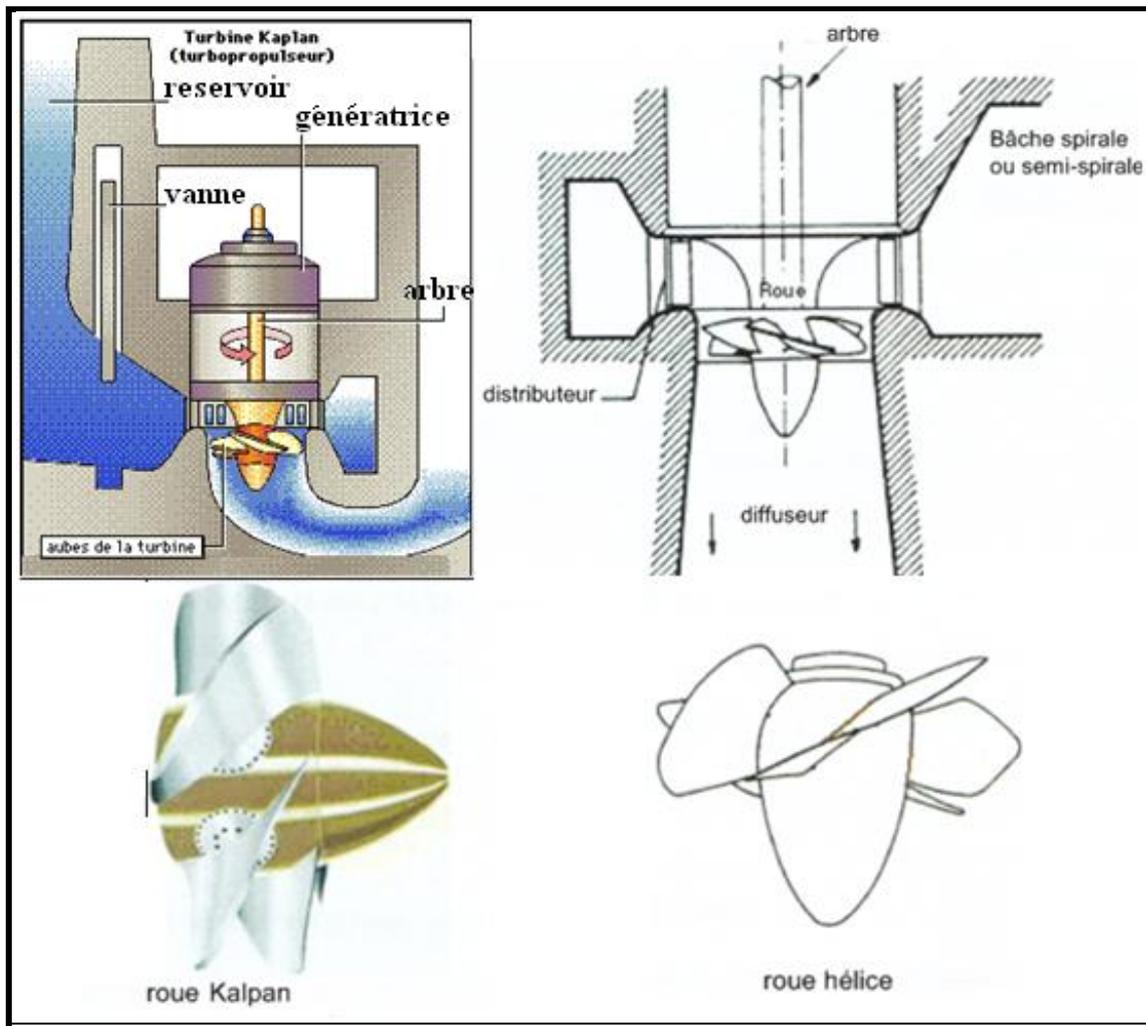


Figure 7: composants des turbines à hélices et Kaplan avec ses roues

Remarque :

Lorsque la hauteur de la chute augmente, le rotor doit se mettre à tourner plus rapidement et les fortes pressions d'eau nécessitent un boîtier et un tubage beaucoup plus résistants, jusqu'au point où il n'est plus possible de réaliser une turbine à réaction.

c) Différents types d'installation des microcentrales à basse chute :

On a aussi beaucoup de possibilités d'installation pour chaque type de turbine à basse chute suivant le type de site d'implantation. Nous allons présenter quelques variantes à partir desquelles nous allons faire le choix :

- turbine dans conduite en siphon ;
- turbine en S dans conduite (amont ou aval);
- turbine bulbe ;
- turbine immergée monobloc

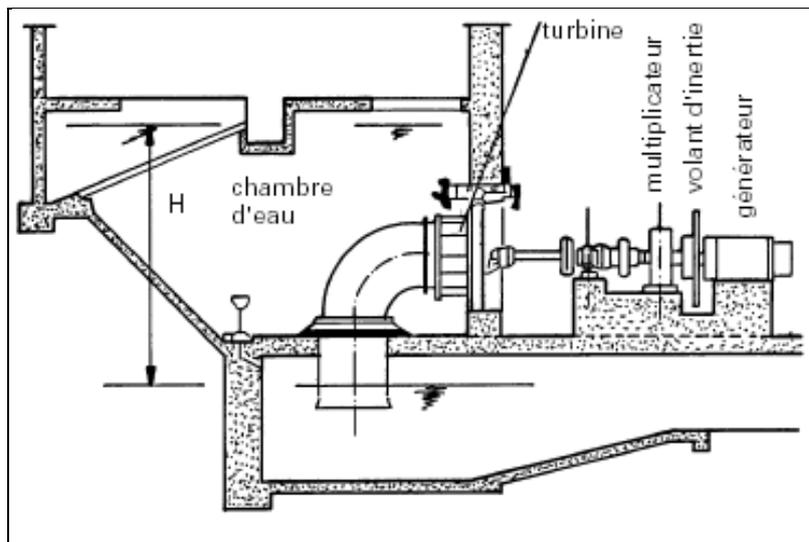


Figure 8 : Turbine Francis en chambre d'eau

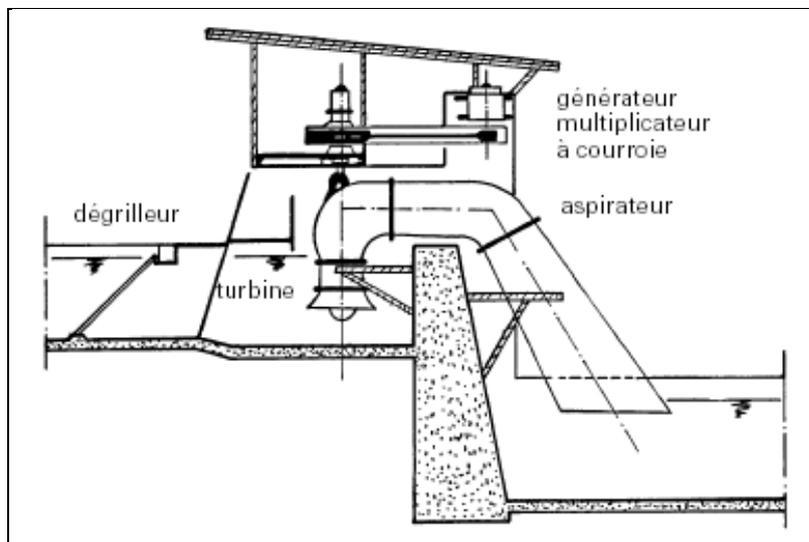


Figure 9 : Turbine hélice ou Kaplan à simple réglage en siphon

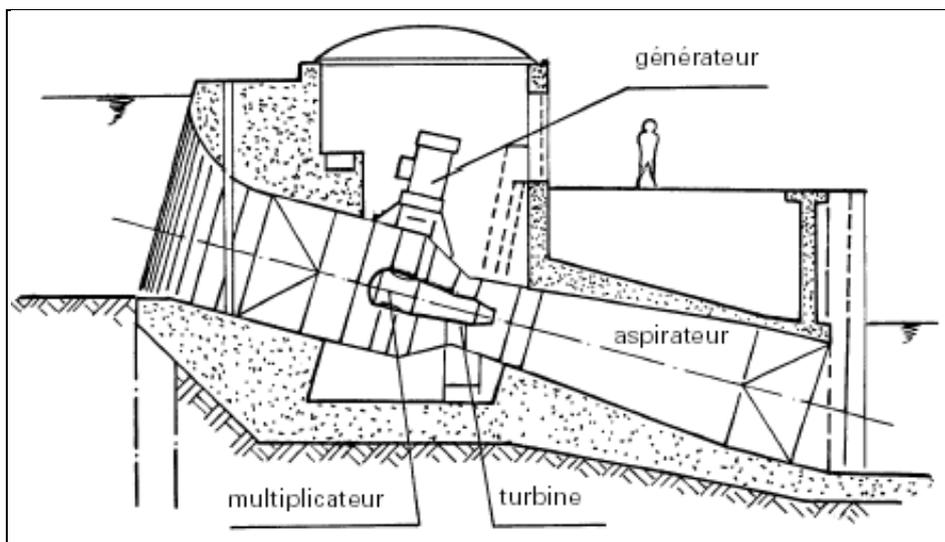


Figure 10 : Turbine hélice ou Kaplan type bulbe dans le barrage



DEUXIEME PARTIE :

**PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
DES TURBINES ET LES ETAPES A
SUIVRE POUR L'ELABORATION
D'UNE MICROCENTRALE
HYDRAULIQUE**



CHAPITRE 1 : DETERMINATION DU TURBINE SUIVANT LE SITE D'INSTALLATION

1. RESSOURCE HYDROELECTRIQUE DU SITE :

Plus que toute autre forme d'énergie renouvelable, l'hydroélectricité est extrêmement dépendante de l'endroit où l'on se trouve. Au commencement, on comprend aisément qu'avant de parler de produire de l'hydroélectricité, il faut au moins avoir une rivière à harnacher. Ensuite, même si on a une rivière, encore faut-il qu'elle offre un dénivelé et un débit d'eau exploitable. Pour bénéficier d'une bonne tête d'eau, on privilégiera les sites où la rivière perd de l'altitude sur une courte distance.

Enfin, il est souhaitable de pouvoir bénéficier d'un débit le plus constant possible. Pendant la saison des pluies, des débits importants pourront impliquer d'importantes installations si on veut en bénéficier. En revanche, pendant la saison sèche ou au cœur de l'hiver, le débit peut réduire considérablement, ce qui diminue la rentabilité de l'installation, d'autant plus si on doit laisser s'écouler dans la rivière un débit résiduel qui ne peut pas passer par les turbines.

C'est pourquoi un outil important d'évaluation d'un site est la courbe des débits classés. Dans cette courbe être illustrée le débit en fonction du pourcentage du temps dans une année, c'est ainsi que l'on retrouve le débit minimum de la rivière.

2. CHOIX DE LA TURBINE A UTILISER :

Après avoir vue les différents types de turbine et ses différentes caractéristiques de fonctionnement, nous allons faire l'étude d'une turbine avec une hauteur de chute nette la plus basse possible de 1.5 m.

Donc on va choisir **la turbine hélice à simple réglage en siphon** qui corresponde bien à une chute pas trop importante et un faible débit pour la réalisation de la microcentrale hydraulique. Pour ce faire, on va concevoir un petit barrage de retenue afin de garder le niveau amont constant. Or, le choix d'une turbine à installer va être non seulement fonction de la chute nette mais aussi des données spécifiques au site, du débit et d'autres paramètres, donc il faut encore vérifier par calcul et par des abaques la possibilité de ce choix.

Comme nous avons fait le choix de la turbine, alors on ne va parler que de la turbine hélice dans la suite.



CHAPITRE 2 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES TURBINES A HELICES ALIMENTEES PAR UN SIPHON

La turbine hydraulique transforme en énergie mécanique l'énergie potentielle ou cinétique contenue dans l'eau d'un lac, d'une rivière, d'une chute d'eau, ou d'une quelconque dénivellation. Dans une installation employant une turbine hydraulique, on trouve toujours une bêche d'alimentation, qui permet à l'eau de s'écouler jusqu'à l'entrée de la turbine. L'eau est ensuite aspirée par le siphon et c'est le distributeur muni d'aubes, qui dirige convenablement l'eau pour qu'elle arrive sur la roue de la turbine avec le minimum de perte. La roue de la turbine, équipée de pales est mise en rotation par la force centrifuge de l'eau et entraîne l'arbre de l'alternateur par l'intermédiaire d'un système multiplicateur pour produire de l'énergie électrique aux utilisateurs. Pour que la transmission de mouvement soit possible, on va utiliser une courroie plate parce qu'elle présente beaucoup d'avantage au niveau de l'entretien (entretien quasi nul, pas de vidange périodique d'huile), en plus elle permet de transmettre un mouvement entre deux roues éloignées l'une de l'autre.

1. Chaîne cinématique de l'ensemble :

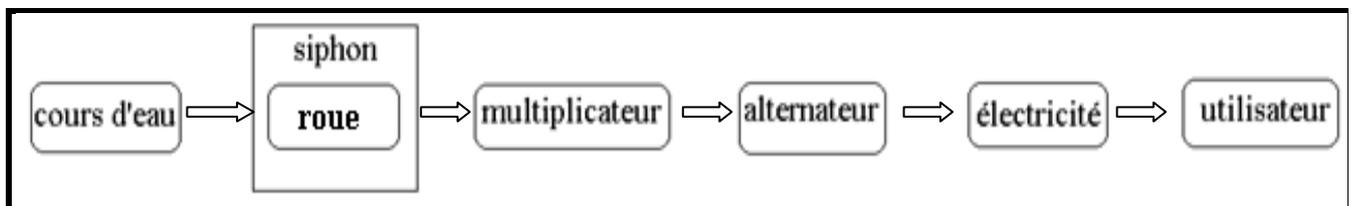


Figure 11 : chaîne cinématique

Comme nous voyons sur la chaîne cinématique, la roue de la turbine est incorporée dans le siphon, donc avant que le mouvement de rotation de la roue soit transmis à la poulie multiplicatrice, on doit encore faire appel à un arbre lié à la roue et à la poulie. Nous pouvons voir plus en détail cette chaîne cinématique sur la figure suivante.

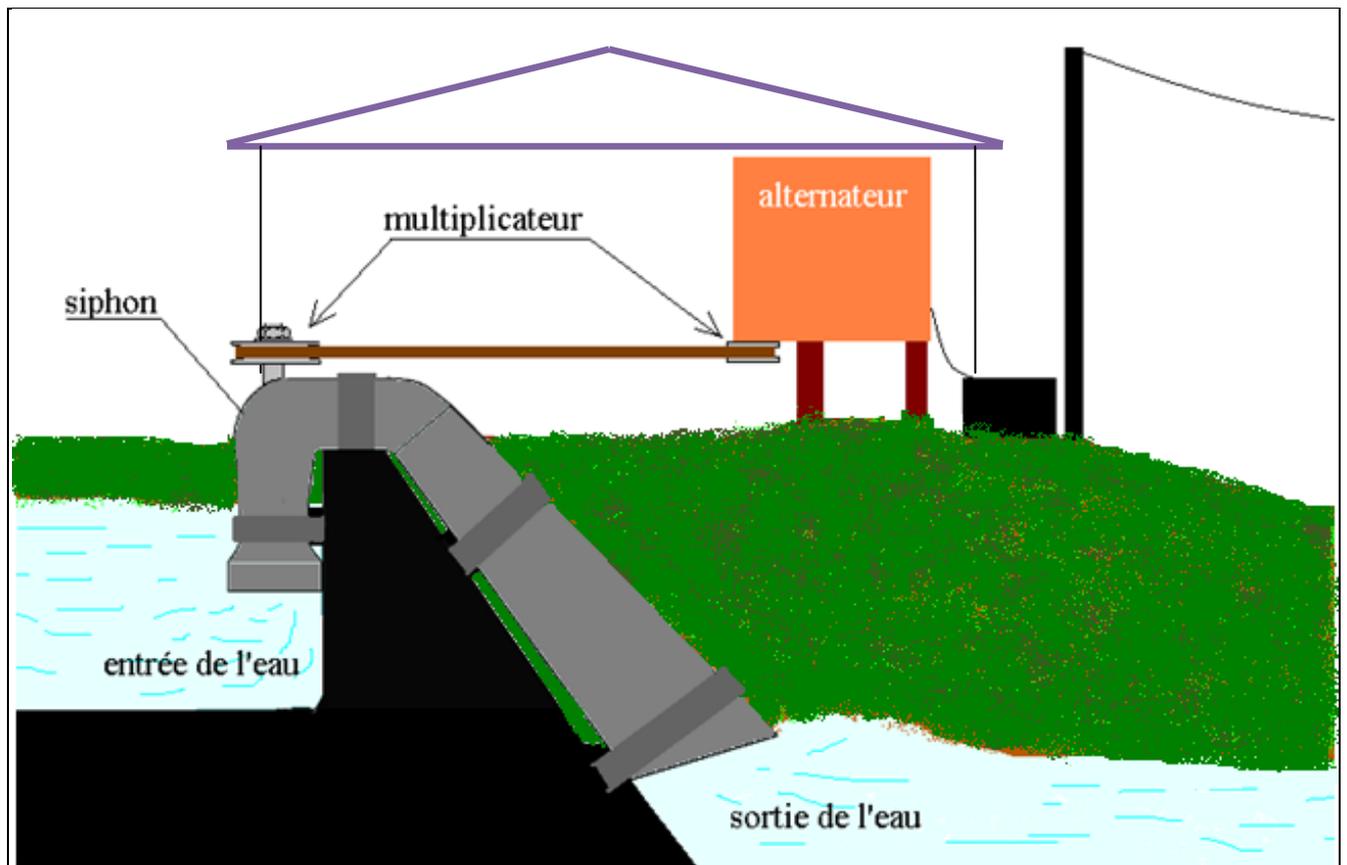


Figure 12 : Vue globale de l'installation

2. Alimentation :

Normalement, les paramètres électriques (tension U , courant I , $\cos \varphi$, fréquence f) et la fréquence du courant électrique délivrés aux utilisateurs doivent être stables, constants et répondent à la norme de production d'électricité. Pourtant, la variation des charges consommées par l'utilisateur et du débit à l'entrée de la turbine ne permet pas de satisfaire à ces besoins sans faire appel à un régulateur.

On a trois façons possibles pour atteindre ces exigences de production d'énergie d'une installation hydroélectrique qui sont:

- **La régulation amont :**

Ce type de régulation consiste à maintenir la vitesse de rotation de la roue constante en agissant sur le débit à l'aide d'un système mécanique qui s'ouvre et se ferme suivant l'appel de la consommation. La figure suivante nous montre le schéma de la régulation amont.

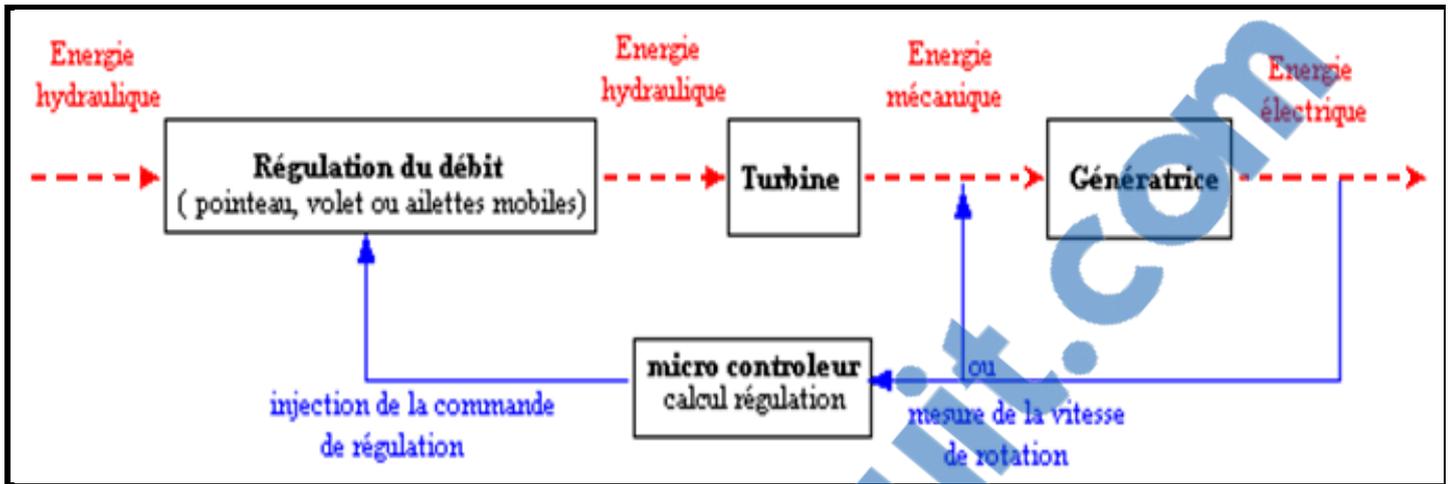


Figure 13 : principe de régulation « vitesse débit ».

En générale, le contrôle du débit se fait par l'intermédiaire de vérins qui sont commandés sur le principe de rétroaction. La vitesse de rotation à la sortie de la turbine ou la fréquence du réseau est mesurée à l'aide d'un capteur, l'information est ensuite transmise à un microcontrôleur qui calcule la course à donner aux vérins pour adapter le débit.

▪ **La régulation avale :**

Elle a pour but de maintenir les paramètres de sortie constants sans toucher aux débits par un appareil de contrôle d'absorption de l'énergie, une batterie de résistances passives et fractionnées de telle sorte qu'elles puissent varier quasi progressivement, est interposée en parallèle avec la charge pour consommer l'énergie en surplus débitée par la génératrice.

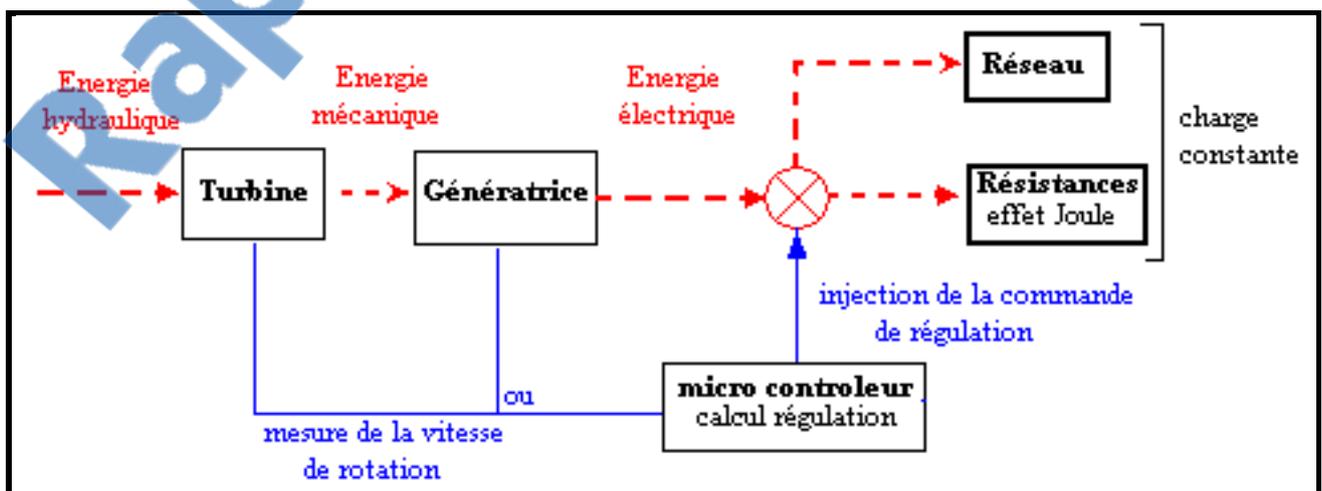


Figure 14 : principe de régulation « charge fréquence »



De la même manière que la régulation « débit vitesse », la variation 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 ou on réduit donc la vitesse de rotation de la turbine. Inversement, en déconnectant les résistances, on réduit la charge du réseau, le couple dans la génératrice devient moins important et la vitesse de rotation de la turbine augmente.

▪ **La régulation mixte :**

Ce type de régulation unit les avantages des deux modes de régulation. Ceci est possible dans la mesure où les niveaux de déclenchement d'une ou de l'autre régulation, seront fixés.

Deux avantages :

- Limitation de l'usure du système de régulation mécanique ;
- L'économie d'énergie sans de pertes énormes d'énergie dans le dissipateur surtout en cas de faible appel d'électricité.

On va utiliser la régulation en aval c'est-à-dire on n'a pas besoin de régler le débit entrant mais afin de stabiliser l'énergie électrique produite à la sortie, on ajoute un dispositif de régulation de tension et de fréquence après l'alternateur.

4. Le réseau électrique :

Dans une installation Microcentrale hydraulique, le réseau électrique est composé de la ligne de transport électrique et la ligne de distribution. Éventuellement, un transformateur de tension peut être une partie composante de la ligne de transport si la distance qui sépare le lieu de la production électrique et les consommateurs, est importante (>1km). Le réseau électrique doit être dimensionné de telle façon à garantir les conditions normales de fonctionnement de la machine microcentrale hydraulique. En effet, le facteur de puissance dans le réseau ne doit pas être inférieur à 0.8 et la section du câble doit être suffisante pour ne pas engendrer des pertes de tension.

**RECAPITULATION :**

Notre étude se base sur une puissance fixe, en plus l'installation aura lieu sur un cours d'eau dont le débit est constant toute l'année. Ce qui nous conduit à utiliser un distributeur fixe. Même si on a une puissance fixe la consommation d'énergie varie suivant le besoin des utilisateurs, donc il est toujours nécessaire de mettre un système de régulation pour éliminer le manque ou surplus de charges. Alors, on va utiliser la régulation avale qui correspond bien à ces caractéristiques.

Si la puissance ne satisfait pas à la consommation, on peut installer plusieurs turbines en parallèle ou coupler le système à une autre source d'énergie (éolienne, panneau solaire ou groupe électrogène) pour compléter l'énergie produite.



CHAPITRE 3 : LES DONNEES NECESSAIRES AU DIMENSIONNEMENT D'UNE MICROCENTRALE HYDRAULIQUE

1. Etape à suivre pour l'élaboration d'une petite centrale hydroélectrique :

La conception d'un petit projet comprend généralement 4 phases. Les deux premières sont parfois amalgamées en une seule.

La première phase consiste à reconnaître le terrain et à procéder à des études hydrologiques pour identifier différents sites prometteurs, pour les classer selon leur potentiel hydroélectrique et pour estimer les coûts de leur développement.

La deuxième phase comprend une étude préliminaire de faisabilité pour chacun de ces sites, incluant la cartographie des sites, leur étude géotechnique, la recherche de lieux d'emprunts pour le sable, le gravier et les roches et une première esquisse des projets, de leurs caractéristiques, de leurs coûts et de leur impact environnemental.

On passe alors à la troisième phase, une étude de faisabilité détaillée comprenant des analyses sismiques, des statistiques sur les risques d'inondation, une conception plus approfondie des fondations et des ouvrages principaux, le choix des principaux composants. Cette phase comprend aussi une évaluation des coûts du projet, du raccordement au réseau électrique, des impacts du projet sur l'exploitation du réseau et enfin sa rentabilité financière.

La quatrième phase est celle de la planification du projet et de sa conception détaillée. On procède à la conception du système de raccordement au réseau et de transport d'électricité, à l'élaboration des plans et des devis comprenant les spécifications du projet, et à la préparation des documents d'appels d'offres.

a) Etude de faisabilité :

Généralement, l'étude de faisabilité est composée de :

- L'étude hydrologique qui identifie l'évolution de l'écoulement de l'eau pendant un cycle d'une année ainsi que sa pérennité au fil des années ;
- L'étude géologique qui étudie la stabilité du terrain du site et analyse la possibilité de la réalisation d'une installation de microcentrale sans crainte ;
- L'étude topographique qui détermine le tracé des ouvrages, l'emplacement de la machine et la hauteur de chute ;
- L'étude socio-économique qui détermine le besoin énergétique exprimé par la population, la durée de fonctionnement de l'installation suivant le régime d'irrigation mise en œuvre et le niveau d'implication de la population dans le projet ;



- Le dimensionnement, le calcul et la conception des ouvrages avec l'élaboration des plans de la réalisation.

b) Description des études à faire :

- Étude socio-économique : une enquête auprès des villages est à effectuer pour déterminer les paramètres nécessaires au dimensionnement, entre autres la demande actuelle de l'électricité et son évolution dans les prochaines années.
- Étude hydraulique : une série de mesures en termes de débit et de niveau d'eau est à réaliser pour permettre de calculer les débits offerts par les ressources locales et leur évolution durant une année complète.
- Étude topographique : consiste en la détermination de la chute d'eau, le tracé des ouvrages de génie civil et le tracé du réseau électrique local.
- Dimensionnement des ouvrages de génie civil, des équipements électromécaniques et du réseau électrique.

2. Marche à suivre pour la planification et la réalisation des microcentrales :

Les microcentrales ne peuvent être étudiées et réalisées sans le recours d'ingénieurs spécialisés qu'à de rares exceptions. Pour des petites installations autonomes d'une puissance inférieure à 3 kW, le client peut chercher une collaboration directe avec le fournisseur de l'équipement. Dans tous les autres cas, il est recommandé de faire appel à un ingénieur expérimenté dans la réalisation de petites centrales. L'étude d'un projet de microcentrale s'effectue en plusieurs étapes (voir schéma 13, page suivante).

Pour le maître d'œuvre, l'étape initiale, de l'idée jusqu'à l'octroi d'un mandat à un ingénieur, est essentielle: en effet, il doit entreprendre lui-même les démarches nécessaires pour s'informer et rassembler un certain nombre de données utiles au projet. Par une marche à suivre claire et méthodique, il est possible d'éviter un gaspillage de temps et d'argent.

Il faut compter en général de un à trois ans pour la planification et la construction d'une microcentrale jusqu'à la mise en service. En plus de la conception proprement dite, de l'évaluation de la ressource et de la configuration du site, il ne faut pas oublier le temps nécessaire à la réalisation d'études d'impact environnemental et à l'obtention des permis de construction.

Le déroulement habituel d'un projet peut être représenté comme suit (tableau 1).

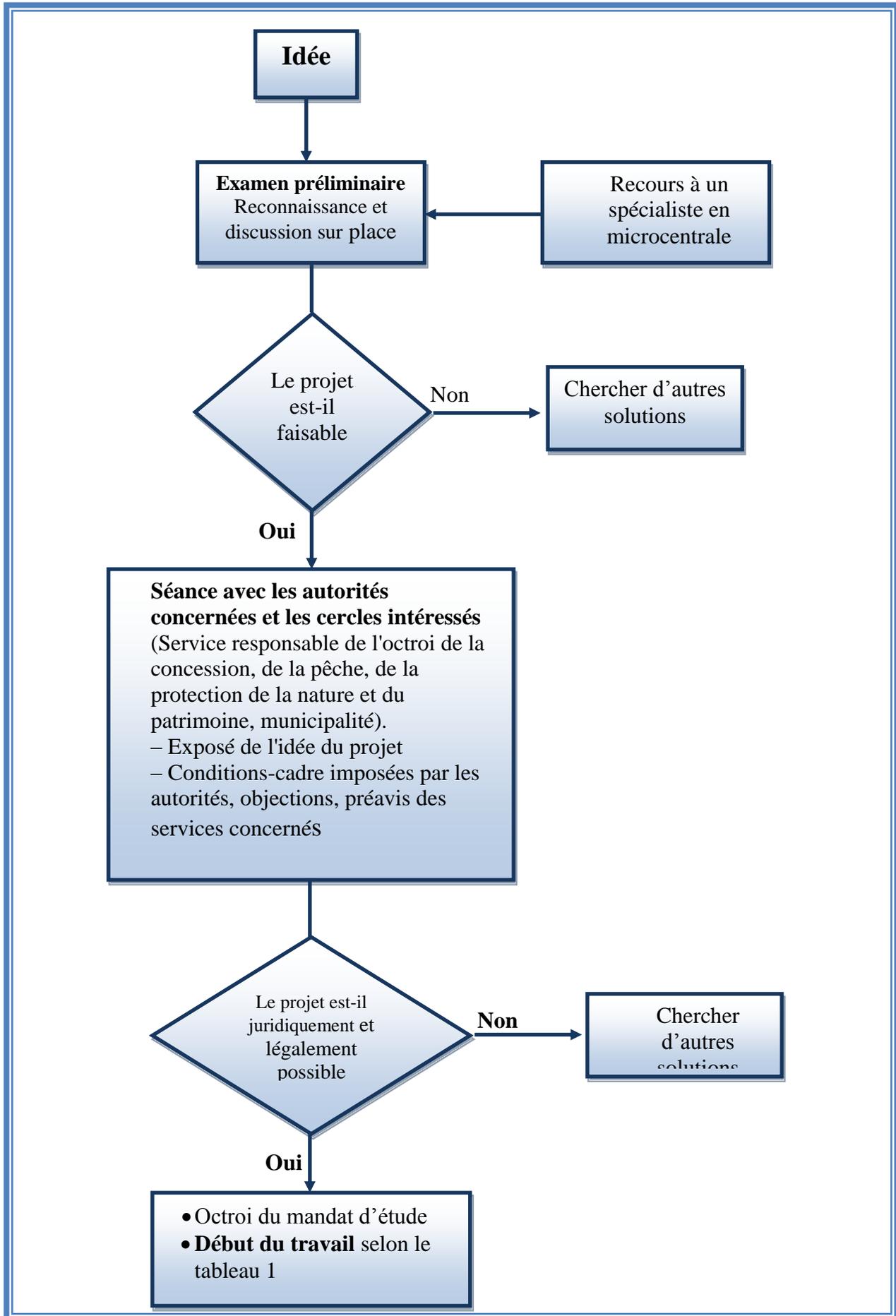


Figure 15 : Première phase du projet, de l'idée au départ de l'étude



ETAPES	BUTS
1. Rassemblement des données (topographiques, mesure des débits, consommation / valorisation de l'énergie)	Données pour dimensionnement correct du projet
2. Pré-étude Etude de variantes du point de vue technique et économique, y compris les effets sur l'environnement et les mesures compensatoires	Choix de la meilleure variante Décision pour la suite du projet
3. Avant-projet ou projet de concession Etude du projet et préparation du dossier de concession	Demande de concession
4. Projet définitif Projet général de construction Etablir les coûts et le devis général Dossier pour demande de permis de construire.	Mise à l'enquête publique et autres autorisations
5. Projet d'exécution. Projet détaillé Documents pour appels d'offre Plans d'exécution	Mise en soumission Adjudication et exécution des travaux
6. Mise en service Essais et contrôle des performances Formation de l'exploitant Documents de maintenance et d'exploitation	Remettre à l'exploitant une installation qui fonctionne selon le cahier des charges du projet

Tableau 1 : Déroulement du projet de microcentrale

**3. Déroulement et durée estimative du projet de petite centrale :**

Etape du projet	Durée	Travaux à effectuer	Autorités/organisation/ personnes compétentes
Rassemblement des données (souvent par le maître de l'ouvrage lui-même)	min.1 mois si les mesures débits sont à disposition sinon min. 1 année	Données topographiques (plans) Détermination des débits Organisation de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Géomètre • Banque de donnée hydrologique
Pré étude	Environs 2 mois	Etudes de variantes Faisabilité technique et économique Orientation des propriétaires et des organisations concernées Conversations avec les autorités, les services des sites officiels Contacts avec les organismes de financement (banques, associations) Demande d'offres budgétaires	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable pour la concession • Services officiels concernés • Associations: <ul style="list-style-type: none"> – protection de la nature – pêcheurs – autres (En fonction de l'ampleur et de l'impact du projet prévu.)
Avant-projet ou projet de concession	min. 6 mois	Choix de la variante et études pour projet de concession Demande de concession Mise à l'enquête de la concession et évent. Levée des oppositions Négociations pour la concession (droits et obligations spéciaux du concessionnaire) Modification éventuelle du projet Attribution de la concession	<ul style="list-style-type: none"> • Autorité de concession et services officiels spécialisés • Office fédéral de l'économie des eaux
Projet définitif	min. 6 mois	Etude du projet de construction Demande de permis de construire Autorisation de construire	<ul style="list-style-type: none"> • Autorités communales et cantonales • Inspectorat fédéral des installations à courant fort
Projet d'exécution Construction	6-12 mois	Projet d'exécution Appels d'offre Adjudication des travaux	
Mise en service	max. 1 mois	Mise en service et essai Protocole de réception Mise en exploitation	
Durée totale	1-3 ans		

Tableau 2 : déroulement détaillé d'un projet d'une petite centrale hydraulique



TROISIEME PARTIE :

CALCULS ET DIMENSIONNEMENT



CHAPITRE 1 : DIMENSIONNEMENT DE LA TURBINE HYDRAULIQUE :

1.1 Description du site :

Pour faire le dimensionnement, nous allons choisir un exemple de site qui a les caractéristiques suivantes :

Site : hauteur de chute nette $H_n = 1.5$ [m]

Débit nominal $Q = 0.89$ [m³/s] (débit moyen)

Turbine : vitesse de rotation $N = 193$ [tr/mn]

Rendement global $\eta = 0.7$ tel que $\eta = \eta_M \times \eta_V \times \eta_H$

Avec η_M : rendement mécanique = 0.95

η_V : rendement volumétrique = 0.9

η_H : rendement hydraulique = 0.82

1.2 Les pertes et les différentes hauteurs de la turbine :

Une partie de l'énergie se perd dans l'installation par frottement de l'eau dans les grilles, vannes, coudes et parois du canal et de la conduite forcée. Ces pertes sont appelées pertes de charge que l'on note : ΔH . Les pertes de charge correspondent à l'énergie nécessaire pour faire passer l'eau à travers les grilles et vannes et pour vaincre le frottement contre les parois du canal d'amenée et de la conduite forcée.

Pour les petites centrales, les pertes de charge représentent 10 à 15% de la hauteur brute, ou chute brute. Ces pertes réduisent la chute brute. En les déduisant de celle-ci, on obtient la chute nette H_n , effectivement à disposition de la turbine et qui peut être décrite comme la différence de pression entre l'entrée et la sortie de cette dernière (différence entre les pressions p_1 et p_2 en bar lues sur les manomètres placés juste avant et après la turbine).

La hauteur brute H_b souvent appelée hauteur géodésique Z_g , est la différence d'altitude entre le niveau à la prise d'eau et le niveau à l'aval de la centrale, où l'eau est restituée à la rivière. Elle est habituellement indiquée en mètre. En comparant avec la pression: un bar correspond à environ 10 mètres de hauteur d'eau.



1.2.1 Hauteur d'aspiration :

La hauteur d'aspiration H_s d'une turbine à réaction, définie sur la figure 14, est mesurée entre le plan d'eau aval et l'axe de la roue de la turbine. La valeur de H_s est positive si la turbine se trouve au-dessus du niveau d'eau aval et négative dans le cas contraire.

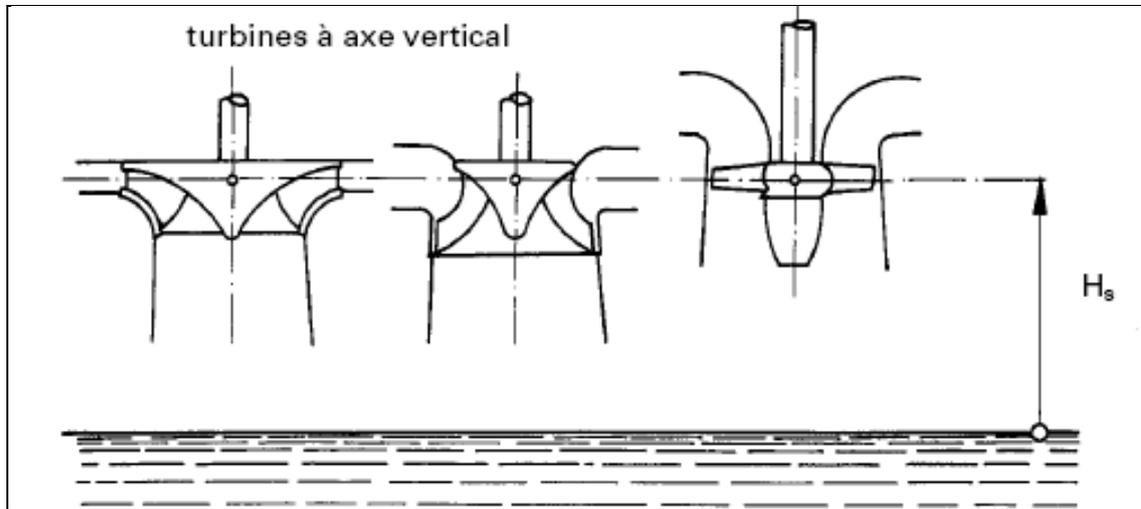


Figure 16 : hauteur d'aspiration H_s

H_s positif : niveau d'eau aval plus bas que la turbine

1.2.2 Hauteur d'aspiration maximale :

Pour réduire les frais de construction du génie civil, une turbine à réaction sera placée le plus haut possible par rapport au niveau aval (H_s maximum). Mais, en surélevant la turbine, la pression devient négative à la sortie de la roue de la turbine (dépression). A la dépression statique, égale à la hauteur d'aspiration, se soustrait encore la dépression dynamique due à l'écoulement de l'eau autour du profil de l'aube (voir aussi 17). En effet, lorsqu'un profil d'aube de turbine se déplace dans l'eau, il se produit sur une de ses faces une zone de surpression (l'intrados) et sur l'autre une zone de dépression (l'extrados). Ce sont ces différences de pressions entre intrados et extrados qui créent la force hydrodynamique sur le profil et mettra la turbine en rotation. La figure 15 représente la répartition des pressions dynamiques autour d'un profil.

En augmentant la hauteur d'aspiration, la dépression sur l'extrados ajoutée à la dépression statique atteint localement la pression de vaporisation de l'eau. Il y a alors formation de bulles de vapeur qui se détachent de la surface de l'aube en suivant l'écoulement. Dès qu'elles atteignent une zone où la pression est plus élevée, les bulles de vapeur implosent en créant de fortes ondes de pression dynamique. Ces implosions de bulles de vapeur ont pour conséquence un crépitement caractéristique, ou bruit de cavitation, et provoquent avec le temps l'érosion par enlèvement de matière de la surface de l'aubage.



1.3 La cavitation :

La cavitation est définie par la formation de vapeur dans un liquide, lorsque la pression absolue en un point du fluide devient égale à la pression de vapeur au cours de processus isotherme. Si l'on se place à l'échelle moléculaire d'un fluide pur, la cavitation se définit comme la rupture d'un liquide soumis à des contraintes qui doivent être plus fortes que celles résultant de la force d'attraction intermoléculaire.

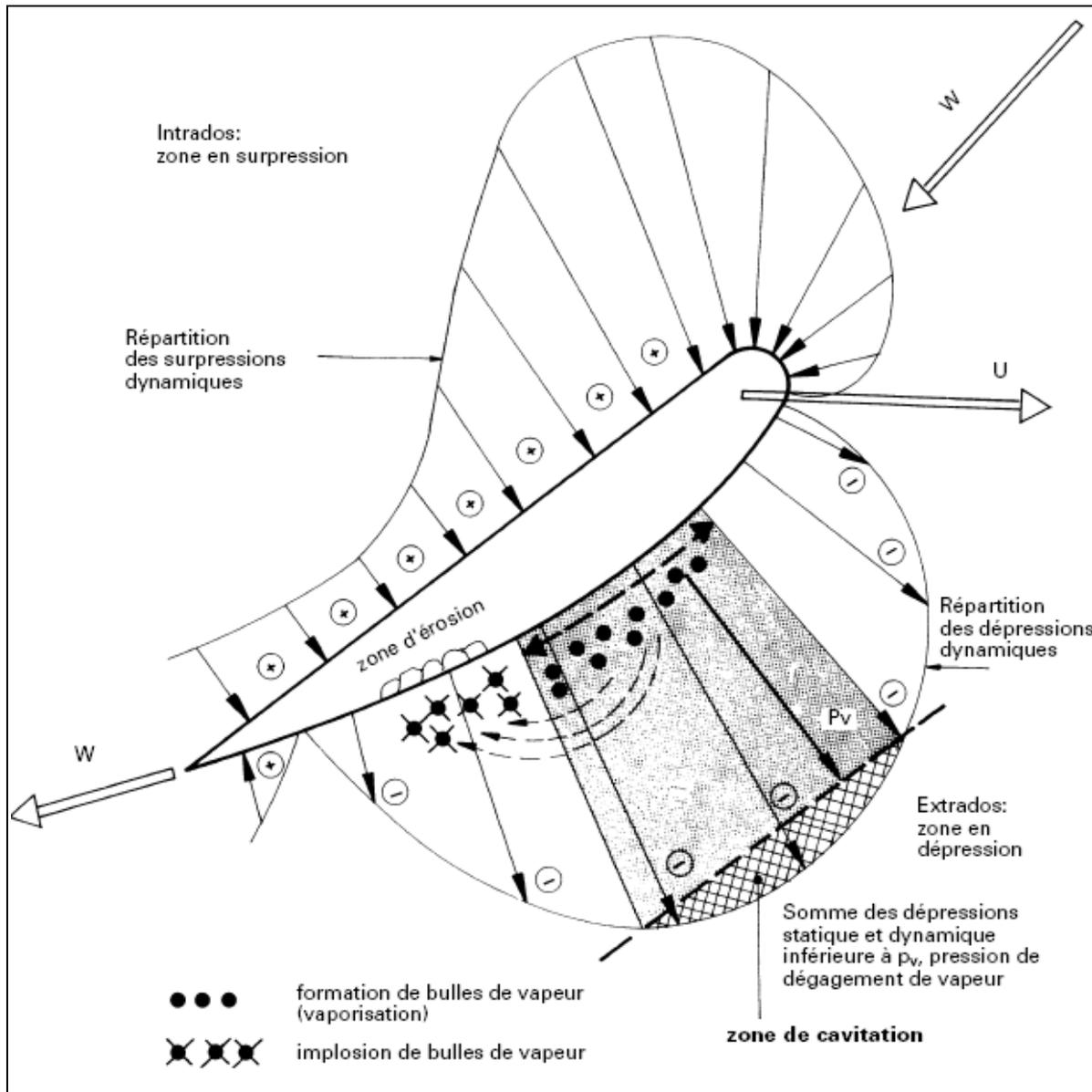


Figure 17 : phénomène de cavitation sur un aubage

W: vitesse relative de l'eau par rapport à l'aubage en rotation

U: vitesse de l'aubage



Les recherches sur la cavitation et à la prévention de son action destructrice ont permis de prévenir les manifestations de la cavitation et de déterminer dans la bande de cavitation les conditions de fonctionnement de la turbine qui est la hauteur d'aspiration maximale $H_{s_{max}}$ défini par la relation

$$H_{s_{max}} = H_a - H_v - \sigma H_n$$

H_a = hauteur d'eau en m équivalent à la pression atmosphérique P_a

H_v = hauteur d'eau en m équivalent à la pression de dégagement de vapeur (pression de vaporisation)

σ : Coefficient de cavitation égal au coefficient de thomas

Des valeurs indicatives de σ ont été établies sur des bases statistiques pour les turbines et pour les pompes. Elles sont fonction de la vitesse spécifique de la machine hydraulique considérée.

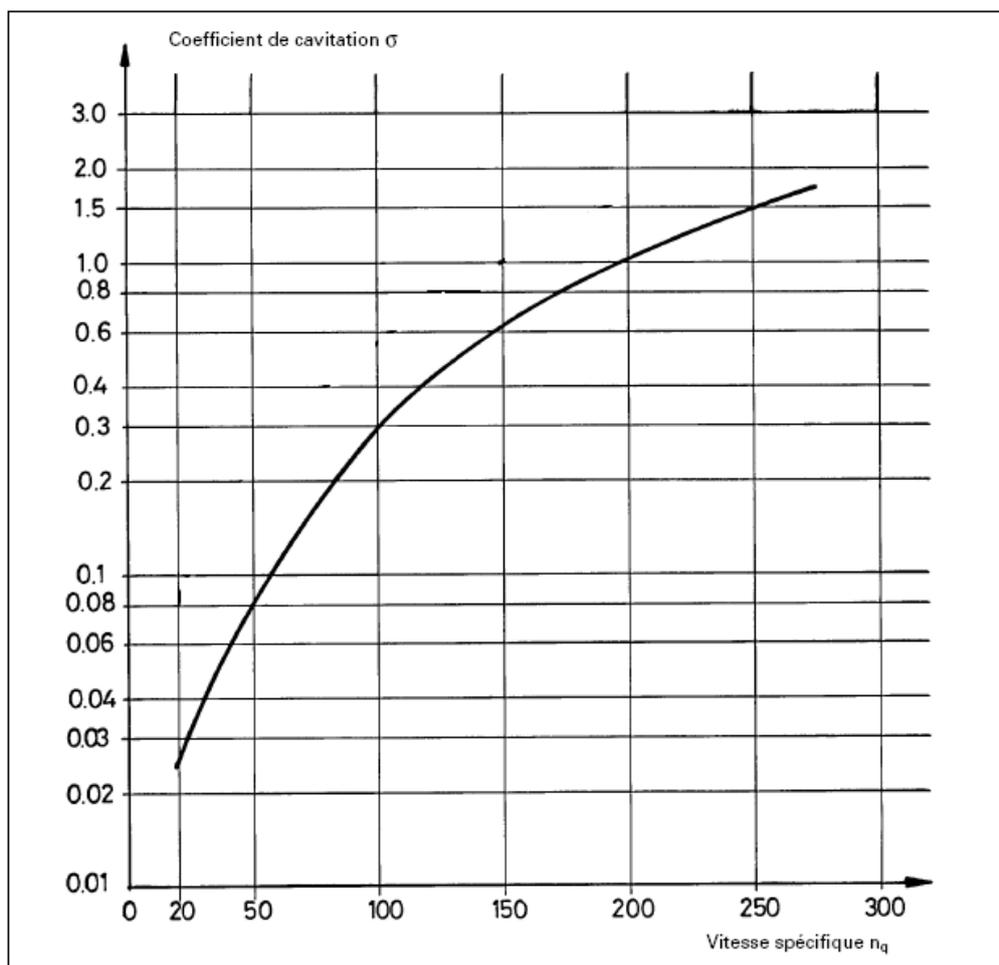


Figure 18 : coefficient de cavitation en fonction de la vitesse spécifique

– la pression atmosphérique p_a (ou H_a) varie avec l'altitude et la température de l'air à l'emplacement de la centrale hydraulique,



Variation de la pression atmosphérique :

altitude (m)	0	500	1000	2000
Ha (m)	10	9,42	8,87	7.84

Tableau 3 : atmosphère normalisée internationale INA

– la pression de dégagement de vapeur p_v (ou H_v) varie avec la température de l'eau.

température (°C)	8	10	15	20	25	30
H_v (m)	0.105	0.125	0.155	0.24	0.325	0.435

Tableau 4 : Variation de la pression de dégagement de vapeur

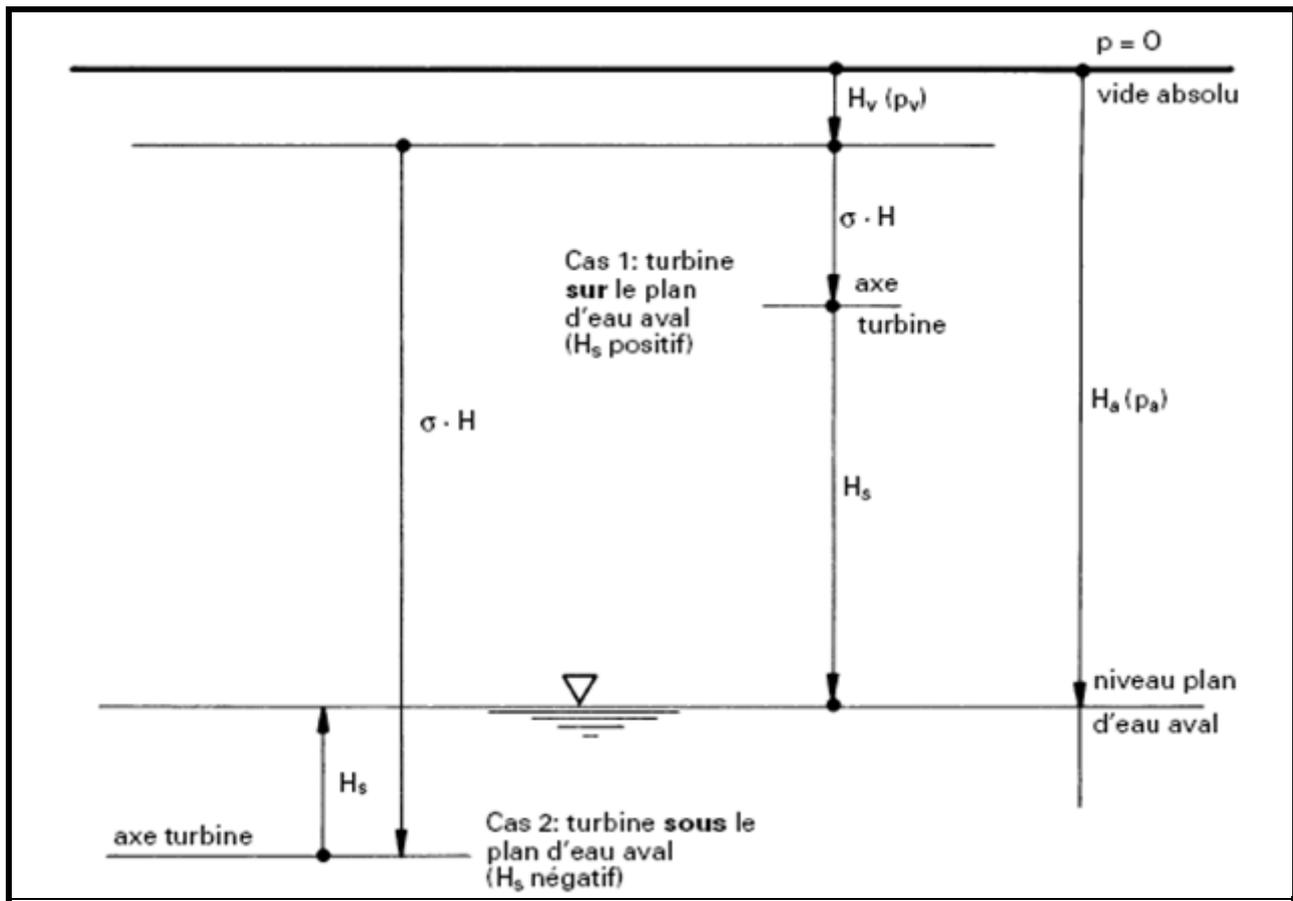


Figure 19 : hauteurs d'aspiration d'une turbine

$H_a(p_a)$: pression atmosphérique (pression sur niveau d'eau aval) (m)

H_s : hauteur d'aspiration limite de la turbine (seuil critique de cavitation) (m)

$\sigma \cdot H$: hauteur pour compensation de la dépression dynamique de l'écoulement autour de l'aubage (m)

$H_v(p_v)$: pression de dégagement de vapeur



1.3 Dimensionnement de la turbine :

1.3.1 Hauteur de chute nette H_n [m] :

$$H_n = H_b - \Delta H \quad (1.1)$$

$$\text{Avec } \Delta H = A \times Q^2 \quad (1.2)$$

Avec A : coefficient calculé à partir des charges connues pour un point de fonctionnement nominal

Q (m^3/s) : le débit défini par le volume d'eau par unité de temps qui transite par l'aménagement pour alimenter la turbine.

$$H_n = 1.5 \text{ [m]}$$

Nous pouvons voir plus en détail ces paramètres sur le schéma de la figure 18 qui présente le profil au long d'une petite centrale avec ses différents composants et les lignes d'énergie et de pression.

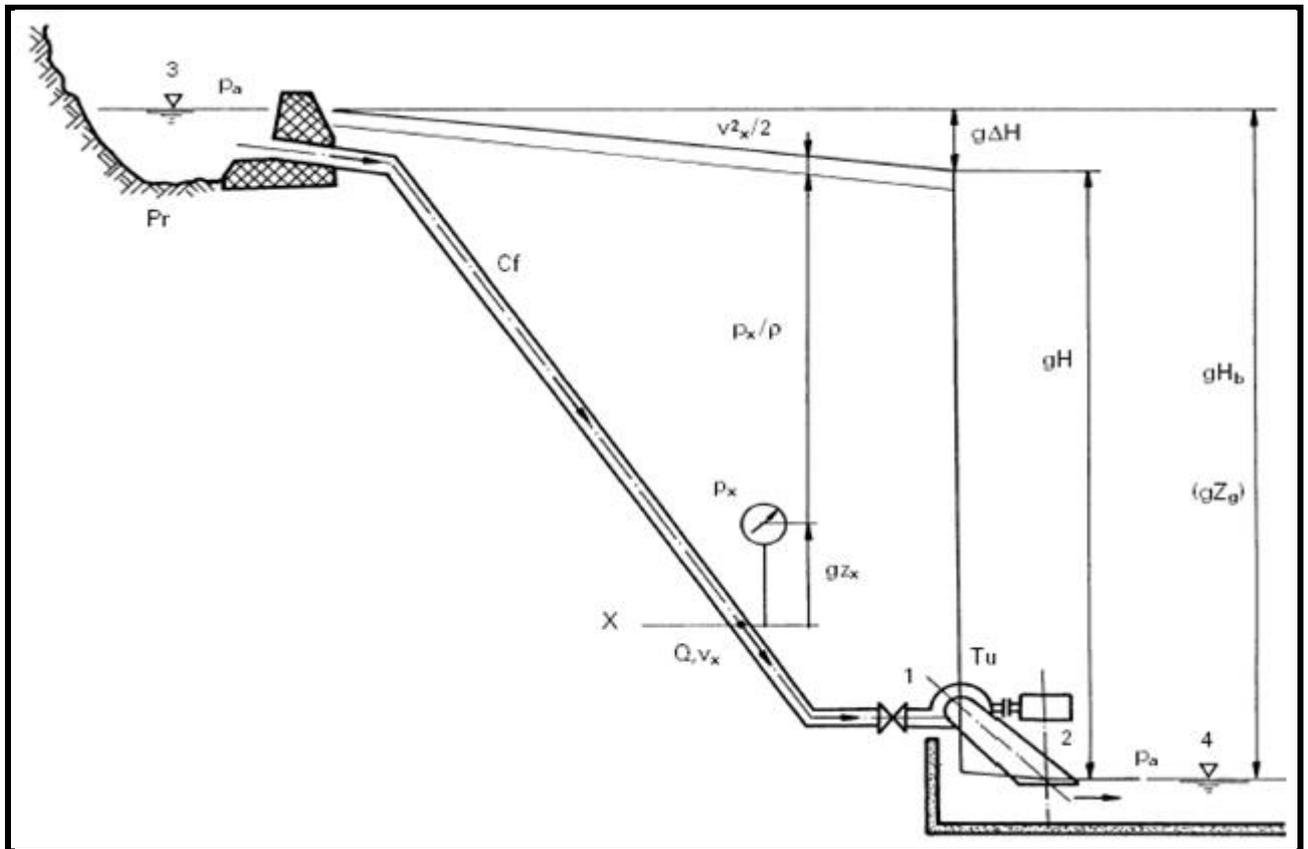


Figure 20 : Composants et profil au long d'une petite centrale hydraulique

Pr : prise d'eau

Cf : conduite forcée

Tu: turbine

1 : point de référence amont turbine

2 : point de référence aval turbine

H_b : chute brute (m)

H_n : chute nette (m)

$\Delta H = A \cdot Q^2$: pertes de charge (m)

Q : débit (m^3/s)



1.3.2 Puissance délivrée par la turbine :

La puissance hydraulique est la puissance fournie à la turbine par l'eau qui l'alimente. Elle est donnée par le produit de l'énergie hydraulique $g.H$ avec le débit massique (débit volumique par masse spécifique) $\rho \cdot Q$.

Toute transformation d'énergie dans une machine donne lieu à des pertes. Il s'ensuit que la puissance obtenue à l'arbre de la turbine, et qui sert à entraîner la génératrice, est inférieure à la puissance hydraulique. Pour obtenir la puissance effectivement à disposition de l'utilisateur, il est nécessaire de considérer le rendement de l'installation, qui tient compte des diverses pertes qui se produisent dans la turbine et dans le générateur.

Pour avoir donc la puissance mécanique délivrée par la turbine, il faut multiplier la puissance hydraulique avec le rendement global de la turbine.

D'où la formule :

$$P = \rho g Q H_n \eta \quad (1.3)$$

Où : P : la puissance mécanique délivrée par la turbine

ρ : la masse volumique de l'eau ; $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

H_n : la hauteur de chute nette ; $H_n = 1.5 \text{ [m]}$

g : accélération de la pesanteur ; $g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Q : débit volumique turbinable = $0.89 \text{ [m}^3\text{/s]}$

η : rendement global de la turbine = 0.78

$$\text{avec } \eta = \eta_H \times \eta_V \times \eta_M \quad (1.4)$$

η_H : le rendement hydraulique = 0.84

η_V : le rendement volumétrique = 0.95

η_M le rendement mécanique = 0.98

Application numérique:

$$P = 1000 \times 9.81 \times 1 \times 1.5 \times 0.7 = 10316.68 \text{ [W]} \text{ ou } 13.92 \text{ [CV]}$$

$$P = 10316.68 \text{ [W]} \quad \text{Soit } 10 \text{ [KW].}$$

Comme vérification, on peut trouver approximativement la puissance plus rapidement sans faire de calcul en utilisant la figure suivante.

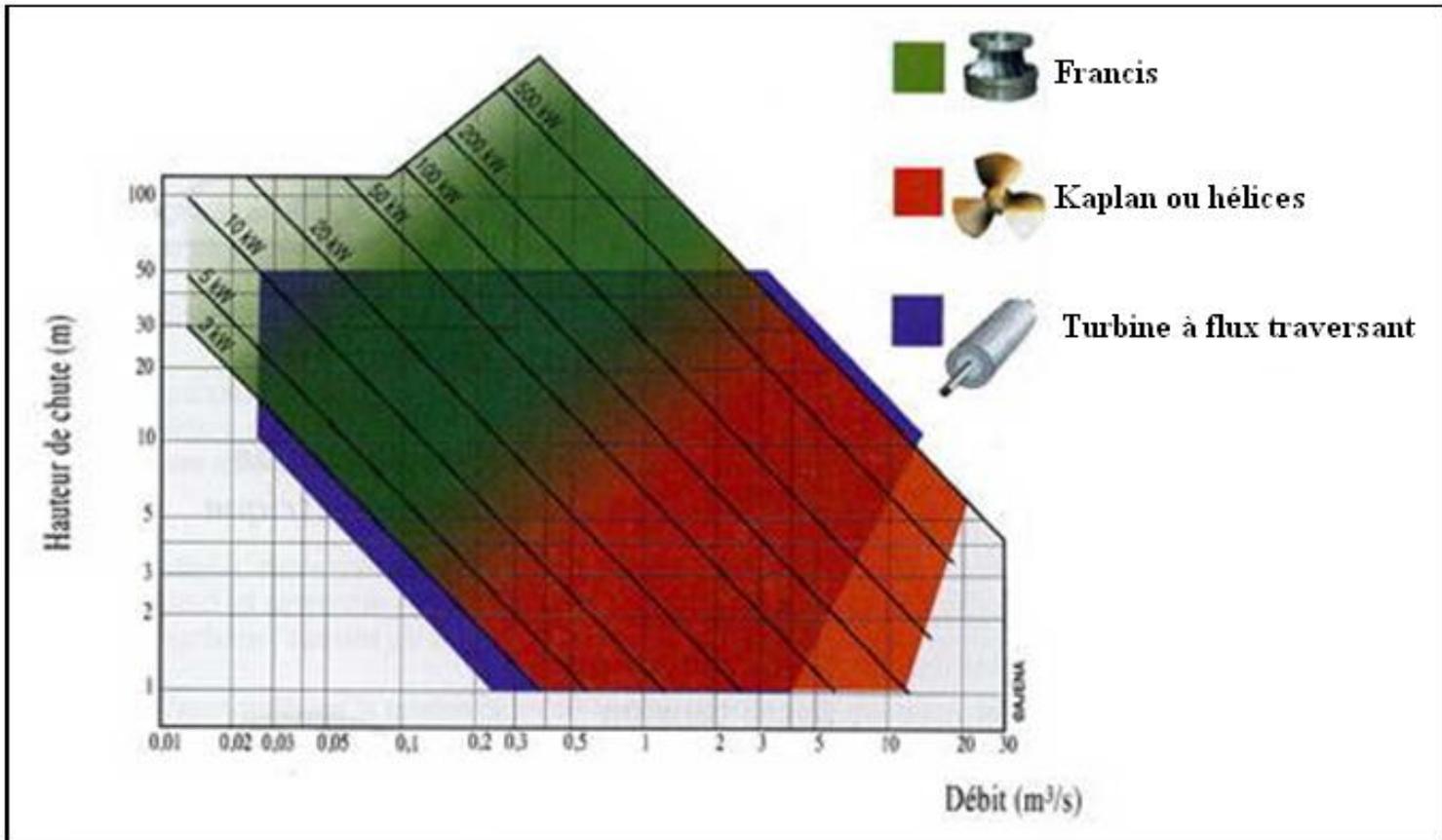


Figure 21 : Diagramme (H_n, Q) déterminant les différents types de turbines

1.3.3 La vitesse spécifique en fonction de la puissance et du débit :

La vitesse spécifique est le nombre de tour auquel tournerait celle des turbines de la même famille qui fournirait une puissance de 1 cheval, sous une chute de 1 mètre, pour la valeur considérée du rendement. Elle s'exprime sous deux formes : soit en fonction de la puissance, soit en fonction du débit.

- **Vitesse spécifique en fonction de la puissance :**

Vitesse de rotation, en t / min, d'une turbine travaillant sous une chute de 1 m et délivrant une puissance de 1 kW.

$$n_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_n^{\frac{5}{4}}} \quad (1.5)$$

- **Vitesse spécifique en fonction du débit**

Vitesse de rotation, en t / min, d'une turbine travaillant sous une chute de 1 m avec un débit de 1[m³/s]



$$n_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H_n^{\frac{3}{4}}} \quad (1.6)$$

Où : n_s : vitesse spécifique en fonction de la puissance [tr/mn]

n_q : vitesse spécifique en fonction du débit [tr/mn]

N : vitesse de rotation de la turbine [tr/mn] $N = 295$ [tr/mn]

H_n : la hauteur de chute nette [m]

P : la puissance [CV]

Q : le débit [m^3/s]

Application Numérique :

$$n_s = \frac{295\sqrt{13.92}}{1.5^{\frac{5}{4}}} = 662.91 \text{ [tr/mn]}$$

$$\Rightarrow n_s = 662.91 \text{ [tr/mn]}$$

$$n_q = \frac{295\sqrt{0.89}}{1.5^{\frac{3}{4}}} = 205.32 \text{ [tr/mn]}$$

$$\Rightarrow n_q = 205.32 \text{ [tr/mn]}$$

1.3.4 Vitesse angulaire spécifique :

$$\Omega = \frac{\omega\sqrt{Q}}{(g \times H_n)^{\frac{3}{4}}} \quad (1.7)$$

Où Ω : vitesse angulaire spécifique

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} \quad : \text{vitesse angulaire de rotation [rad/s]} \quad (1.8)$$

Application numérique :

$$\Omega = \frac{30.87\sqrt{3.89}}{(9.81 \times 1.5)^{\frac{3}{4}}} = 3.87$$

$$\Omega = 3.87 \text{ [rad/s]}$$

La valeur de la vitesse spécifique Ω que nous venons de calculer nous permet de faire une première vérification de la possibilité du choix de turbine que nous avons fait, pour ce faire, nous allons utiliser l'abaque de la figure suivant :

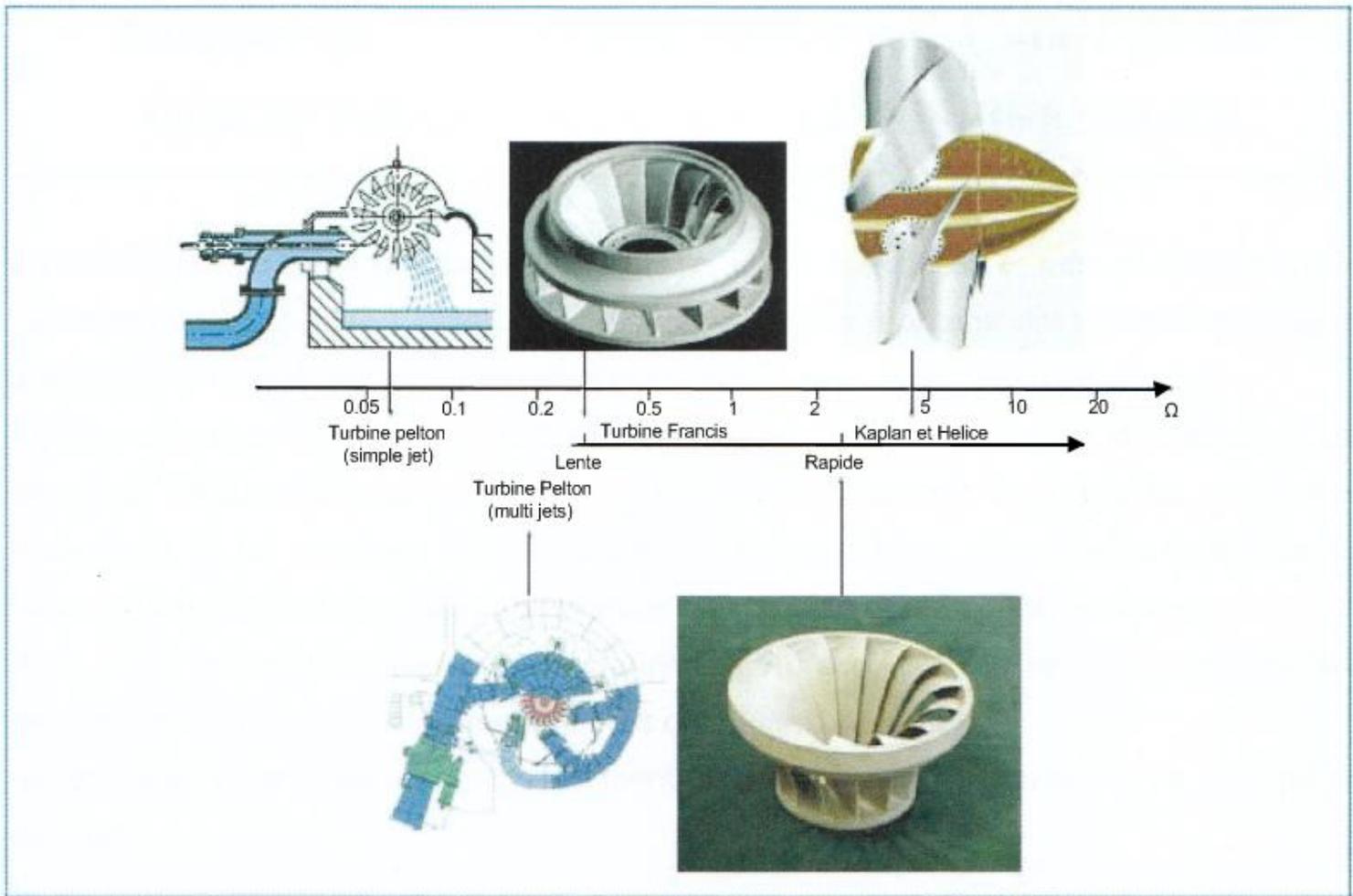


Figure 22: plage de fonctionnement des turbines en fonction de la vitesse spécifique Ω

Comme nous voyons sur la figure, la turbine hélice et Kaplan nécessitent une vitesse spécifique élevée pour pouvoir fonctionner. La valeur de la vitesse spécifique que nous venons de calculer est donc acceptable pour être utilisée avec la turbine hélice vue que la hauteur de chute nette H_n que nous avons pris est à la limite.

**CHAPITRE 2 : DIMENSIONNEMENT DE LA ROUE ET DU CANAL D'ENCEINTE****2.1. DIMENSIONNEMENT DE LA ROUE**

Nous pouvons voir sur la figure suivante les différentes dimensions de la turbine que nous allons déterminer.

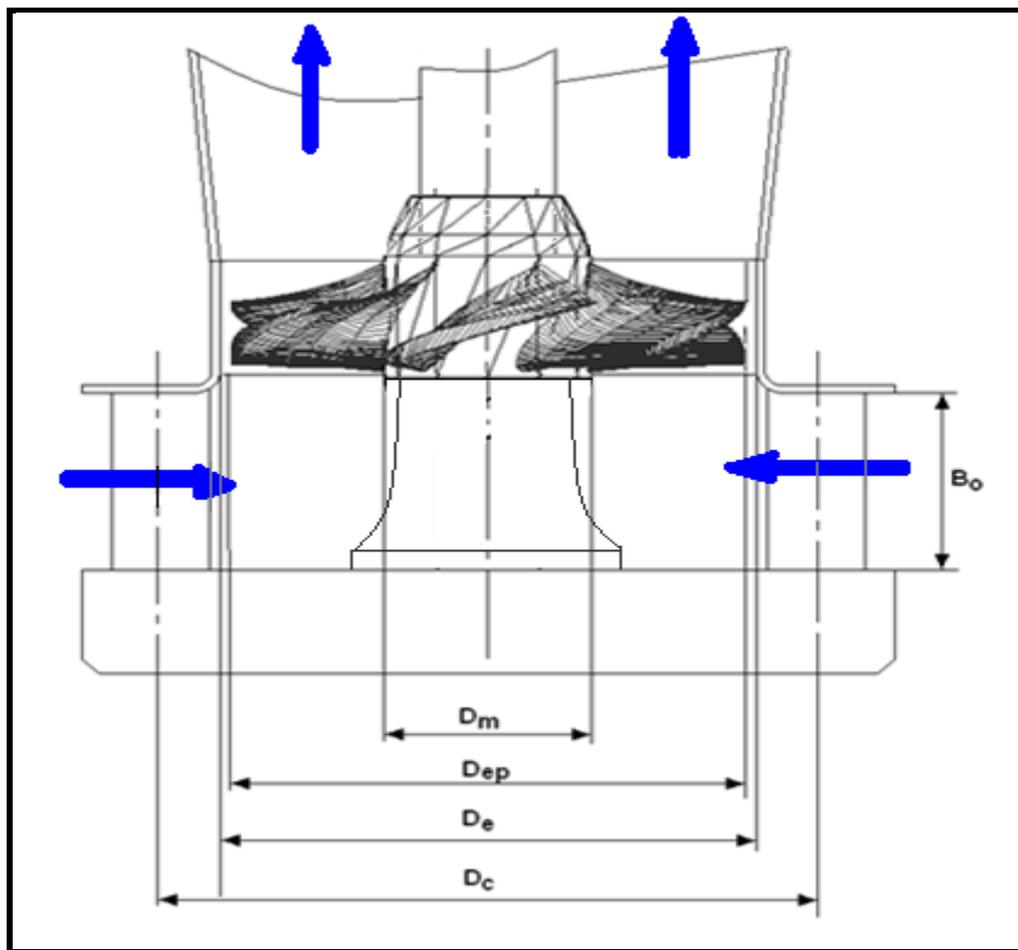


Figure 23 : Caractéristiques de la turbine

2.1.1 Diamètre extérieur de la roue :

Pour calculer le diamètre extérieur de la roue, il faut tenir compte du coefficient de vitesse K_u que nous pouvons tirer de la figure 20.

$$D_{ep}[\text{m}] = \frac{60K_u\sqrt{2gH_n}}{\pi \cdot N} \quad (2.1)$$

K_u : coefficient de vitesse = 1.7 (ref : Lucien Vivier « turbine hydraulique et ses régulations »)

D_{ep} : diamètre extérieur de la roue

**Application numérique :**

$$D_{ep} = \frac{60 \times 1.7 \sqrt{2} \times 9.81 \times 1.5}{\pi \cdot 295}$$
$$= 597.4 \text{ [mm]}$$

$$D_{ep}[\text{m}] = 0.597 \text{ [m]}$$

2.1.2 Diamètre du canal d'enceinte :

Pour trouver le diamètre du canal d'enceinte, il faut ajouter au diamètre extérieur de la roue un interstice a , d'où la formule :

$$D_e[\text{m}] = D_{ep} + 2a$$

(2.2)

En prenant un interstice $a = 2.5$, on a :

$$D_e = 602.4 \text{ [mm]}$$

2.1.3 Diamètre du moyeu de la roue :

On peut trouver le diamètre de moyeu D_m en utilisant la courbe D_m/D_e en fonction de la chute nette H_n de la figure suivante pour la turbine hélice.

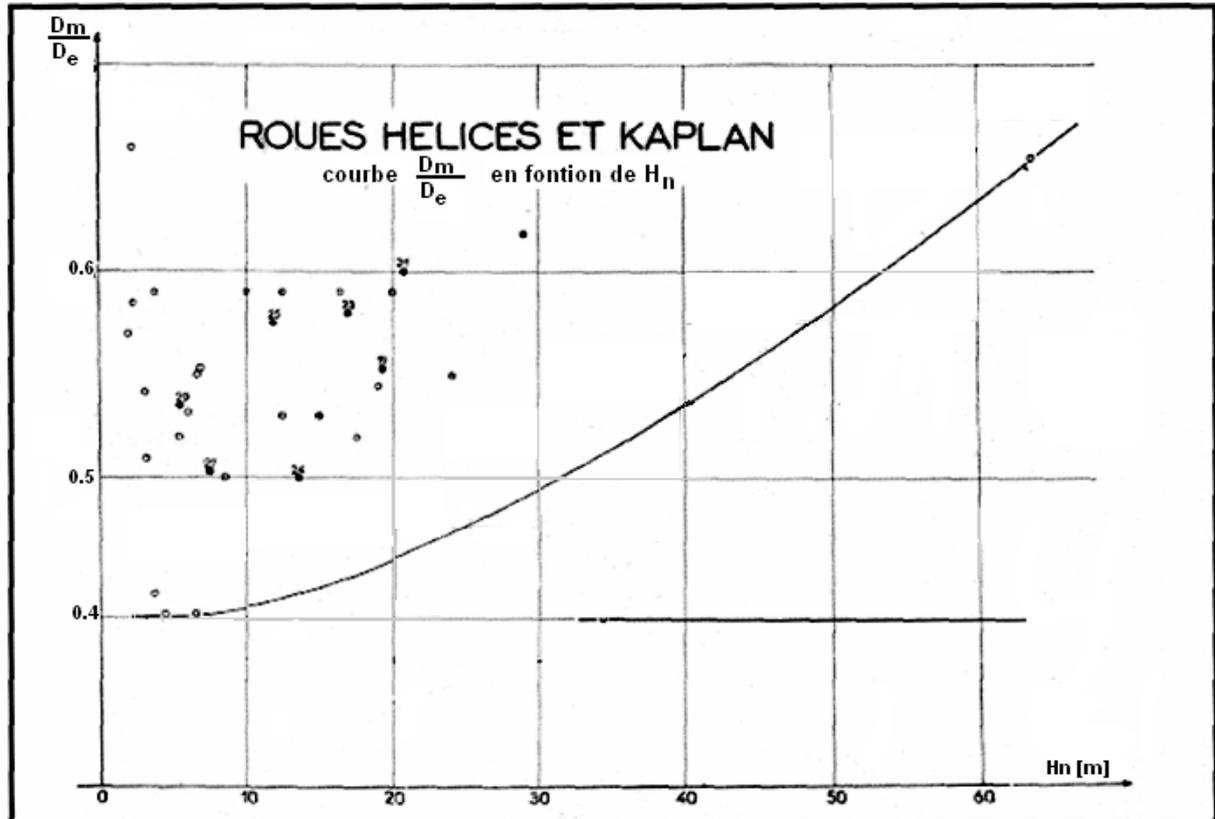


Figure 24 : rapport m en fonction de la hauteur de chute H_n



$$D'après le courbe, on a $m = \frac{D_m}{D_{ep}} = 0.4$ (2.3)$$

$$D'où $D_m = 0.4 \times D_{ep}$$$

Application numérique :

$$D_m = 0.4 \times 597.4$$

$$D_m = 238.9 \text{ [mm]}$$

2.1.4 Calcul de la vitesse à la sortie de la roue :

Supposons que la vitesse à la sortie de la roue C_2 est verticale sans composante périphérique C_{u2} , le triangle des vitesses se présente alors comme suit :

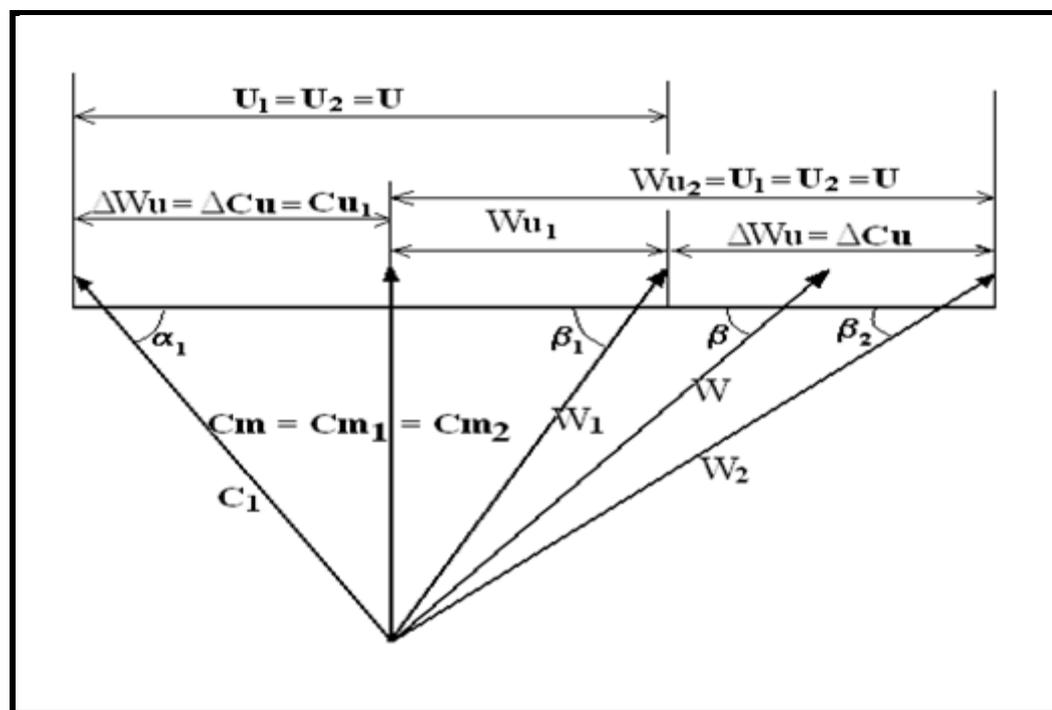


Figure 25 : triangle de vitesse à l'entrée et à la sortie de la roue

De ce triangle de vitesse, on a $C_2 = C_m$

Où C_m est la composante méridienne de la vitesse absolue C dans la machine dont la formule s'écrit :

$$C_m = K_{cm} \sqrt{2gH_n} \quad (2.4)$$

Avec K_{cm} : le coefficient de la vitesse méridienne et il s'écrit :

$$K_{cm}^{\frac{1}{2}} = \frac{n_s}{575 \cdot K_u \cdot (1 - m)^{\frac{1}{2}} \cdot \eta^{\frac{1}{2}}} \quad (2.5)$$



Où :

m : le rapport entre le diamètre du moyeu D_m et le diamètre extérieur D_{ep} (figure 23)

$K_u = 1.7$: le coefficient de la vitesse d'entraînement obtenue en fonction de la vitesse spécifique
(ref : Lucien Vivier « turbine hydraulique et ses régulations »).

Après calcul, on obtient $K_{cm} = 0.55$

Application numérique :

$$C_m = 0.55 \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.5}$$

$$C_m = 2.98 \text{ [m/s]}$$

2.2. ETAPE DE CALCUL POUR LA REALISATION DES PALES :

2.2.1 Les lignes de courant

Pour trouver les paramètres concernant les pales, on va considérer les lignes du courant dans la turbine comme ceux qui sont représentées sur la figure suivante.

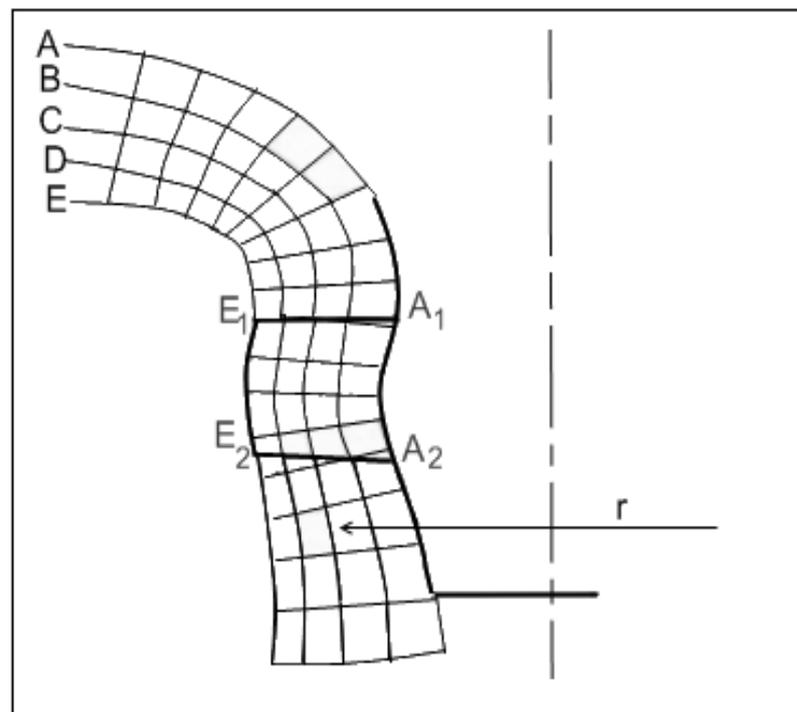


Figure 26 : forme des lignes du courant dans la turbine

A partir du coefficient de portance C_z , nous pouvons faire le choix du profil adéquat afin de déterminer l'angle de calage du profil pour chaque canal élémentaire et de faire le tracé des pales.

**2.2.2 Calcul du coefficient de portance Cz :**

Pour calculer le coefficient de portance Cz, on doit passer par les calculs suivants :

$$U = \frac{\pi \times D \times N}{60} \left[\frac{m}{s} \right] : \text{vitesse périphérique de l'aubage} \quad (3.1)$$

$$\Delta c_u = C_{u1} = \frac{g \times H_n \times \eta_h}{U} \left[\frac{m}{s} \right] : \text{composante périphérique de la vitesse absolue C} \quad (3.2)$$

Le terme $U_1 C_{u1}$ définit l'énergie de tourbillon d'entrée créée par les aubages directeurs (distributeur) et $U_2 C_{u2}$ définit l'énergie tourbillonnaire perdue à la sortie de la roue. Au point de fonctionnement optimum de la turbine cette énergie à la sortie est nulle.

$$W_\infty = C_m^2 + \left(U - \frac{C_{u1}}{2} \right)^2 \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3.3)$$

$$\tan \beta_\infty = \frac{C_m}{U - \frac{C_{u1}}{2}} \quad (3.4)$$

La composante ΔZ (portance) de l'action du fluide sur ce profil dans la direction perpendiculaire à W s'écrit :

$$\Delta Z = C_{Z\rho} \frac{W_\infty^2}{2} L \Delta r \quad (3.5)$$

La composante ΔX (trainée) s'écrit :

$$\Delta X = \Delta Z \tan \varepsilon$$

Angle d'injection ou angle de réglage

$$\tan \varepsilon = \frac{\Delta X}{\Delta Z} \quad (3.6)$$

La valeur de ε reste sensiblement invariable dans les limites des coefficients de portance utilisés, pour le type de profil prévu, ε est de l'ordre de 1° à 2° .

Et le tangage (moment de la résultante de ΔX et de ΔZ % à I) s'écrit :

$$\Delta M = C_{M\rho} \frac{W_\infty^2}{2} L^2 \Delta r \quad (3.7)$$

L'effort tangentiel qui résulte de ces actions est :

$$\Delta T = \Delta Z \sin \beta_\infty - \Delta X \cos \beta_\infty = \Delta Z \left[\sin \beta_\infty - \tan \varepsilon \cos \beta_\infty \right] = \Delta Z \frac{\sin(\beta_\infty - \varepsilon)}{\cos \varepsilon} L \Delta r$$

Ou bien

$$\Delta T = C_{Z\rho} \frac{W_\infty^2}{2} L \Delta r \frac{\sin(\beta_\infty - \varepsilon)}{\cos \varepsilon} = C_{Z\rho} \frac{W_\infty^2}{2} L \Delta r \frac{\sin(\beta_\infty - \varepsilon)}{\sin^2 \beta_\infty \cos \varepsilon} \quad (3.8)$$



L'équation (1) peut être calculée par l'équation d'Euler :

$$\Delta T = \frac{\rho \Delta Q}{Z} (Cu_1 - Cu_2) = \frac{2\pi r \Delta r}{Z} \rho C_m \Delta Cu = t \Delta r \rho C_m \Delta Cu \quad (3.9)$$

Où $\Delta Cu = (Cu_1 - Cu_2)$

$$t = \frac{\pi D}{Z} : \text{pas circonférentiel d'aubage}$$

En égalisant (3.8) et (3.9), on a la relation :

$$Cz * (L/t) = \frac{2\Delta cu \sin^2 \beta_\infty \cos \epsilon}{C_m \sin(\beta_\infty - \epsilon)} \quad (3.10)$$

Avec : l/t : densité de grille (généralement voisin de l'unité)

C_m : composante méridienne de la vitesse de l'eau dans la roue

Z : nombre de pales de la roue qu'on peut trouver entre les deux courbes de la figure suivante :

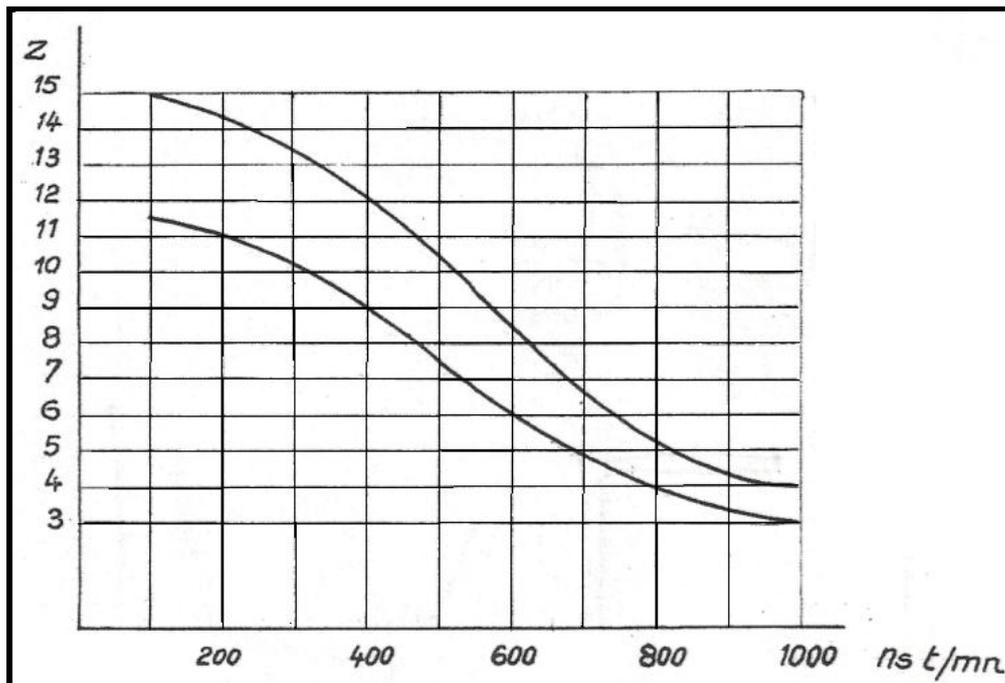


Figure 27 : nombre d'aubes d'une roue à hélices en fonction de la vitesse spécifique n_s



On va élaborer ces formules dans le tableau ci-dessous

grandeur	ligne du courant				
	moyeu A1-A2	B1-B2	C1-C2	D1-D2	(extérieur)E1- E2
diamètre D (mm)	238,948	328,55	418,16	507,7648	597,37
$U =$ ($\pi * D * N / 60$)	3,69	5,07	6,46	7,84	9,22
$\Delta C_u = C_{u1}$	3,35	2,44	1,91	1,58	1,34
W_{∞}^2	12,96	23,76	39,13	58,61	82,04
$\tan \beta_{\infty}$	1,48	0,77	0,54	0,423	0,35
β_{∞}	55,95	37,6	28,5	22,93	19,29
ε	1	1	1	1	1
$C_z * (L/t)$	1,88	1,02	0,63	0,43	0,31
densité de grille L/t	1,65	1,3	1,1	0,95	0,85
$t = \pi D / Z$	125,05	171,94	218,84	265,730	312,62
coeff de portance C_z	1,141	0,784	0,575	0,452	0,367

Tableau 5 : calcul du coefficient de portance C_z

D'après ce tableau, on a eu les courbes suivantes :

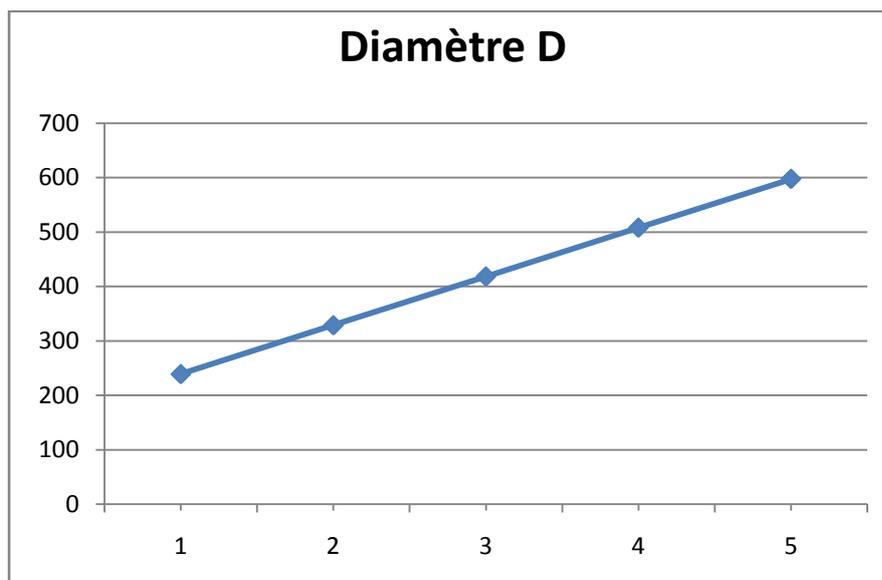


Figure 28 : Courbe montrant le diamètre de la roue à chaque des lignes du courant

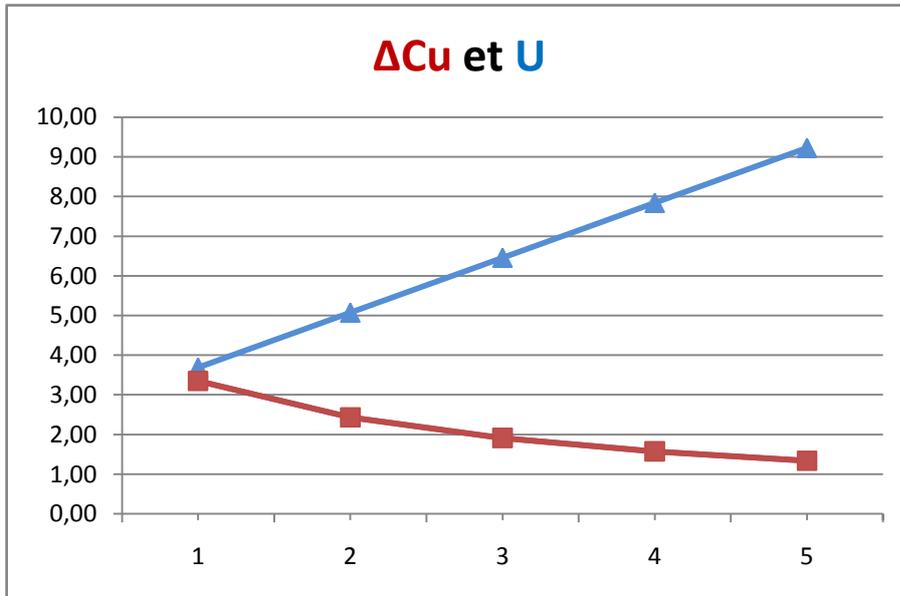


Figure 29 : Courbe de variation de vitesse d'entraînement et de la vitesse périphérique d'entrée de l'eau en fonction des lignes du courant

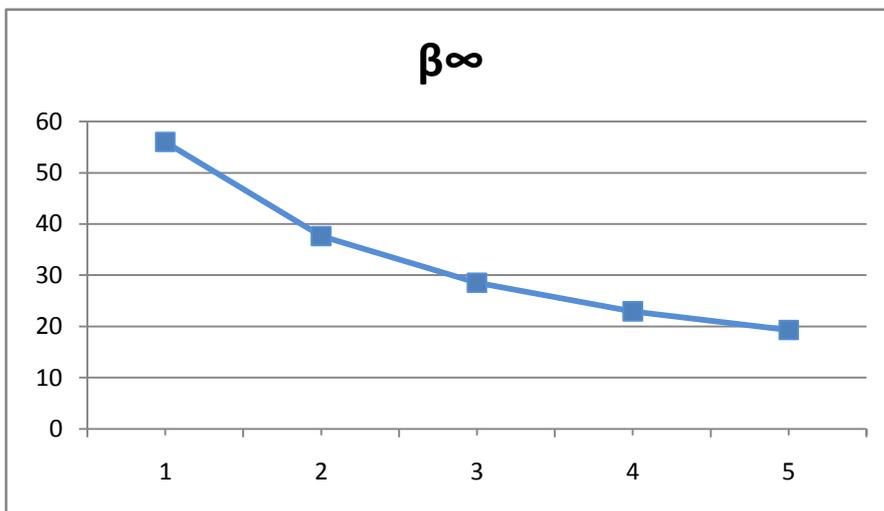


Figure 30 : Courbe de variation de β_{∞} en fonction des lignes du courant

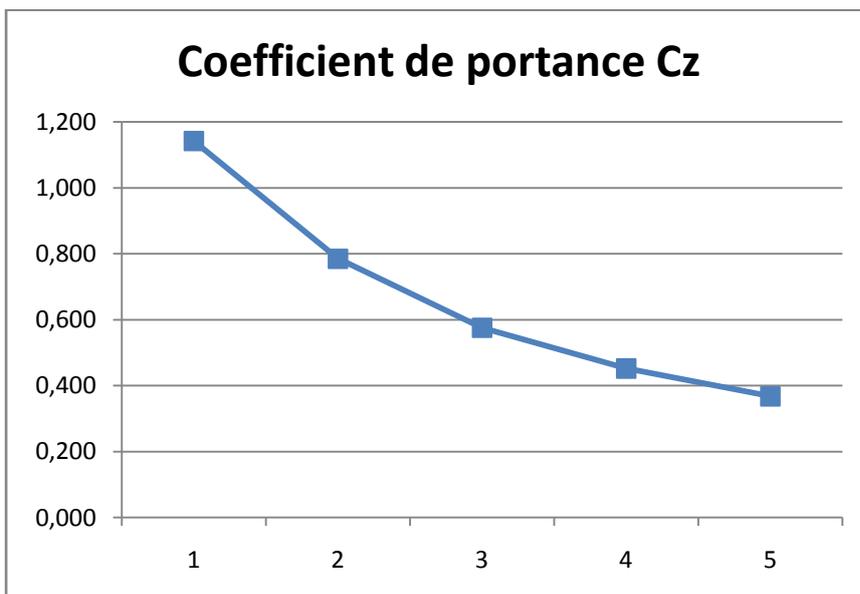


Figure 31 : Courbe de variation du coefficient de portance en fonction des lignes du courant



INTERPRETATION :

A partir du coefficient de portance C_z , on peut déterminer le profil adéquat pour déterminer l'angle de calage de profil pour chaque canal élémentaire et le tracé des pales.

Les courbes obtenues à partir des valeurs calculées dans le tableau ont une variation plus ou moins linéaire, ce qui nous permet d'avoir un bon calage des profils.

2.2.3 Tracé des pales :

Pour faire le tracé des pales, il faut d'abord choisir un profil qui possède les caractéristiques exigés par les calculs.

- Le profil doit avoir le coefficient requis tout en restant suffisamment en-deçà de l'incidence critique (environs de 6° pour les pales d'une turbine hélice) pour éviter les risques de décollement global qui provoque des instabilités en marche.
- Les profils doivent s'adapter les uns aux autres afin d'adapter une continuité et les sections au voisinage du moyeu doit être suffisant pour éviter les contraintes. Il est donc nécessaire d'avoir une section relativement décroissante du moyeu vers l'extérieur.
- Pour le calcul de l'épaisseur du profil, la courbe obtenue doit être linéaire et décroissante. Dans le cas contraire, il faut faire une correction en considérant soit un coefficient d'agrandissement ou d'amincissement, soit en changeant de profil.

On a plusieurs variantes de séries de profils selon leurs formes et leurs dénominations, nous allons présenter quelques exemples comme :

- La série de profil GÖTTINGEN
- La série de profil NACA (National Advisory Comitee for Aeronautics)
- La série de profil CLARK Y
- La série de profil JOUKOWSKI

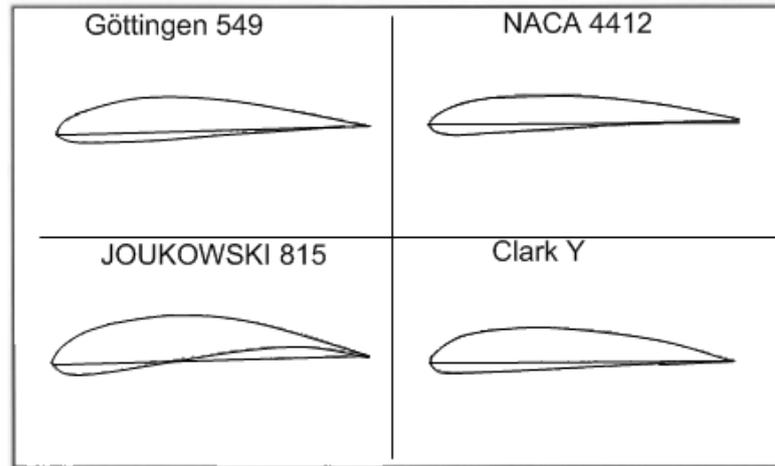


Figure 32 : différents types de profils

Pour un profil donné, la courbe d'évolution de la performance aérodynamique avec l'angle d'incidence ou polaire est donnée en fonction du nombre de Reynolds.

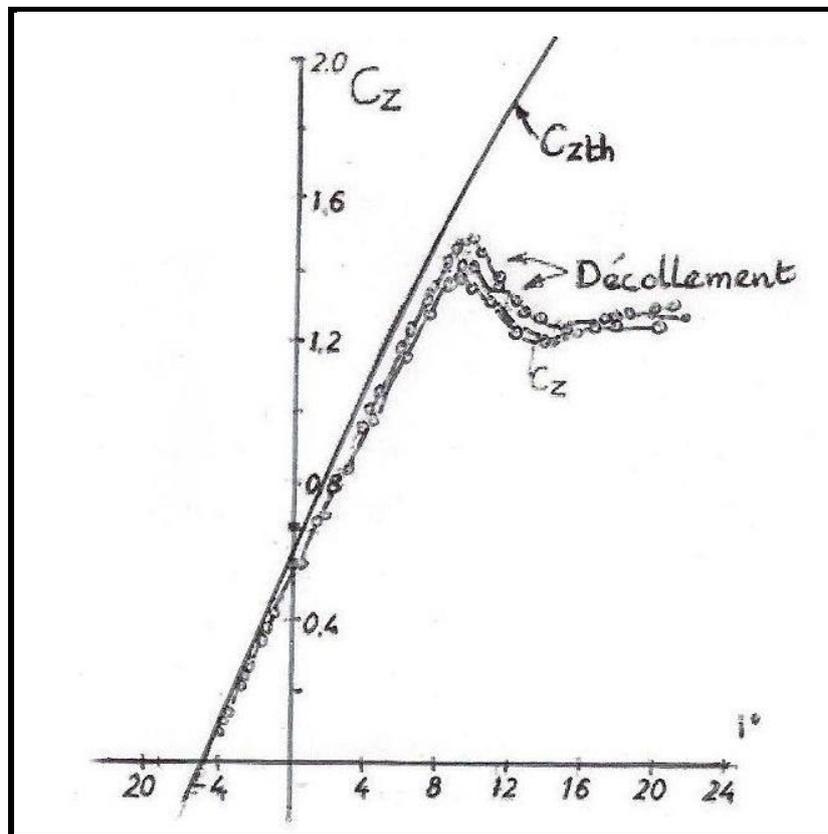


Figure 33 : Courbe d'évolution de la performance aérodynamique globale avec l'angle d'incidence

A cette courbe est liée l'équation du coefficient de portance C_z en fonction de l'angle d'incidence i et de l'épaisseur relative e/L .

$$C_z = K_1 \frac{e}{L} + K_2 i$$

(3.11)



Pour le profil Göttingen 623 par exemple, on a:

$$C_z = 4 \frac{e}{L} + 0.092 i$$

Tracé des pales :

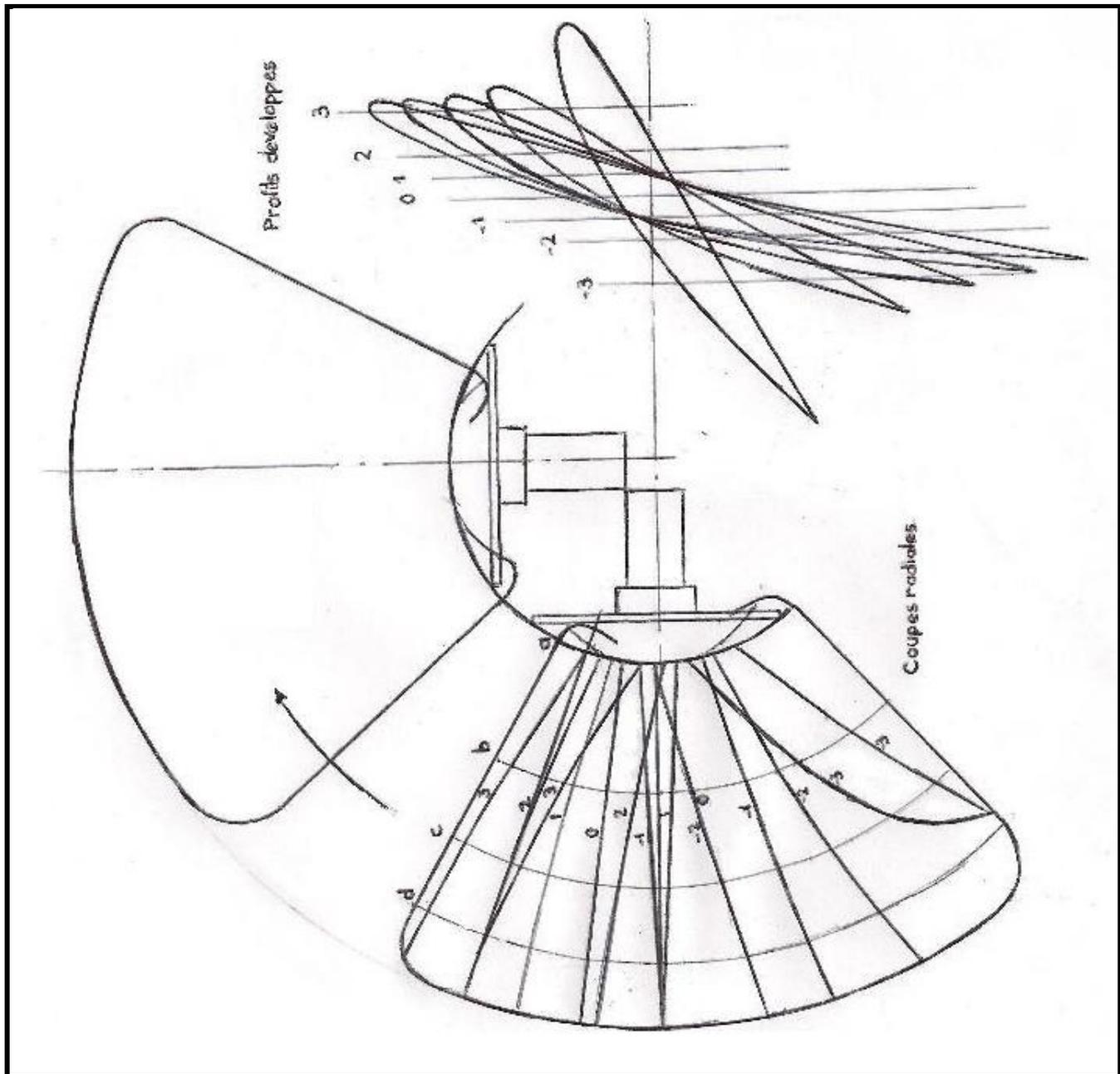


Figure 34 : Principe de tracé des pales

Le tracé est effectué en considérant l'inclinaison de chaque profil par rapport à son centre de gravité c'est-à-dire l'angle de calage β_p qui est défini par

$$\beta_p = \beta_{\infty} - i$$



Nous allons donc établir le calcul pour le tracé des pales dans le tableau suivant en utilisant la série de profil GÖTTINGEN.

profil	série du profil Göttingen				
angle d'incidence α	6	3,4	1,8	0,4	0
longueur des profils L (mm)	206	224	241	252	266
épaisseur maxi des profils Y max	16	12	9,6	9,6	9,6
Y max Réelle	33,0	26,8	23,1	24.2	25.5
Y max corrigé	16	13	11	9.9	9.1
Y max réelle corrigé	33,0	29.1	26.5	25	24.2
angle d'incidence corrigé	6.67	2.87	1.47	0.61	0.04
angle de calage	49.28	34.73	27.03	22.32	19.25
y max / L corrigé	0,16	0,12	0,096	0,085	0,08
$\tan \varepsilon$	0,0216	0,0198	0,0186	0,01794	0,01746
ε	1,2375	1,1343	1,0655	1.0277	0,996

Tableau 6 : calcul pour le tracé des pales

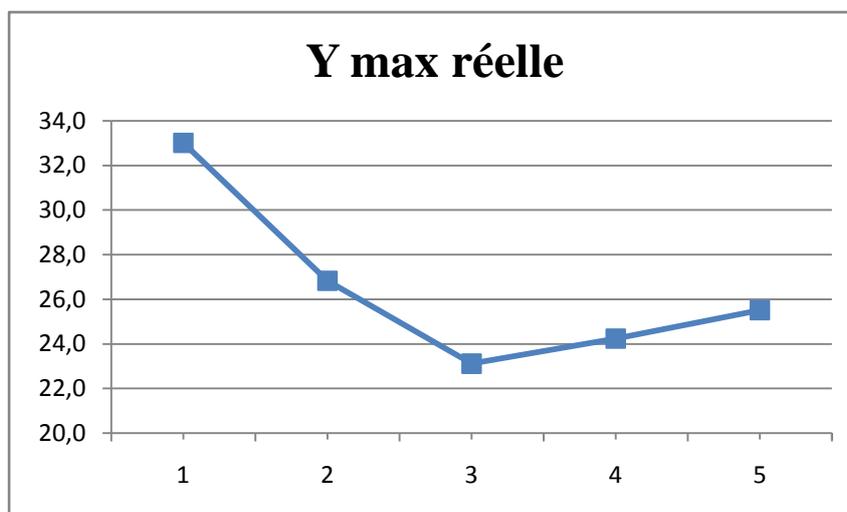


Figure 35 : Courbe de variation de l'épaisseur réelle des profils en fonction des lignes du courant

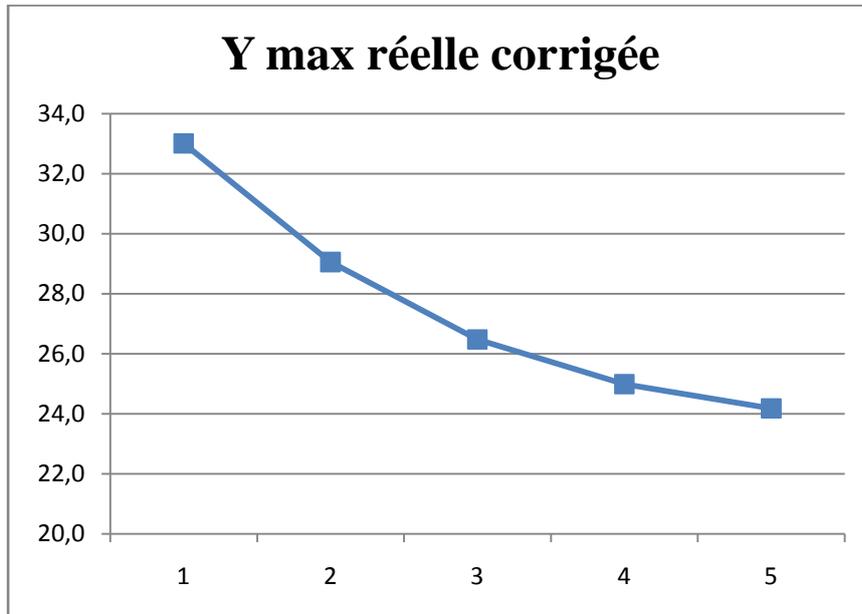


Figure 36: Courbe de variation de l'épaisseur réelle des profils après correction

INTERPRETATION :

De la figure, nous voyons que la courbe est non linéaire. Il faut donc faire appel à un facteur d'agrandissement et d'amincissement F_a dans les lignes du courant (B_1B_2 ; $C1C2$; D_1D_2 ; E_1E_2) pour corriger ce non linéarité en utilisant la formule :

$$Y \text{ max réelle corrigée} = Y \text{ max réelle} \times F_a \quad (3.12)$$

Avec : $F_{a(B_1B_2)} = 1,08333333$

$$F_{a(C_1C_2)} = 1,14583333$$

$$F_{a(D_1D_2)} = 1,03125$$

$$F_{a(E_1E_2)} = 0,94791667$$

Voici la forme finale de la pale après le traçage.

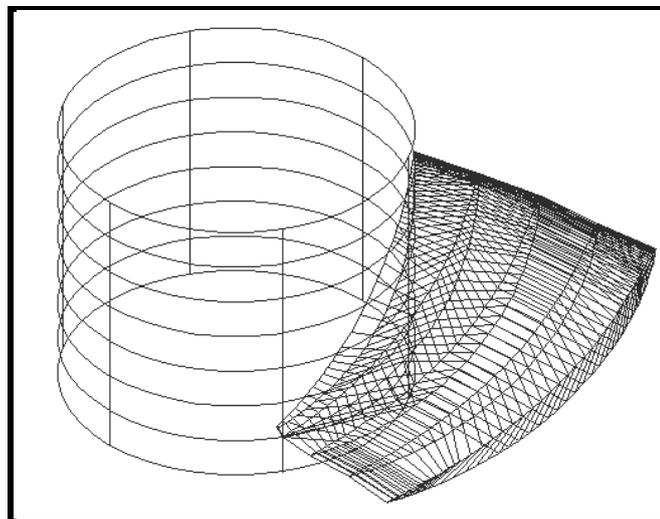


Figure 37 : Forme finale d'une pale après traçage

**CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DU DISTRIBUTEUR****3.1 Définition :**

Le distributeur est un organe qui sert à donner au liquide la composante giratoire de la vitesse absolue nécessaire pour assurer la transformation d'énergie qui doit s'accomplir avec le minimum de perte dont dépend de la plus grande mesure le rendement. Cet ensemble introduit l'eau dans la turbine et il est constitué de 2 flasques entre lesquels se trouvent des ailettes mobiles profilés (ou directrices).

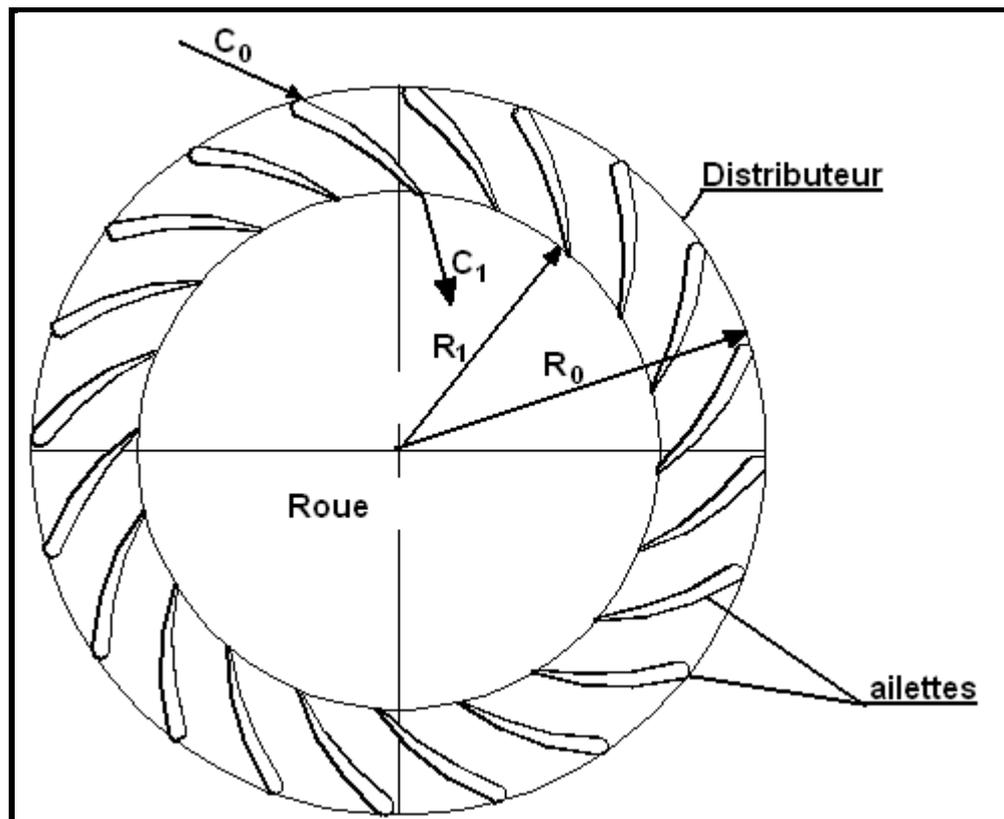


Figure 38 : forme caractéristique du distributeur

3.2 Hauteur du distributeur :

$$B_0 = f \cdot D_e$$

(4.1)

f : facteur définie par la courbe ; f = 0.4 (ref : Lucien Vivier « turbine hydraulique et ses régulations »).

De : diamètre extérieur du canal de la roue

$$B_0 = 240.95 \text{ [mm]}$$



3.3 Vitesse à la sortie du distributeur

L'écoulement est irrotationnel et à potentiel de vitesse constante, il n'y a pas d'échange d'énergie donc :

$$R_i \times C_{u_i} = \text{cte}$$

$$\text{Soit } R_{c1c2} \times C_{u1} = R_{sD} \times C_{u_{sD}}$$

Avec : $\bullet R_{c1c2}$: le rayon pour la ligne du courant moyenne C_1C_2 tel que :

$$R_{c1c2} = D_{c1c2} / 2 = 209.08 \text{ [mm]}$$

$\bullet C_{u1}$: la vitesse d'entrée de l'eau dans la roue tel que ; $C_{u1} = 1.91 \text{ m/s}$ pour la ligne du courant moyenne C_1C_2 .

$\bullet R_{sD}$: le rayon de la sortie du distributeur par rapport à l'axe de la roue si on adopte un petit écartement par rapport à R_{ep} tel que :

$$R_{sD} = R_{ep} + 20 \text{ mm} = 318.69 \text{ mm}$$

$\bullet C_{u_{sD}}$: la composante périphérique de la vitesse à la sortie du distributeur en [m/s]

$$\text{Donc } \boxed{C_{u_{sD}} = \frac{R_{ep} \times C_{u_i}}{R_{sD}}} \quad (4.2)$$

Application numérique :

$$C_{u_{sD}} = \frac{0.298 \times 1.91}{0.318} = 1.79 \text{ [m/s]}$$

$$\boxed{C_{u_{sD}} = 1.79 \text{ [m/s]}}$$

3.4 Vitesse à l'entrée du distributeur :

Comme il n'y a pas d'échange d'énergie, on procèdera comme précédemment.

Soit, $R_{sD} \times C_{u_{sD}} = R_{eD} \times C_{u_{eD}}$ avec

- $\bullet R_{eD}$: le rayon d'entrée du distributeur par rapport à l'axe de la roue tel que :

$$R_{eD} = R_{sD} + 2 (R_{cD} - R_{sD}) = 557.31 \text{ mm}$$

- $\bullet R_{cD}$: le rayon du cercle du tourbillon

$$R_{cD} = 1.2 \times R_e = 1.2 \times 365 = 438$$

La vitesse d'entrée du distributeur $C_{u_{eD}}$ sera donc :

$$\boxed{C_{u_{eD}} = \frac{R_{sD} \times C_{u_{sD}}}{R_{eD}}} \quad (4.3)$$

**Application numérique :**

$$Cu_{eD} = \frac{0.318 \times 1.79}{0.557} = 1.02 \text{ m/s}$$

$$Cu_{eD} = 1.02 \text{ [m/s]}$$

3.5 Angle d'injection α :

$$\tan \alpha = \frac{Cm_{sD}}{Cu_{sD}} \quad (4.4)$$

Cu_{sD} : vitesse périphérique à la sortie du distributeur

Cm_{sD} : Composante méridienne de la vitesse à la sortie du distributeur :

$$Cm_{sD} = \frac{Q}{2 \cdot \pi R_{sD} \cdot B_0} \quad (4.5)$$

$$Cm_{sD} = \frac{1}{2 \times \pi \times 0.318 \times 0.241} = 1.53 \text{ [m/s]}$$

Application numérique:

$$\tan \alpha = \frac{1.85}{1.79} = 1.03$$

D'où $\alpha = 45.8^\circ$

Pour des raisons fonctionnelles, la valeur de l'angle d'injection α est maintenue constante sur toute la hauteur B_0 du distributeur car il faut assurer le contact avec les surfaces des ailettes à la sortie pour avoir le minimum d'étanchéité.

3.6 Courbure des ailettes mobiles :

La forme ou courbure des ailettes mobiles, selon la loi de vortex, suit la trajectoire d'une spirale logarithmique d'équation :

$$R = R_0 e^{k\theta} \quad (4.6)$$

k : coefficient égal à $\tan \alpha$

θ : angle que fait R avec R_0 .

$$R_0 = R_{sD} = 318 \text{ [mm]}$$

$$\text{Calcul de } \theta : \frac{R_{eD}}{R_{sD}} = e^{k\theta} \text{ donc } k\theta = \ln \frac{R_{eD}}{R_{sD}}$$

$$\text{Alors } \theta = \frac{1}{k} \ln \frac{R_{eD}}{R_{sD}} = 0.54$$

⇒ $\theta = 0.54 \text{ [rad]}$ soit $\theta = 31^\circ$



3.7 Nombre d'ailettes :

Pour une facilité de construction, on choisi un nombre d'ailettes paire et multiple de 4 de préférence, ce choix est exigé si le couvercle de la turbine sont partagés afin de réduire les vibrations surtout lorsque la sortie du turbine est assez proche de l'entrée de la roue. Il faut aussi que le nombre des ailettes du distributeur ne soit pas multiple du nombre d'aubes.

Pour calculer le nombre d'ailettes, on a la formule :

$$Z_D = \frac{2 \cdot \pi R_{cD}}{AB} \quad (4.7)$$

Avec AB distance entre point d'impact ; AB = 137 [mm]

$$Z_D = \frac{2 \times \pi \times 438}{137} = 20.07$$

$$Z_D = 20$$

RECAPITULATION :

Pour réaliser donc une microcentrale hydraulique à siphon qui produise une puissance mécanique d'environ 10 kW, il faut avoir un site qui correspond aux calculs et aux données que nous venons de voir, c'est-à-dire que le site d'emplacement devrait remplir les conditions suivantes :

- Hauteur de chute H_n : 1.5 [m]
- Débit nominal Q : 0.89 [m³/s]
- Vitesse à l'entrée du distributeur : 1.02 [m/s]

Donc, la construction d'un barrage est nécessaire pour avoir la hauteur de chute. La vitesse à la surface du cours d'eau aussi doit être environ de 1.5 [m/s] pour avoir une vitesse de 1.02 [m/s] à l'entrée du distributeur.



QUATRIEME PARTIE :

ESTIMATION DU COUT D'UNE

MICROCENTRALE HYDRAULIQUE

**5.2.1. Coût d'une petite centrale hydroélectrique :**

Tout comme le potentiel hydroélectrique, les coûts d'un projet hydroélectrique varient énormément d'un site à un autre. En moyenne, 75 % des coûts d'un projet dépendent de la configuration du site ; il s'agit essentiellement des ouvrages de génie civil. Le reste des coûts concerne les équipements électriques et mécaniques (comme les turbines et les alternateurs) et dépend plus de la taille du projet que de sa localisation.

Il est à savoir qu'un projet hydroélectrique demande un investissement élevé au départ, mais il générera ensuite des revenus pour au-delà de 20 ans en n'exigeant que de faibles coûts d'exploitation et d'entretien. Les infrastructures de génie civil et les équipements sont bâtis pour plusieurs décennies alors que certaines centrales automatisées fonctionnent en télésurveillance et n'exigent que des visites périodiques par des entrepreneurs qui effectuent des inspections et de l'entretien préventif. Sinon, la plupart des petites centrales se contentent d'une personne à temps partiel pour leur surveillance. La taille et le coût des turbines dépendent du débit qui doit la traverser.

5.2.2. Estimation des coûts des matériels utilisés pour la turbine :

Nous allons faire l'évaluation du coût de la réalisation d'une turbine hélice en utilisant le tableau suivant.

N°	Nbr	Désignation	Prix unitaire [Ar]	Prix total [Ar]
1	1	Distributeur	325 000	325 000
2	8	Vis H M 16	700	5 600
3	8	Ecrous H M16	200	1 600
4	16	Rondelles pour vis et écrous H M 16	100	1 600
5	1	Joint d'étanchéité pour le roulement	17 500	17 500
6	1	Joint d'étanchéité pour la butée	15 000	15 000
7	1	Roue hélice	5 500 000	5 500 000
8	1	Arbre (axe de la roue)	1 428 000	1 428 000
9	2	Flasques	500 000	1 000 000
10	1	Roulement à rouleaux coniques	750 000	750 000
11	1	Butée à billes	725 000	725 000
12	2	Clavettes	35 000	70 000
13	1	Ecrou H M 40	5 500	5 500
14	1	Rondelles pour écrou H M 40	1 000	1 000
15	2	Entretoises	60 000	120 000
TOTAL				9 965 800

Tableau 7 : prix estimatifs des matériels d'une turbine hélice



Pour avoir le prix entier d'une microcentrale, il faut tenir compte des autres composants du système qui sont la partie du génie civil et la partie électrique. Nous allons donc donner le prix de construction d'une microcentrale hydraulique alimentée par un siphon, dans le tableau ci-après, sans tenir en compte les différentes études et les divers frais.

5.2.3. Estimation du coût de la microcentrale hydraulique :

Partie de l'installation	Prix estimatif
Siphon	4 505 400
Turbine hélice	9 965 800
Electrique et régulation	6 630 000
TOTAL	21 101 200

Tableau 8 : prix estimatifs d'une microcentrale hydraulique alimentée par siphon

De ces valeurs, on doit encore ajouter le prix du barrage et du bâtiment mais ces derniers varient énormément d'un site à un autre, donc on ne va pas entrer dans ce détail.

LES AVANTAGES DES MICROCENTRALES :

Les microcentrales hydrauliques permettent d'approvisionner en électricité des sites non raccordés au réseau comme une région isolée ou des petites communautés éloignées. Des très petits systèmes peuvent même servir à alimenter des résidences individuelles.

La possibilité de produire de grandes quantités d'électricité avec de très faibles coûts d'exploitation. Ces projets demandent un important investissement initial pour leur construction et l'achat d'équipements, mais une fois en place, on bénéficie de l'électricité pendant une période supérieure à 20 ans en n'ayant que de faibles coûts d'exploitation et d'entretien.

La production d'énergie avec une microcentrale est indépendante des variations des coûts des combustibles fossiles. Il s'agit donc d'investissement à faible risque.

Enfin, comme un débit d'eau se contrôle facilement, une centrale hydroélectrique permet de s'adapter rapidement aux variations de la demande d'électricité.

Donc, on peut dire que les microcentrales hydrauliques sont une technologie mûre et fiable.



CINQUIEME PARTIE :

VOLET ENVIRONNEMENTAL



5.1. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Il y a toujours confusion entre environnement, du point de vue générale, et environnement écologique. Or, selon la loi N°90.033-97.012-2004.015 relative à la charte de l'environnement Malagasy, l'article 2 définit l'environnement comme l'ensemble des milieux humains et les facteurs socioculturels qui intéressent le développement national.

L'environnement constitue une préoccupation prioritaire pour l'Etat ; la protection et le respect de l'environnement sont d'intérêt général, d'après les énoncés relatifs aux articles 3 et 4 de la Charte de l'environnement Malagasy.

Il serait donc du devoir de chacun de veiller à ce que le respect de l'environnement soit bien mise en valeur.

Les objectifs essentiels pour aboutir à un développement durable :

- Développer les ressources humaines,
- Promouvoir un développement durable en gérant mieux les ressources naturelles,
- Réhabiliter, conserver et gérer le patrimoine Malagasy de biodiversité,
- Améliorer le cadre de vie des populations rurales et urbaine,
- Maintenir l'équilibre entre croissance de la population et développement des ressources,
- Améliorer les outils de gestion de l'environnement,
- Aider à la résolution des problèmes fonciers.

Concernant les projets industriels, conformément à l'article 10 de la loi N° 90-033 du 21 Décembre 1990 portant Charte de l'Environnement Malagasy et ses modificatifs, les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact environnemental (EIE).

L'environnement est l'ensemble des milieux naturels façonnés par l'homme, y compris les milieux humains, les facteurs sociaux et culturels qui les déterminent ainsi que les éléments biotiques et abiotiques de la nature.

La protection de l'environnement, la préservation des équilibres biologiques et la sauvegarde des ressources naturelles contre toute cause de dégradation ou d'altération par les pollutions industriels sont d'intérêt général.

La constitution et les principes généraux de droit environnemental imposent à chacun de participer à la sauvegarde de l'environnement du cadre dans lequel il vit, et notamment à la lutte contre les pollutions industrielles affectant le milieu dans lequel il vit.



5.1.1. Documents nécessaires avant la réalisation du projet

Cette étude peut être classée comme projet d'investissement privé, cependant, on doit toujours prendre en compte la loi énoncée auparavant dans la Charte de l'Environnement Malagasy.

En ce qui concerne l'étude, on serait obligé de formuler les dossiers ci-après, portant l'EIE, pour se procurer un permis ou agrément environnemental auprès de l'Office National pour l'Environnement (ONE) ou du Ministère de tutelle de l'activité. Cette obligation est conforme à l'article 11 (nouveau) du décret MECIE stipulant qu'une directive générale précise le contenu d'une EIE :

L'EIE, telle visée aux articles 3 et 7, est effectuée aux frais et sous la responsabilité du promoteur. son contenu est en relation avec l'importance des travaux et aménagements projetés et avec leurs incidences possibles sur l'environnement.

Une directive générale précise le contenu d'une EIE qui doit au moins comprendre :

- ❖ Un document certifiant la situation juridique du lieu d'implantation du projet ;
- ❖ Une description du projet d'investissement ;
- ❖ Une analyse du système environnemental affecté ou pouvant être affecté par le projet ; cette analyse doit aboutir à un modèle schématique faisant ressortir les principaux aspects (statique ou dynamique, local ou régional) du système environnemental, en particulier ceux susceptibles d'être mis en cause par l'investissement projeté ;
- ❖ Une analyse prospective des effets possibles sur le système précédemment décrit, des interventions projetées ;
- ❖ Un Plan de Gestion environnemental du Projet (PGEP) ;

Un résumé non technique rédigé en Malagasy et en Français, afin de faciliter la prise de connaissance par le public des informations contenues dans l'étude ; ce résumé joint à l'étude et en fait partie intégrante, qui indiquera en substance en des termes accessibles au public, l'état initial du site et de son environnement, les modifications apportées par le projet et des mesures envisagées pour parier aux conséquences dommageables de l'investissement à l'environnement.



5.1.2. La microcentrale sur l'environnement :

Toute activité humaine modifie l'environnement. C'est le cas des petites centrales, dont l'influence est cependant limitée et peut être mieux maîtrisée que celle des grandes installations. L'ampleur et la nature des impacts environnementaux d'un petit projet hydroélectrique dépendent du type de projet et du site d'implantation. Plusieurs impacts négatifs peuvent être atténués en prêtant attention à la conception, à la construction et à l'exploitation de la nouvelle centrale.

La production d'énergie par la force hydraulique se trouve confrontée à des intérêts divergents (pêche, irrigation agricole, protection de la nature, loisirs) mais ces derniers ne s'excluent pas totalement. La valorisation énergétique d'une chute peut très bien être combinée avec d'autres formes d'utilisation.

Il n'est pas possible de généraliser les incidences des petites centrales sur l'environnement: il faut examiner les différents intérêts pour chaque installation. La préséance ne peut être donnée a priori à l'un des utilisateurs de l'eau en particulier.

Des compromis peuvent d'ailleurs être consentis dans de nombreux cas.

La Loi sur la protection de l'environnement (LPE) n'impose pas d'étude d'impact pour la construction des microcentrales. Seules les installations dont la puissance est supérieure à 3000 kW qui y sont soumises. Cela ne signifie pas pour autant que les effets des petites centrales sur l'environnement ne doivent pas être examinés, mais la procédure elle-même est plus simple dans la mesure où les conséquences sur la nature seront évoquées dans le cadre du rapport technique.

Comme nous utilisons l'eau pour avoir de l'énergie alors il faut s'assurer que la qualité de l'eau ne soit pas être altérée ou mise en danger par pollution ou réchauffement en sortant de la machine.

Cette exigence peut être remplie en accordant un soin particulier aux détails de construction de la turbine: joints d'arbres empêchant toute sortie de polluants ou de poussières vers l'extérieur.



5.2. LES PRINCIPAUX IMPACTS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE CAUSÉS PAR LE PROJET ET MESURE D'ATTENUATION :

5.2.1. Débits de restitution :

Dans le cadre de la protection des eaux, la question des débits résiduels a une signification particulière.

On entend par ce terme le débit maintenu dans le lit de la rivière après un barrage de dérivation ou une prise d'eau. Le tronçon de rivière compris entre le barrage et la réintroduction de l'eau dérivée est appelé tronçon à débit résiduel. Si le débit minimum légal n'est pas respecté, un débit de dotation doit être réinjecté dans le lit de la rivière.

Les débits minima sont exigés pour tenir compte des autres formes d'utilisation du cours d'eau selon la liste suivante:

– **les eaux courantes sont l'espace vital des animaux et des plantes** qui y croissent et s'y reproduisent. Un débit insuffisant peut mettre en danger la survie de ces êtres vivants;

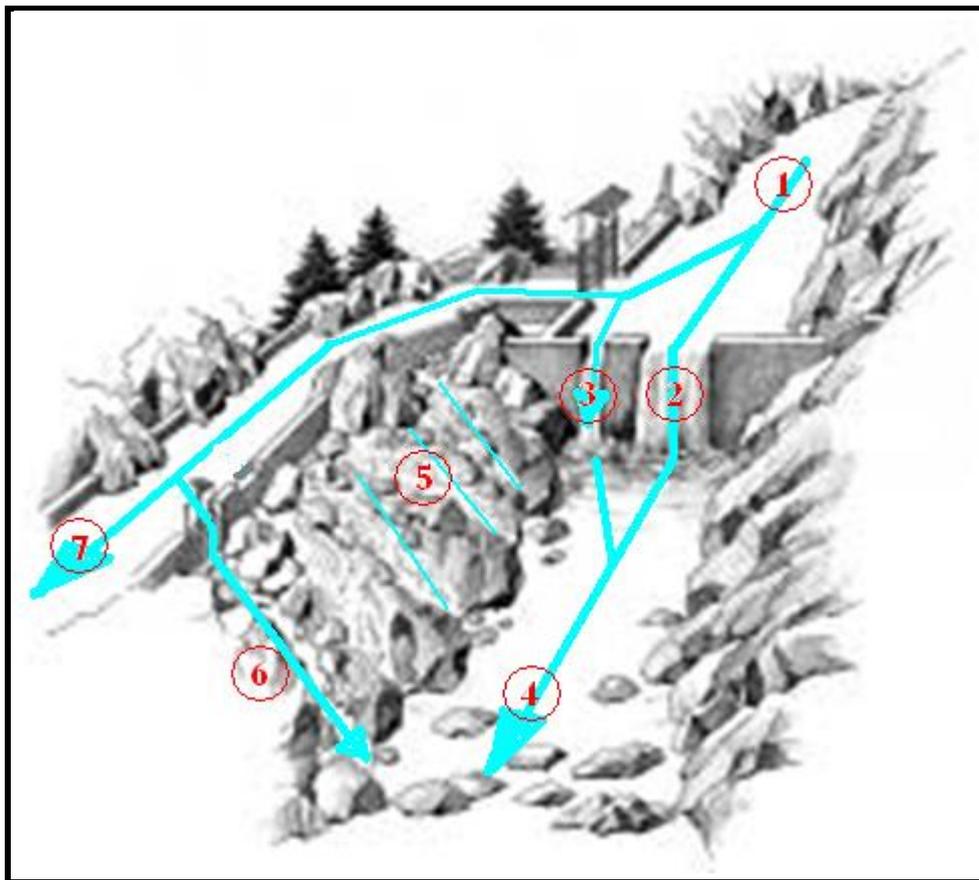


Figure 39 : Définition des débits de restitution

- 1) Débit total de la rivière
- 2) Excédent d'eau
- 3) Débit de dotation
- 4) Débit de restitution

- 5) Pertes et fuites
- 6) Eau de rinçage/purge
- 7) Débit turbiné



- **les nappes souterraines sont souvent alimentées par les eaux de surface** qui en influencent l'équilibre. Une baisse excessive de niveau de la nappe peut porter atteinte à l'approvisionnement en eau potable, ainsi qu'à l'environnement immédiat (forêts et cultures);
- **les rivières font partie intégrante du paysage et sont des lieux de détente.** Le lit d'un cours d'eau dont le débit est insuffisant perd une part importante de cette fonction;
- **les rivières épurent les eaux.** Les impuretés y sont décomposées par les bactéries et autres micro-organismes qui y vivent. Ce mécanisme d'autoépuration est extrêmement important pour la qualité de l'eau. Un débit insuffisant a pour conséquence une destruction moins efficace des polluants, une formation excessive d'algues, des odeurs peu agréables et un aspect rébarbatif de l'eau (couleur, mousse).

Selon la Loi sur la protection des eaux de février 1991 approuvée en votation populaire en mai 1992, la Confédération fixe des débits minimaux à respecter par les centrales hydrauliques nouvelles ou modernisées. De cas en cas, les cantons imposeront des débits supérieurs à ceux prescrits par la loi pour tenir compte plus strictement des divers intérêts en jeu.

Parallèlement au maintien d'un débit d'eau suffisant, il faut tenir compte d'autres exigences comme celles de la pêche, avec les conséquences pratiques suivantes:

- les nouvelles constructions ou modernisations de petites centrales seront réalisées sans canal de dérivation afin d'éviter les tronçons à débit résiduel (par exemple microcentrale intégrée au barrage);
- les tronçons à débit résiduel seront aménagés de manière à maintenir une profondeur d'eau suffisante de 15 à 20 cm (canal pour débit minimum), assurer une diversité suffisante dans la forme et la structure du lit de la rivière ainsi qu'une vitesse d'eau variable, avec zones tranquilles et rapides;
- les barrages et les déversoirs des petites centrales seront construits de manière à permettre le passage des poissons (échelle ou passe à poissons).

Du point de vue écologique, il est recommandé d'éviter l'aménagement en dur des berges (béton, enrochements), de conserver la végétation naturelle, voire de la compléter par de nouvelles plantations.

Par contre, il faut s'assurer que le profil du lit et des berges permettra le passage des crues sans érosion ni inondation.

Pour satisfaire à ces deux exigences, des techniques dites «naturelles» sont possibles, combinant les plantations de végétaux avec matériaux durs (blocs de pierres, bois).



Si les aménagements traditionnels en dur brisent la force du courant, les techniques naturelles agissent avec souplesse en freinant l'eau par le manteau élastique des buissons et des plantes, leurs racines entrecroisées assurent la résistance et la stabilité au sol.

Le recours aux matériaux classiques se limite aux endroits où il est impossible de stabiliser la rive avec des végétaux, lorsque les vitesses d'écoulement sont trop élevées et qu'il s'agit de détruire ponctuellement l'excès d'énergie de l'eau (par exemple au pied de barrages ou de chutes).

Il faut veiller à conserver l'hétérogénéité du profil de la rivière lors de son aménagement au voisinage de la centrale et d'éviter la monotonie de rives rectilignes ou de talus uniformes. La création des tronçons de rivières, proche de l'état sauvage, favorise le développement d'un grand nombre d'organismes vivants qui constituent la base de l'autoépuration des cours d'eau.

Dans le cadre d'un aménagement respectueux de l'environnement, la création d'un chenal pour les basses eaux est souvent nécessaire afin de concentrer l'écoulement en maintenant une profondeur minimale pendant les temps secs d'au moins 20 cm; ceci pour permettre la migration des poissons.

Les blocs, les brise-lames, les rampes et les chutes artificielles servent à créer des zones de profondeur et une vitesse d'eau variable qui permettent aux organismes vivants de se multiplier.

5.2.2. Exigences de la pêche :

Pratiquement toutes les variétés de poissons entreprennent des migrations pour frayer et se nourrir.

Les barrages des microcentrales constituent un obstacle parmi d'autres à ces déplacements; cependant il est possible de maintenir un passage pour la faune piscicole par la construction de passes, ou échelles à poissons.

Celles-ci peuvent prendre la forme de ruisseaux de détournement, de bassins successifs, d'écluses ou de rampes à ralentisseurs.

La rampe à ralentisseurs est une surface inclinée, en bordure ou sur toute la largeur d'un seuil ou d'un barrage. Elle est garnie avec des blocs non jointifs qui ralentissent l'écoulement de l'eau. Les espaces entre blocs forment des poches et des sillons, l'aspect de la rampe se rapprochent de celui d'un lit naturel.

Les poissons effectuent une ascension par paliers en se glissant entre les blocs.

Les passages à bassins successifs sont la plupart du temps réalisés en béton, ce qui permet une construction plus compacte. Ils comportent un canal rectangulaire avec des parois de séparation formant des petits bassins. Les poissons peuvent ainsi gravir la hauteur du barrage par paliers, en sautant d'un bassin à un autre et ils peuvent reprendre des forces en s'y reposant.



Si l'échelle à poissons ne fonctionne pas, soit leur construction n'est pas adéquate, soit une attention suffisante n'a pas été portée à leur implantation en fonction des habitudes de la faune piscicole à l'entrée de la passe pour les inciter à y pénétrer. Il arrive souvent que cette entrée soit placée de manière telle que les poissons qui voudraient y grimper ne parviennent même pas à la trouver.

En effet ceux-ci s'orientent dans l'eau en fonction du courant, ils évitent les remous qui ne leur indiquent aucune direction et recherchent le courant là où il est le plus intense.

L'entrée de la passe doit donc se trouver à proximité de la rive, dans le courant principal (sortie de la turbine, ou près du point d'impact de la chute du barrage).

L'illustration suivante montre une implantation correcte d'une passe à poissons.

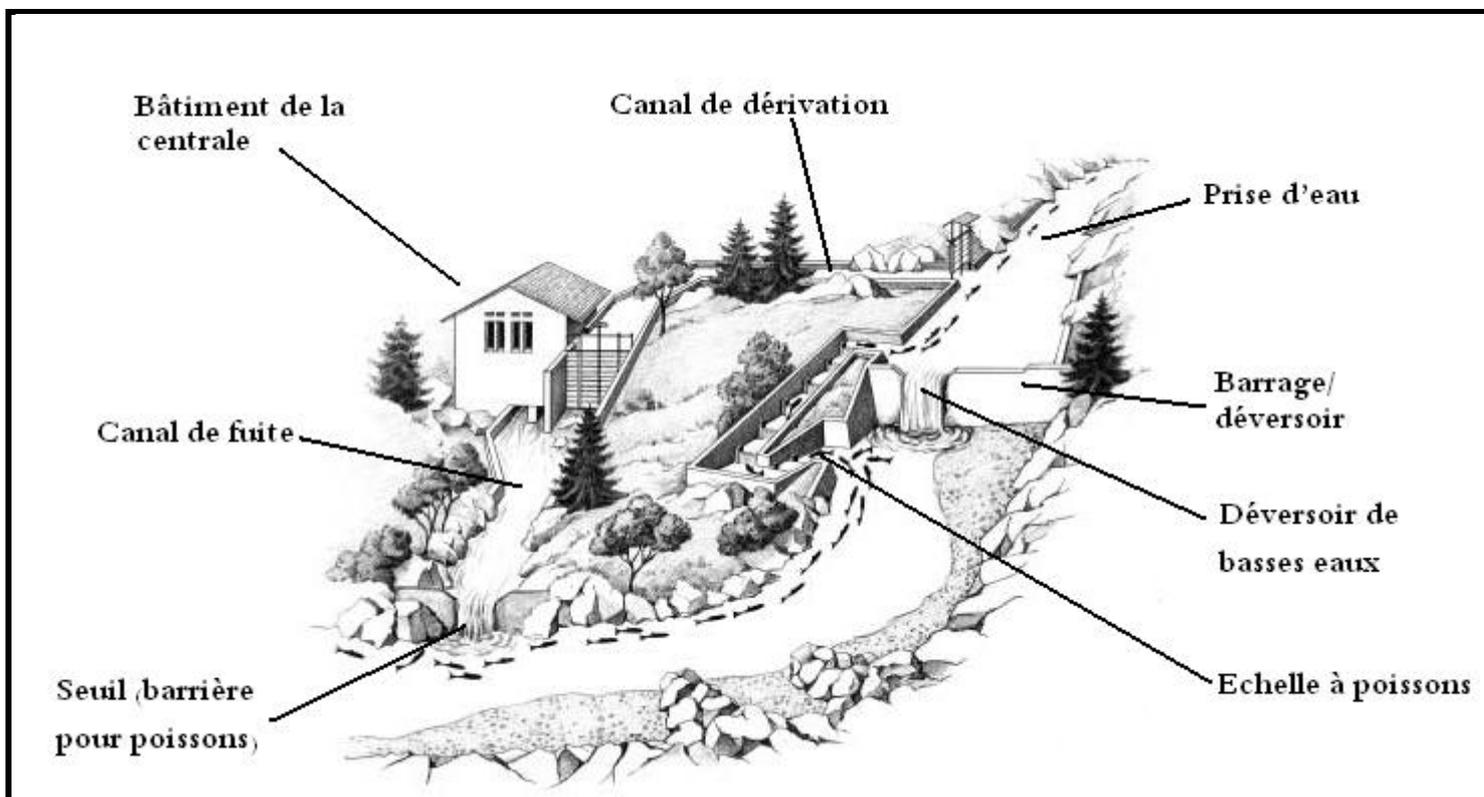


Figure 40 : type d'installation d'une passe à poisson

5.2.3. Installations dans le paysage :

«Tout est question de goût».

Les centrales hydrauliques suscitent souvent des débats sur leurs qualités esthétiques, mais, de ce point de vue, les petites centrales posent moins de problèmes que les grandes dont les prises d'eau, les barrages, les vannes et les installations de dégrillage sont bien visibles. Le plus souvent, ces éléments ne font pas partie des petites centrales ou y sont très discrets.



Les conduites forcées sont généralement enterrées et les canaux de dérivation, serpentant dans la campagne sous les arbres et les buissons, ne se différencient guère des ruisseaux naturels.

Etant donné la faible emprise des machines, le volume des constructions reste modeste et dans la plupart des cas, les turbines et les générateurs sont intégrés dans un même bâtiment.

L'intégration au paysage des petites centrales ne pose donc pas de problème particulier.

Le bruit et les vibrations de certaines turbines peuvent atteindre une intensité susceptible d'importuner le voisinage, même lorsque la puissance est faible. Si les turbines sont situées à proximité ou dans un bâtiment habité, il convient de prévoir une isolation phonique des machines et un support antivibratoire sous les fondations du groupe turbogénérateur.

RECAPITULATION :

D'après l'analyse sur l'environnement, on constate que le projet apporte beaucoup d'avantages pour son entourage et les points négatifs peuvent bien être éliminés ou atténués.

Un aménagement qui respecte l'environnement aura :

- un débit réservé maintenu pour préserver la salubrité et la sauvegarde de la vie aquatique ;
- un passe poisson pour faciliter la migration de ceux-ci ;
- une filtration des déchets flottants ;
- un bâtiment isolé phoniquement ;
- une bonne intégration paysagère du bâtiment et des ouvrages.

En effet, une installation mal conçue et mal gérée peut perturber l'écosystème. Si la quantité d'eau prélevée est trop importante, la vie aquatique sera atteinte.

Les microcentrales hydrauliques font parties donc des sources de développement durable qu'on peut exploiter tout en sauvegardant l'environnement.



CONCLUSION

Les projets de petites centrales hydroélectriques, c'est-à-dire des projets inférieurs à 500KW, permettent de fournir rentablement de l'électricité à des régions et des sites isolés ou pour répondre à des besoins particuliers d'électricité en des sites éloignés.

La plupart des petits projets hydroélectriques sont des centrales au fil de l'eau et ne comprennent donc pas de réservoir de stockage. De tels projets coûtent donc moins cher que les grandes installations.

Le rendement et la puissance produite par de telles centrales variera en fonction des fluctuations de débit de la rivière, le choix et le dimensionnement de la turbine à installer va donc être aussi fonction du site et du débit.

Après une étude de préfaisabilité et de la faisabilité bien élaborée qui peut durer 2 à 3 ans, les risques causés par les microcentrales hydrauliques sur l'environnement sont minimes et peuvent bien être atténués.

Comme la plupart des autres sources d'énergies renouvelables, l'hydroélectricité demande des investissements élevés pour la réalisation du projet mais ensuite les frais d'exploitation et d'entretien sont très faibles. La durée de vie utile d'une petite centrale hydroélectrique est supérieure à 20 ans.

Pour le cas de Madagascar, nous possédons beaucoup de potentiels hydrauliques qui ne sont pas encore exploités, alors qu'on y rencontre toujours de problèmes d'énergie surtout dans les régions hors des villes. L'utilisation des microcentrales hydraulique permet une production décentralisée en fonction des besoins, ce qui nous amène à une amélioration des conditions de vie des ruraux et au développement des milieux ruraux.

BIBLIOGRAPHIE :

1. PACER, Microcentrale hydraulique
2. NACA REPORT 460, the characteristics of 78 related airfoil section form test in the variable-density wind tunnel
3. LUCIEN VIVIER, édition ALBIN MICHEL Paris 1966, turbine hydraulique et leur régulation
4. HENRY VARLET, Édition Eyrolles 1964, Turbine hydraulique et groupe hydraulique
5. JACQUES ANDRE ASTOLFI, école navale janvier 2003, contribution à l'étude du phénomène de cavitation : une approche expérimentale des conditions d'apparition et de développement de la cavitation.
6. L.MONITION –M LE NIR. J. ROUX, édition MASSON 1981, les microcentrales hydroélectriques
7. HAZARD Claude, édition CASTEILLA-25 1998, MEMOTECH dessin industriel
8. ENCYCLOPEDIE MICROSOFT ENCARTA 2008

SITES WEB:

9. <http://www.microcentrale.com>
10. <http://www.ademe.fr>
11. <http://a190754.free.fr/PROFILES.PHP3>

ANNEXE

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

13

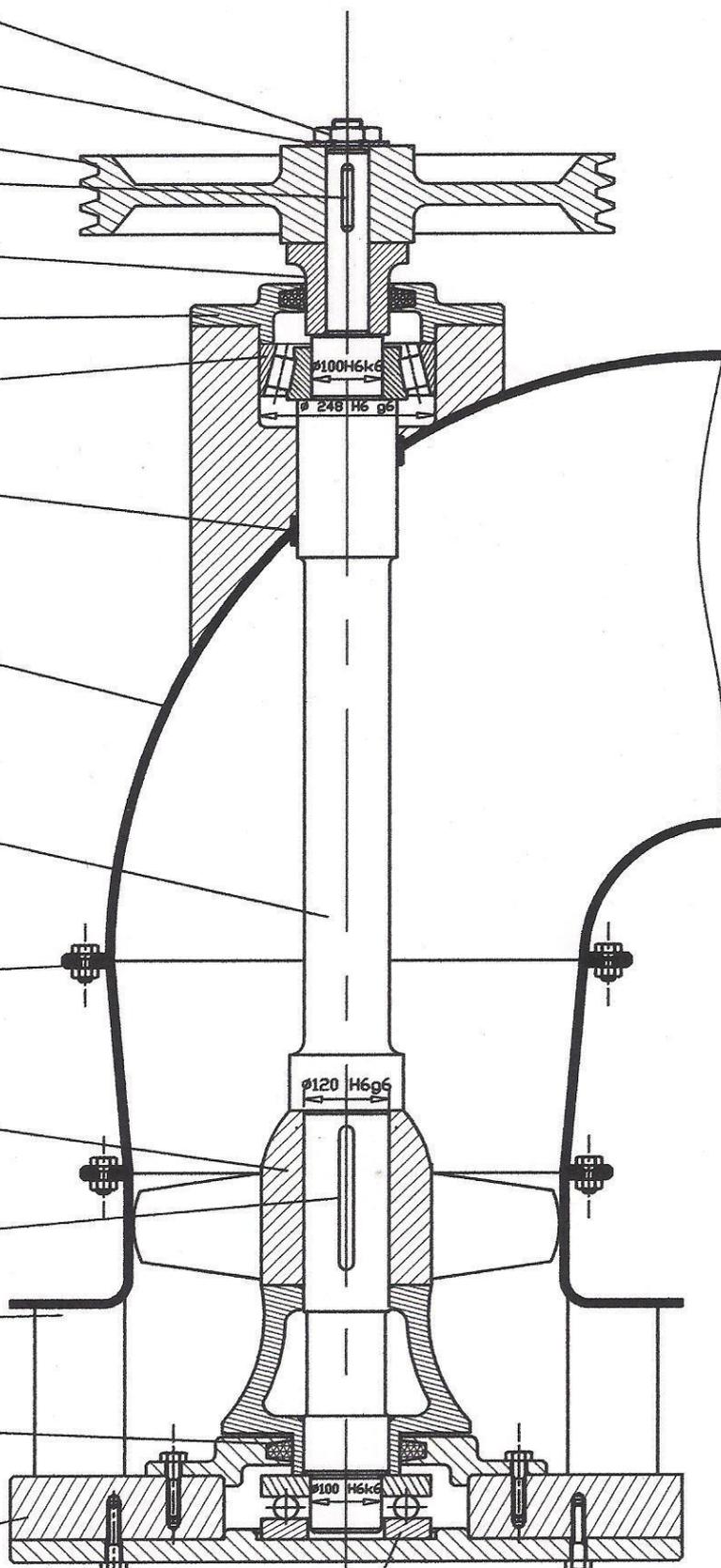
14

15

16

17

18



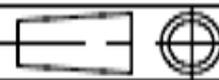
18	1	Butée à bille	
17	8	Vis HM 16	C 25
16	1	Base du distributeur	E 28
15	1	Joint d'étanchéité	caoutchouc
14	1	Distributeur	
13	1	Clavette de la roue	C 25
12	1	roue à hélices	CU Zn36 Pb3
11	12	Brides	C 25
10	1	Arbre	E 28
09	1	Siphon	
08	1	Joint d'étanchéité	caoutchouc
07	1	Roulement à rouleau conique	
06	1	Couvercle	E 28
05	2	Entretoises	E 28
04	1	Clavette de la poulie	C 25
03	1	Poulie menante	E 28
02	1	Rondelle	C 25
01	1	Ecrou HM 40	C 25
Rep	Nbr	Designation	Matière

ENSEMBLE TURBINE

Ech : 1/10

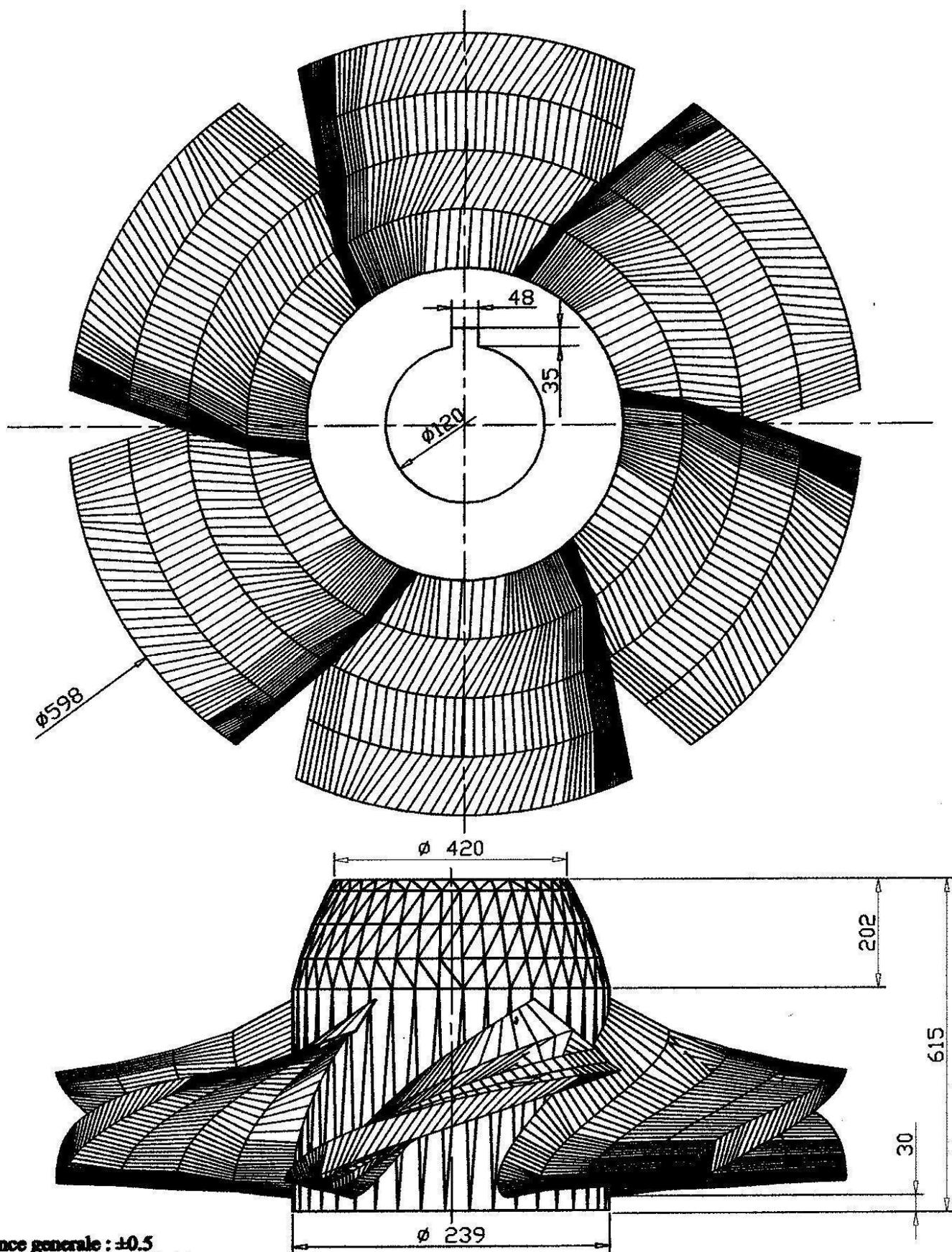
ESPA

RAVO



20/04/2010

PN°: 01



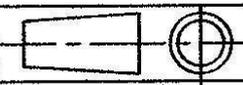
Tolérance générale : ± 0.5
 Etat de surface générale : $Ra 1.6$

ROUE HELICE

Ech : 1/5

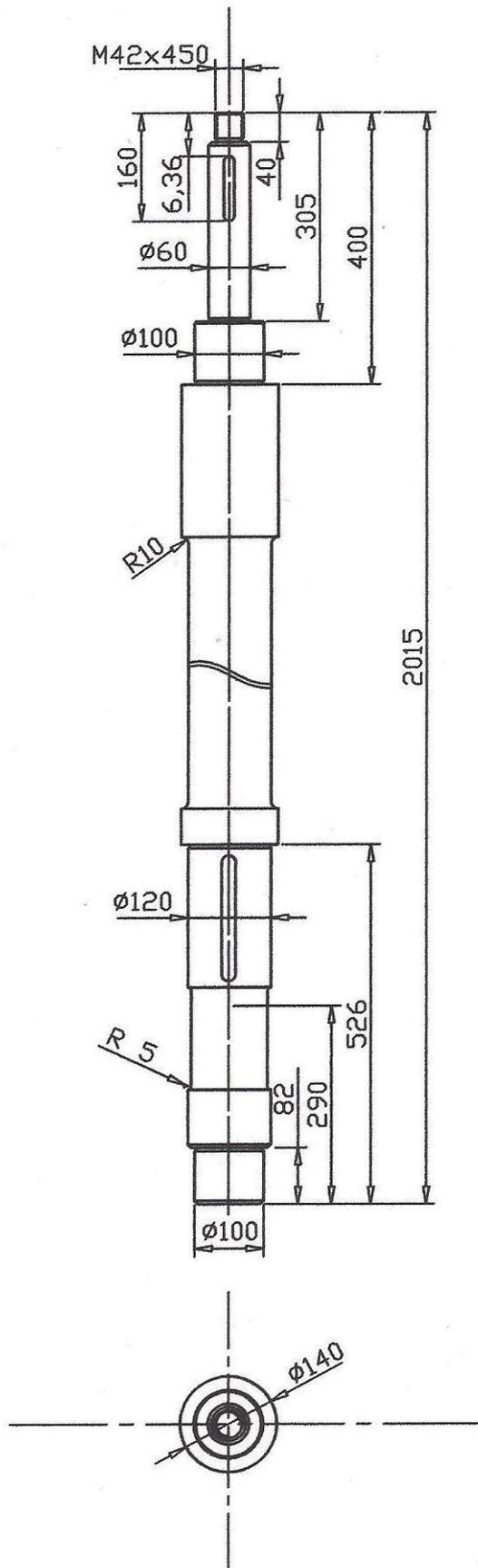
ESPA

RAVO



25/03/2010

P : 02



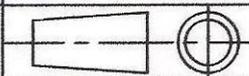
Chanfrein : 4 x 45°
 Tolérance générale : ±0.5
 Etat de surface générale : $Ra\ 1,6$

AXE TURBINE

Ech : 1/10

ESPA

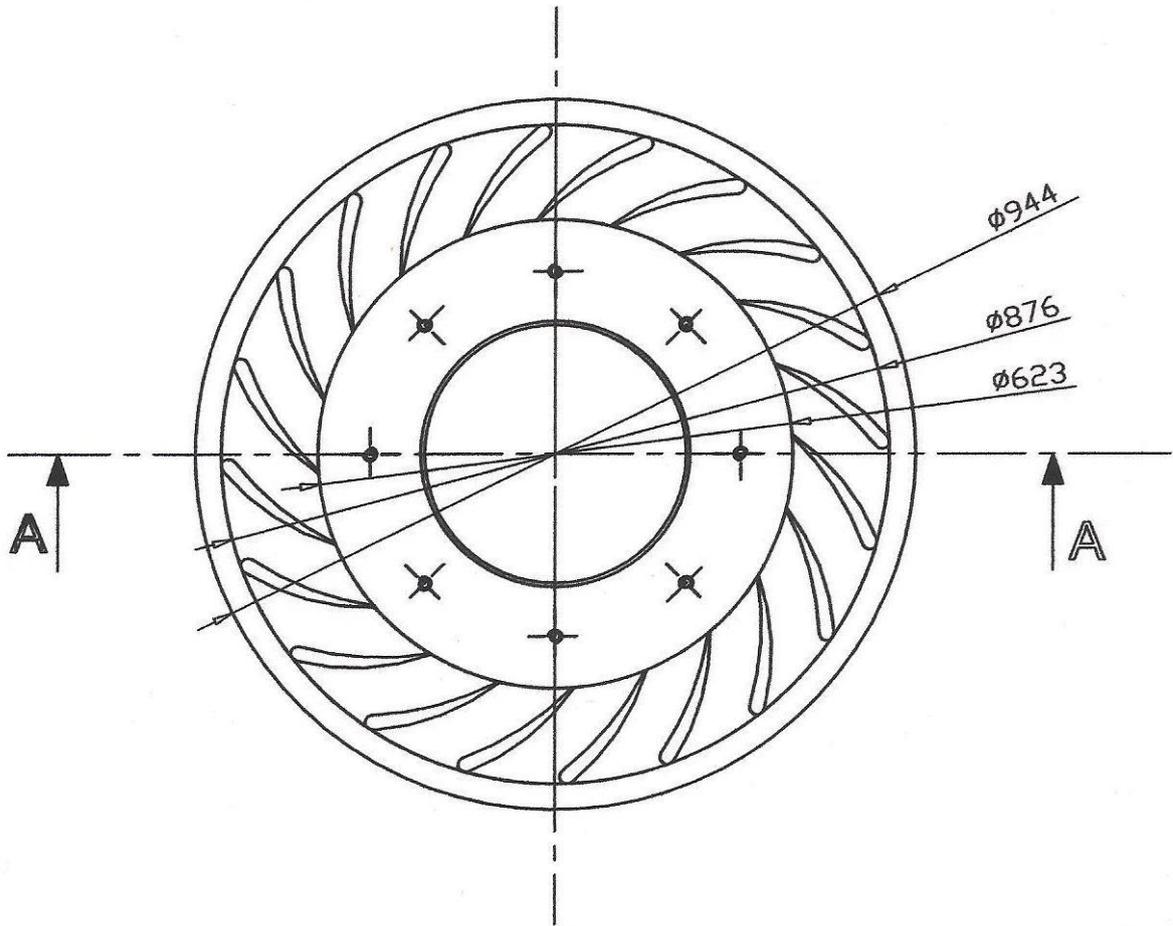
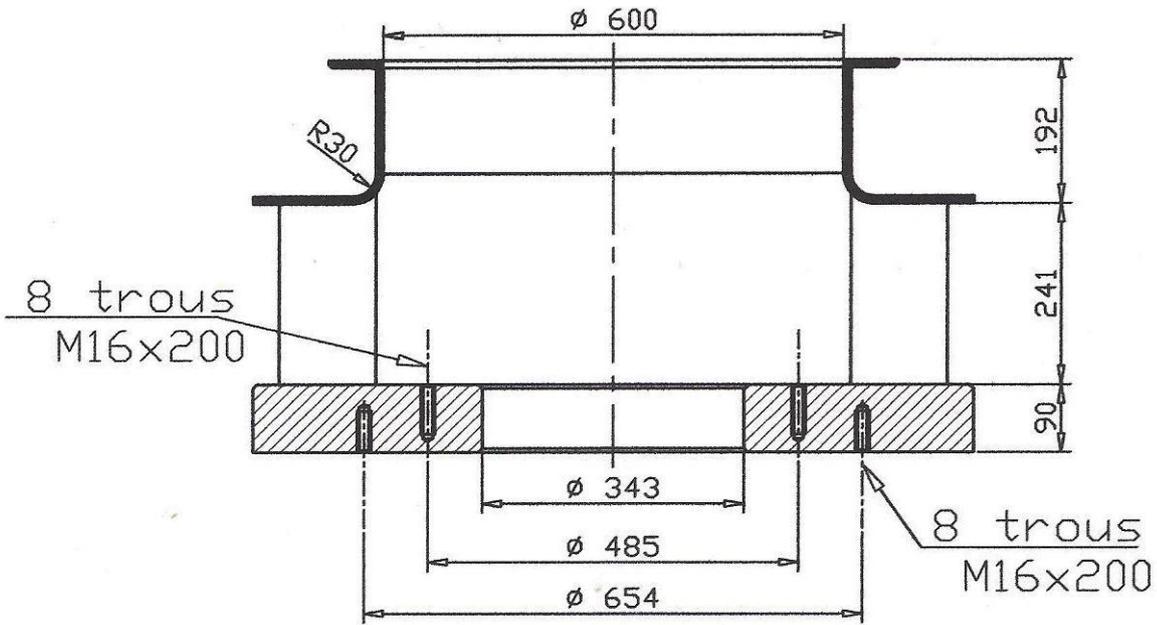
RAVO



25-03-2010

P : 03

A-A



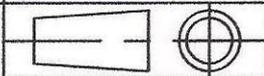
Chanfrein : 4 x 45°
 Tolérance générale : ± 0.5
 Etat de surface générale : $Ra 1.6$

DISTRIBUTEUR

Ech : 1/10

ESPA

RAVO



25/03/2010

P : 04

Auteur : RAKOTO Iarantsoa Ravo

Adresse : lot II F 34 ÔD Andraisoro Antsahanierana Antananarivo 101

Téléphone : 033 02 065 34

THEME DU MEMOIRE

« Turbine d'une microcentrale hydraulique a siphon »

Nombre de pages : 72
Nombre de tableaux : 08
Nombre de figures : 40
Nombre de bibliographies : 10
Nombre de site web : 03

RESUME

Cet ouvrage constitue un référentiel concernant les microcentrales hydrauliques qui sont des sources d'énergie efficaces pour le ravitaillement en électricité des sites isolés ou des régions éloignées. Elles existent en plusieurs formes et produisent une puissance variant de 5 à 500 kW suivant le site d'implantation. Il constitue aussi le dimensionnement d'une turbine hélice qui est la plus adéquate pour les basses chutes. Les microcentrales hydrauliques sont classées parmi les sources d'énergies propres, elles ne engendrent pas de pollution sur l'environnement.

ABSTRACT

This work constitutes a referential concerning the mini power hydraulic plants that are the sources of energy efficient for restocking in electricity the isolated sites or the distant regions. They exist in several shapes and produce a power varying from 5 to 500 kW according to the site of implantation. It also constitutes the dimensionality of a helix turbine that is the most adequate for the low falls. The mini power hydraulic plants are classified between the sources of unpolluted energies; they don't generate a pollution on the environment.

Mots clés : microcentrale – hydraulique – turbine – énergie - pale – hélices – profil – débit.

Rapporteur : Monsieur RAVELOJAONA Johnson