

TABLE DES MATIERES

NOMENCLATURES.....	vi
LISTE DES ACRONYMES.....	vii
REMERCIEMENTS.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	2
Chapitre I- ETUDE DU BASSIN VERSANT	3
I-1- CYCLE HYDROLOGIQUE.....	4
I-1-1- Mécanisme du mouvement de l'eau	4
I-1-1-1- Facteurs	4
I-1-1-2- Phases principales du cycle hydrologique.....	4
I-1-2- Bilan hydrologique [9]	5
I-2- CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT [9].....	6
I-2-1- Définitions.....	6
I-2-1-1- Bassin versant.....	6
I-2-1-2- Limites d'un bassin versant.....	6
I-2-1-3- Aire totale du bassin (S)	7
I-2-1-4- Périmètre (P).....	7
I-2-2- Caractéristiques géométriques	7
I-2-2-1- Indice de compacité (K_c).....	7
I-2-2-2- Rectangle équivalent.....	8
I-2-3- Caractéristiques topographiques	8
I-2-3-1- Courbe et répartitions hypsométriques	8
I-2-3-2- Altitudes caractéristiques	8
I-2-3-3- Pentes	9
I-2-4- Caractéristiques du réseau hydrographiques.....	9
I-2-4-1- Ordre d'un bassin versant	9
I-2-4-2- Longueurs et pente caractéristiques du réseau.....	10
I-2-4-5- Degré de développement du réseau	12
I-3- CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES	12
I-3-1- Couverture du sol.....	12
I-3-1-1- Couverture végétale.....	12
I-3-1-2- Coefficient de ruissellement.....	13
I-3-2- Caractéristiques des sols.....	13

I-3-2-1- Importance.....	13
I-3-2-2- Classification selon la perméabilité.....	13
I-4- EVALUATION DU POTENTIEL	14
I-2-1- Débits caractéristiques	14
I-2-1-1- Débit disponible [4].....	14
I-2-1-2- Evaluation du débit d'étiage [3]	15
I-2-1-3- Débit turbiné (Débit à dériver) [6].....	16
I-2-1-4- Débit d'équipement [6].....	16
I-2-1-5- Débit de crue [3]	16
I-2-1-6- Enquête sur les débits extrêmes [5]	19
I-2-2- Mesure in situ et puissance estimée.....	20
I-2-2-1- Puissance hydraulique théorique du site.....	20
I-2-2-2- Puissance électrique.....	21
Chapitre II- ELEMNTS DE MICRO HYDROELECTRICITE	22
II-1- DESCRIPTION ET PRINCIPE DE CONVERSION.....	23
II-1-1- Définition.....	23
II-1-2- Principe de conversion.....	24
II-1-3- Eléments constitutifs.....	24
II-2- DIMENSIONS DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL	25
II-2-1- Barrage	25
II-2-1-1- Hauteur de la lame d'eau au dessus de la crête du barrage.....	25
II-2-1-2- Conception générale du barrage	26
II-2-1-3- Etude de stabilité	26
II-2-1-4- Condition de stabilité.....	28
II-2-1-5- Mur d'encaissement	29
II-2-2- Prise d'eau	31
II-2-2-1- Section de la prise.....	31
II-2-2-2- Perte de charge sur la prise.....	32
II-2-3- Canal d'amené	32
II-2-4- Dessableur	33
II-2-5- Chambre de mise en charge.....	34
II-2-6- Conduite forcée	35
II-2-6-1- Longueur de la conduite	35
II-2-6-2- Diamètre de la conduite.....	36

II-2-6-3- Epaisseur de la conduite	37
II-2-6-4- Pertes de charges	37
II-3- CHOIX DES EQUIPEMENT ELECTROMECANIQUE	38
II-3-1- Classification des turbines	38
II-3-2- Vitesse spécifique	39
II-3-3- Conception préliminaire de turbine	39
II-3-3-1- Turbine Banki	39
II-3-3-2- Turbine Pelton	43
II-3-3-3- Turbine Francis	44
II-3-3-4- Turbine Kaplan	45
II-3-4- Génératrice	46
Chapitre III- PROGRAMME DE SIMULATION ET APPLICATIONS	47
III-1- PROGRAMME ET CALCUL SUR EXCEL	48
III-1-1- Données nécessaires et dimensions principales à déterminer	48
III-1-1-1- Pour l'étude du bassin versant	48
III-1-1-2- Pour l'évaluation du potentiel hydraulique	48
III-1-1-3- Pour le dimensionnement des ouvrages	49
III-1-1-4- Pour le dimensionnement des équipements électromécaniques	49
III-1-2- Mise en œuvre de l'outil	50
III-1-3- Organigramme général des calculs	50
III-1-3-1- Organigramme pour l'étude du bassin versant et l'évaluation du potentiel ..	50
III-1-3-2- Organigramme pour le dimensionnement des ouvrages	51
III-1-3-3- Organigramme de dimensionnement des équipements électromécaniques	54
III-1-4- Présentation et manipulation de l'outil	54
III-1-4-1- Présentation	54
III-1-4-2- Manipulation	55
III-2- APPLICATIONS	55
III-2-1- Cas d'Ambaravarana	55
III-2-1-1- Localisation du site d'Ambaravarana	55
III-2-1-2- Données et paramètres pour le dimensionnement	57
III-2-1-3- Résultat pour le site d'Ambaravarana	60
III-2-1-4- Comparaison des résultats pour le site d'Ambaravarana	66
III-2-2- Cas de Tolongoina	67
III-2-2-1- Localisation du site de Tolongoina	67

III-2-2-2- Données et paramètres pour le dimensionnement.....	68
III-2-2-3- Résultat pour le site de Tolongoina.....	71
III-2-2-4- Comparaison des résultats pour le site de Tolongoina.....	77
III-2-3- Conclusion	77
CONCLUSION GENERALE	78
ANNEXES.....	79
Annexe I : Listings du programme	80
A-I-1- Etude du bassin versant et évaluation du potentiel.....	80
A-I-2- Perspective de l'aménagement	84
A-I-3- Equipements électromécaniques	87
Annexe II : Impact de l'aménagement sur l'environnement.....	90
Annexe III : Classification d'un bassin versant.....	91
Annexe IV : Coefficients et paramètres pour l'étude d'un bassin versant	92
Annexe V- Description et fonction des éléments d'une centrale.....	95
A-V-1- Ouvrages de génie civil.....	95
A-V-1-1- Prise d'eau [4]	95
A-V-1-2- Conduite d'eau	95
A-V-1-3- Centrale.....	98
A-V-2- Equipements de production.....	98
A-V-2-1- Equipements hydrauliques [1]	98
A-V-2-2- Equipements électriques [5].....	102
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE.....	104
A- BIBLIOGRAPHIE	104
B- WEBOGRAPHIE.....	104

NOMENCLATURES

Symboles	Désignations	Unités
A_i	Aire compris entre deux courbe de niveau.....	[km ²]
E_h	Energie hydraulique massique à disposition de la turbine.....	[J/kg]
h_i	Altitude moyenne entre deux courbe de niveau.....	[m]
L_i	Longueur de cours d'eau.....	[km]
R_h	Rayon hydraulique moyen de la section.....	[m]
S_m	Surface mouillée.....	[m ²]
V_{moy}	Vitesse moyenne de la rivière.....	[m/s]
γ_T	Poids volumiques des terres.....	[daN/m ³]
ρ_b	Poids volumique du béton.....	[daN/m ³]
ΔH_{max}	Dénivellation maximale de la rivière.....	[m]
A	Surface totale du bassin versant.....	[km ²]
a_i	Fraction de la surface A_i	[%]
B	Coefficient régional.....	[-]
B	Paramètre régionale.....	[-]
Cr	Coefficient de ruissellement.....	[-]
DH	Différence d'altitude entre Z_{95} et Z_5	[m]
F_b	Somme des forces verticales.....	[daN]
F_h	Somme des forces horizontales.....	[daN]
G	Accélération de la pesanteur.....	[m ² /s]
h_c	Hauteur de la charge au dessus de la crête du barrage.....	[m]
H_n	Chute nette.....	[m]
i	Intensité de pluie.....	[mm/h]
K_m	Coefficient de rugosité.....	[-]
L	Longueur rectangle équivalent.....	[km]
L_d	Longueur du dessableur.....	[m]
m	Coefficient de débit.....	[-]
N_i	Nombre de cours d'eau.....	[-]
P_F	Pluviométrie moyenne interannuelle de fréquence F.....	[mm]
P_{hyd}	Puissance hydraulique.....	[W]
Q_{mi}	Apport mensuel du mois i.....	[l/s]
q_{CF}	Débit spécifique de fréquence F.....	[l/s]
Q_{Crue}	débit de crue.....	[m ³ /s]
Q_{et}	Débit d'étiage.....	[m ³ /s]
Q_F	Apport annuel de fréquence F.....	[l/s]
Q_{rest}	Débit de restitution.....	[m ³ /s]
Q_t	Débit turbiné.....	[m ³ /s]
R_i	Coefficient de répartition mensuelle.....	[-]
t	Temps utile.....	[h]
U_h	Vitesse horizontale.....	[m/s]
U_s	Vitesse moyenne de sédimentation.....	[m/s]
Z_m	Altitude moyenne du bassin versant considéré.....	[m]
γ	Poids volumique de l'eau.....	[daN/m ³]
λ	Coefficient de perte de charge.....	[-]
ξ	Coefficient de singularité.....	[-]
ρ	Masse volumique de l'eau.....	[kg/m ³]
f	Coefficient de frottement.....	[-]
a_G	Gradex de la distribution.....	[-]
D_d	Densité de drainage.....	[km/km ²]
I_m	Pente moyenne.....	[m/km]
i_p	Indice de pente.....	[m/m]

P_{moy}	Pente moyenne du cours d'eau.....	[m/km]
σ_{adm}	Contrainte admissible au sol.....	[N/m ²]
D	Diamètre interne de la conduite.....	[mm]
dR	Stockage.....	[mm]
E	Evaporation et évapotranspiration.....	[mm]
F	Densité hydrographique.....	[km ⁻²]
H_b	Hauteur de la chute brute.....	[m]
I	Infiltration.....	[mm]
K	Indice de couverture forestière.....	[-]
σ	Ecart-type.....	[-]
v	Variance.....	[-]
N	Vitesse de rotation de la turbine.....	[tr/s]
n	Coefficient de rugosité de Manning.....	[-]
P	Précipitation.....	[mm]
Q	Ecoulement.....	[mm]
t_c	Temps de concentration.....	[h]
U	Utilisation humaine.....	[mm]
η_{QE}	Vitesse spécifique.....	[-]

LISTE DES ACRONYMES

- APD : Avant Projet Détailé
 APS : Avant Projet Sommaire
 AIDER : Association des Ingénieurs pour le Développement des Energies Renouvelables
 BT : Basse Tension
 BV : Bassin Versant
 JIRAMA : JIro sy RAno MAlagasy
 MT : Moyenne Tension
 DT : Données sur terrain
 DSIG : Données à l'aide de l'outil informatique SIG
 DSM : Données sur station météorologique
 rHYviere : Réseaux HYdroélectriques Villageois Energie et Respect de l'Environnement
 SIG : Système d'Information Géographique
 VBA : Visual Basic par Application

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: <i>Classification de la nature du sol.....</i>	14
Tableau 2 : <i>Les différentes valeurs du coefficient de poussée</i>	30
Tableau 3 : <i>Relation entre n_{QE} et H_n</i>	39
Tableau 4 : <i>Intervalle des valeurs de n_{QE} pour les turbines.....</i>	39
Tableau 5 : <i>Vitesse de rotation synchrone</i>	46
Tableau 6 : <i>Données et paramètres du site d'Ambaravarana</i>	58
Tableau 7 : <i>Etude du bassin versant et évaluation du potentiel pour le site d'Ambaravarana</i>	61
Tableau 8 : <i>Dimensions des ouvrages pour le site d'Ambaravarana</i>	64
Tableau 9 : <i>Dimensions des équipements électromécanique pour la centrale d'Ambaravarana</i>	65
Tableau 10 : <i>Comparaison des résultats pour le site d'Ambaravarana</i>	66
Tableau 11 : <i>Données et paramètres du site de Tolongoina</i>	69
Tableau 12 : <i>Etude du bassin versant et évaluation du potentiel pour le site de Tolongoina</i> 72	72
Tableau 13 : <i>Dimensions des ouvrages pour le site de Tolongoina</i>	75
Tableau 14 : <i>Dimensions des équipements électromécaniques pour la centrale de Tolongoina</i>	76
Tableau 15 : <i>Comparaison des résultats pour le site de Tolongoina</i>	77
Tableau annexe 1 : <i>Illustrer des impacts de l'aménagement sur l'environnement</i>	90
Tableau annexe 2 : <i>Classification du relief selon AUVRAY et RODIER (ORSTOM)</i>	91
Tableau annexe 3 : <i>Classification géomorphologique selon AUVRAY et RODIER (ORSTOM)</i>	91
Tableau annexe 4 : <i>Coefficient de ruissellement moyen dans la méthode rationnelle.....</i>	92
Tableau annexe 5 : <i>Coefficient de répartition régionale R_i.....</i>	92
Tableau annexe 6 : <i>Valeurs du paramètre régional B</i>	93
Tableau annexe 7 : <i>Valeurs du paramètre régional b.....</i>	93
Tableau annexe 8 : <i>Valeurs du coefficient de rugosité K_m de la formule de Manning Strickler</i>	94

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Cycle schématique de l'eau à l'échelle d'un BV	4
Figure 2 : Schéma d'un bassin versant.....	6
Figure 3 : Bassin versant topographique et bassin versant hydrogéologique	7
Figure 4 : Bassin versant d'ordre 7 (classification de SCHUMM)	10
Figure 5 : Longueurs caractéristiques d'un bassin versant.....	11
Figure 6 : Chute nette et chute brute.....	21
Figure 7 : Principe de l'utilisation de l'énergie hydraulique	23
Figure 8 : Principe de conversion.....	24
Figure 9 : Principe d'une microcentrale électrique	25
Figure 10 : Niveau d'eau au dessus du barrage.....	26
Figure 11: Exemple de conception de barrage	27
Figure 12 : La Force Q_0 agissant sur le Barrage.....	28
Figure 13 : Perspective de prise d'eau.....	32
Figure 14 : Canal d'amenée.....	33
Figure 15 : Dessableur.....	34
Figure 16 : Profil en long schématique d'un aménagement	36
Figure 17 : Diamètre et épaisseur de la conduite forcée.....	36
Figure 18 : Principaux éléments constitutifs de la turbine Banki.....	40
Figure 19 : Triangle des vitesses	42
Figure 20 : Position d'une aube.....	42
Figure 21 : Dimensions principales de la turbine Pelton	43
Figure 22 : Diamètres caractéristiques de la turbine Francis	44
Figure 23 : Dimension du pâle.....	45
Figure 24 : Principe de création	50
Figure 25 : Etude du bassin versant et évaluation du potentiel.....	50
Figure 26 : Organigramme pour le barrage.....	51
Figure 27 : Organigramme pour le mur d'encaissement.....	52
Figure 28 : Organigramme pour le dimensionnement du canal d'amené.....	53
Figure 29 : Organigramme pour les équipements électromécaniques	54
Figure 30 : Présentation de l'outil Excel.....	55
Figure 31 : Localisation du site d'Ambaravarana	56
Figure 32 : Délimite du bassin versant de la rivière d'Ambodirano.....	59
Figure 33 : Courbe hypsométrique d'Ambaravarana.....	61
Figure 34 : Couverture végétale du bassin versant d'Ambaravarana	62
Figure 35 : Localisation du chute de Mandiazano.....	67
Figure 36 : Délimitation du bassin versant de la rivière de Mandiazano	70
Figure 37: Courbe hypsométrie de Tolongoina.....	72
Figure 38 : Couverture végétale du bassin versant de Tolongoina	73
Figure annexe 1:Turbine à action	99
Figure annexe 2: Turbine à réaction.....	100
Figure annexe 3 : Domaine d'utilisation des différents types de micro turbines.....	101

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la direction efficace de mon encadreur pédagogique Monsieur le Professeur RAKOTOMALALA Minoson. Les encouragements et les précieux conseils qu'il m'a prodigués ont été d'un prix inestimable. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements les plus chaleureux vont aussi à Madame le Professeur RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo, Docteur RASAMIMANANA François de Salle et Docteur RAKOTO Joseph Onimihamina pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour l'honneur qu'ils nous font d'avoir acceptés de faire partie du jury.

J'aimerais aussi témoigner mes affections profondes à mes parents et à toute ma famille pour les soutiens affectif, moral, financier et spirituel qu'ils ont prodigués en ne ménageant ni force, ni temps pour que ce travail soit couronné de succès.

Mes reconnaissances cordiales vont également à Monsieur RAKOTOARIMANANA Tantely, président de l'association AIDER, qui m'a consacré une partie de son temps.

Que ceux qui ont donné d'eux-mêmes d'une manière ou d'une autre soient aussi amplement remerciés.

Sincères remerciements !

INTRODUCTION GENERALE

Face à l'augmentation du prix du baril au niveau mondial, augmentation qui engendre un problème pour la société d'intérêt national JIRAMA (délestages fréquents, coupures, services limités à certaines plages horaires) et la destruction de l'environnement dans notre pays.

D'ailleurs quoi que l'on dise, l'accès à l'énergie et en particulier l'électricité constitue un levier de développement essentiel de par ces implications sur le développement de ses activités économique, sur la santé, sur l'éducation, sur les conditions de vie, sur la limitation de l'exode rural.

Madagascar possède d'importantes ressources hydroélectriques, estimées à 7500MW, alors que seulement 24% de la population ont accès à l'électricité et dont 4% se trouvent en milieu rural.

Pour améliorer l'accès à l'énergie, il nous faut des outils de mise en œuvre techniques qui sont des études techniques, des technologies de production, de distribution et d'utilisation de l'électricité.

Alors, on peut se poser la question suivante : dans quelle structure, à quel niveau de la mosaïque des acteurs gravitant autour du thème « énergie et développement » peut se placer un énergéticien ?

J'ai souhaité saisir l'opportunité du mémoire afin d'approfondir la question. Dans le cadre de ce travail, il sera étudié et présenté l'étude de l'aménagement d'un bassin versant et la détermination des paramètres de la microcentrale correspondante.

L'objectif principal du mémoire est d'élaborer un classeur de feuilles de calcul Excel permettant d'automatiser l'étude.

Pour ce faire, ce travail comporte trois grands chapitres :

Il présente dans un premier chapitre l'étude d'un bassin versant. Il s'agit de décrire quelques paramètres et caractéristiques d'un bassin versant.

Le deuxième chapitre décrit quelques éléments de théorie d'une microcentrale hydraulique : les besoins auxquels peut répondre la micro hydraulique, les turbines, les composants principaux, les critères de choix et de dimensionnement d'une microcentrale hydraulique.

Enfin, le programme de simulation et les applications font l'objet du troisième chapitre. Il s'agit de la mise en œuvre du nouveau logiciel d'étude de l'aménagement d'un bassin versant et la détermination des paramètres de la microcentrale correspondante.

Chapitre I- ETUDE DU BASSIN VERSANT

L'étude du bassin versant est primordiale lors d'une étude technique d'une microcentrale hydroélectrique. L'objectif de cette partie est donc d'étudier et de donner une vue général de la zone d'étude en particulier le bassin versant.

Dans ce chapitre, on commence par une petite généralité concernant le cycle hydrologique. On avance ensuite sur les caractéristiques générales du bassin versant. La description des caractéristiques géologique qui a pour objet de déterminer la perméabilité du sol fait l'objet de la troisième partie. Enfin, on termine ce chapitre par l'évaluation du potentiel.

I-1- CYCLE HYDROLOGIQUE

I-1-1- Mécanisme du mouvement de l'eau

I-1-1-1- Facteurs

Les facteurs qui causent le mouvement de l'eau dans la nature sont : l'énergie thermique solaire ; la gravité, l'attraction solaire et lunaire ; la pression atmosphérique ; les forces intermoléculaires ; les réactions chimiques, nucléaires et activités biologiques et les activités humaines.

I-1-1-2- Phases principales du cycle hydrologique

L'ensemble de tous les processus de transformation de l'eau sur la terre s'appelle le cycle hydrologique. Ses phases principales sont les suivantes :

- Evaporation d'eau des océans, du sol et des plantes ;
- Formations dans l'atmosphère de nuages, brouillards et leur transport par le vent ;
- Condensation de l'eau et précipitations sous forme de pluies, de neige, de grêle etc ;
- Ruissellement de surface, infiltration, percolation, écoulement souterrain et retour en surface ;
- Formation de courants de surface, de rivières, de fleuves et leur décharge dans les lacs, les mers et les océans ;
- Evaporation et répétition du cycle.

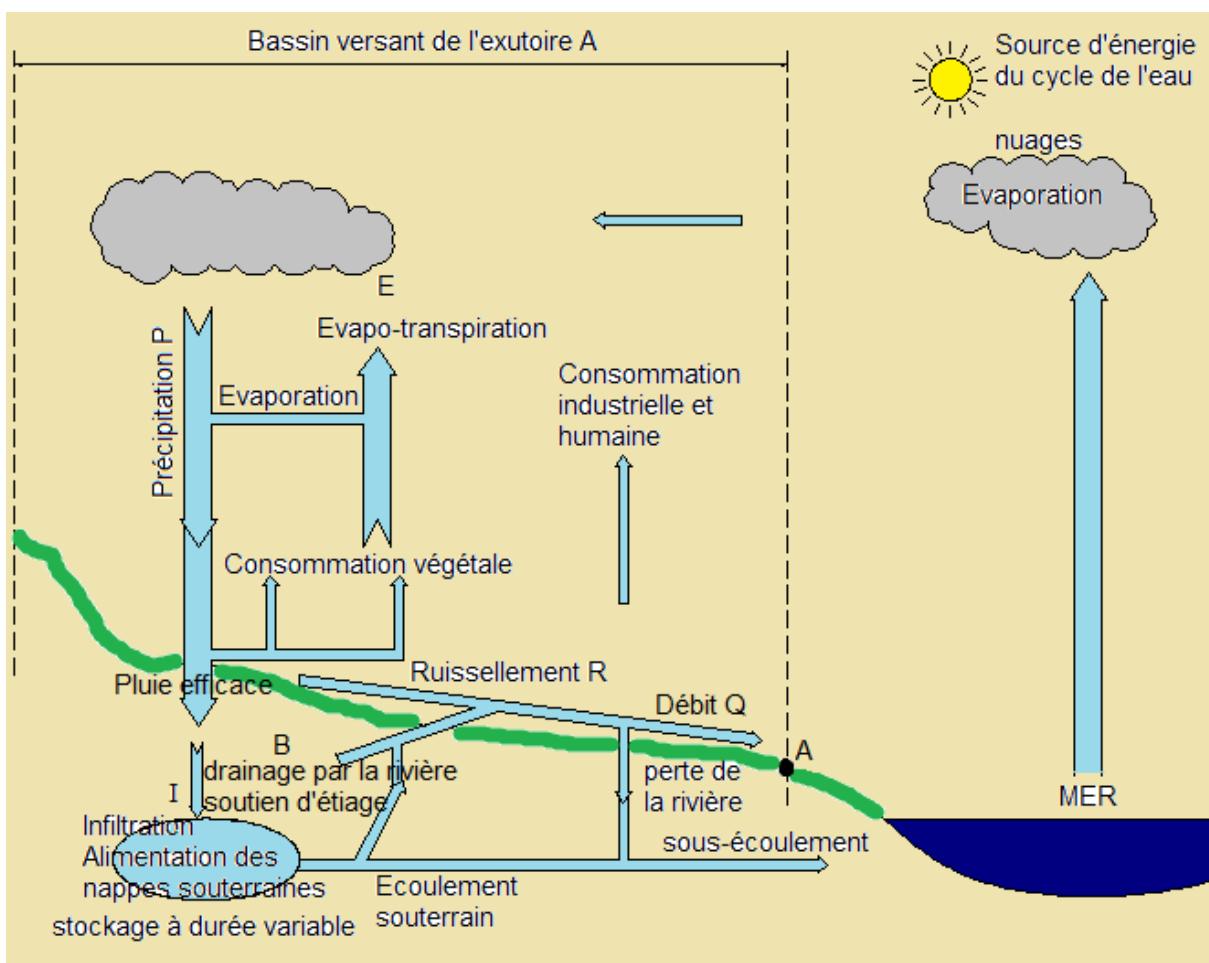


Figure 1 : Cycle schématique de l'eau à l'échelle d'un BV

I-1-2- Bilan hydrologique [9]

Nous considérons l'échelle d'un bassin versant c'est-à-dire quelques dizaines à centaines de kilomètres carrés. Sur un laps de temps suffisant, il est possible d'admettre la relation d'équilibre suivant :

$$P = R + I + E \quad (1.1)$$

Où : - P est la précipitation

- R : ruissellement
- I : infiltration
- E : évapotranspiration

Cette relation exprime un équilibre moyen dont chaque terme est continuellement modifié par les forces de gravité et l'énergie solaire (Figure 1). Le réajustement continu se traduit par la dynamique de l'eau.

Le cycle peut donc être arbitrairement divisé en 4 phases :

- Précipitation p : condensation de l'humidité d'une masse d'air ;
- Evapotranspiration E : évaporation de l'eau directement au contact de l'air ou indirectement par consommation ou transpiration par végétaux ;
- Infiltration I : infiltration de l'eau vers les nappes souterraines, une partie de cette eau rejoint les cours d'eau par drainage sur certaines portions de leurs cours pour former le débit de base B des périodes d'étiage ;
- Ruissellement R : ruissellement de l'eau non infiltré. Ce ruissellement se concentre pour former une partie du débit de la rivière, l'autre partie provenant du drainage des nappes souterraines.

Le débit Q d'un cours d'eau qui est la partie utilisable au niveau d'un aménagement hydraulique est la somme du ruissellement R et du drainage B soit :

$$Q = B + R = P - E - I + B \quad (1.2)$$

On regroupe souvent sous le terme de pluie efficace la somme du ruissellement et de l'infiltration :

$$P_e = R + I \quad (1.3)$$

La pluie efficace représente donc la quantité disponible à la fois pour le ruissellement et l'infiltration, puisqu'il y a échange constant entre ces deux termes en chaque point du bassin versant.

I-2- CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT [9]

Cet partie consiste à déterminer les caractéristique géométriques et de la forme du bassin versant.

I-2-1- Définitions

I-2-1-1- Bassin versant

On appelle bassin versant, un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont exclusivement alimentés par les précipitations et dont les excès en eau ou en matière solide transporté par l'eau forme en un point unique de l'espace une embouchure ou un exutoire.

I-2-1-2- Limites d'un bassin versant

Le concept de bassin versant peut être mis en évidence par l'image suivant : une goutte d'eau tombant sur une région particulière C se met en mouvement par la force de gravitation et, si elle n'est pas retenue sur son chemin ou bien évaporé, elle se rendra jusqu'à un cours d'eau, un lac ou bien la mer. Si, par quelque chemin que se soit, la goutte d'eau sera de C à A. On dit alors que C appartient au bassin versant (Figure 2).

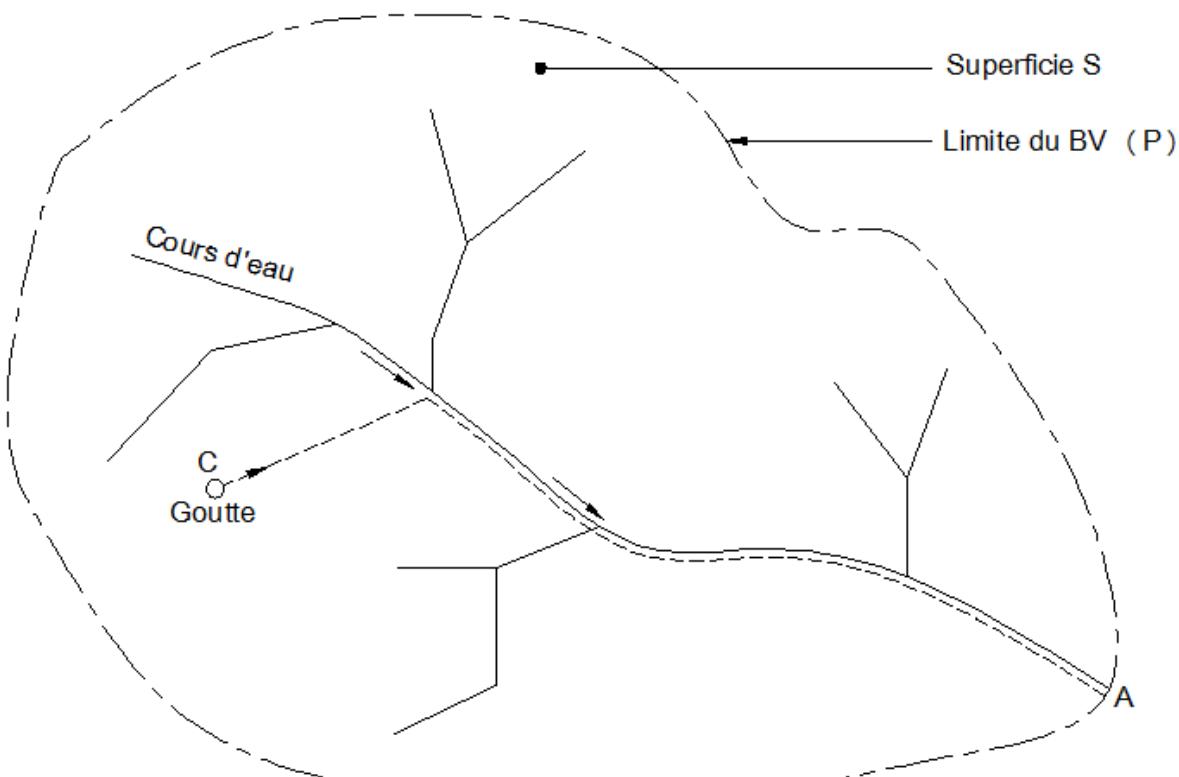


Figure 2 : Schéma d'un bassin versant

Dans cette définition, il apparaît que la limite d'un bassin versant est le lieu géométrique des points les plus élevés. Compte tenu de la nappe phréatique, il se peut que la limite d'un bassin versant ne soit pas la ligne de crête séparant deux bassins, mais plutôt celle définie par les plus hautes élévations de la nappe.

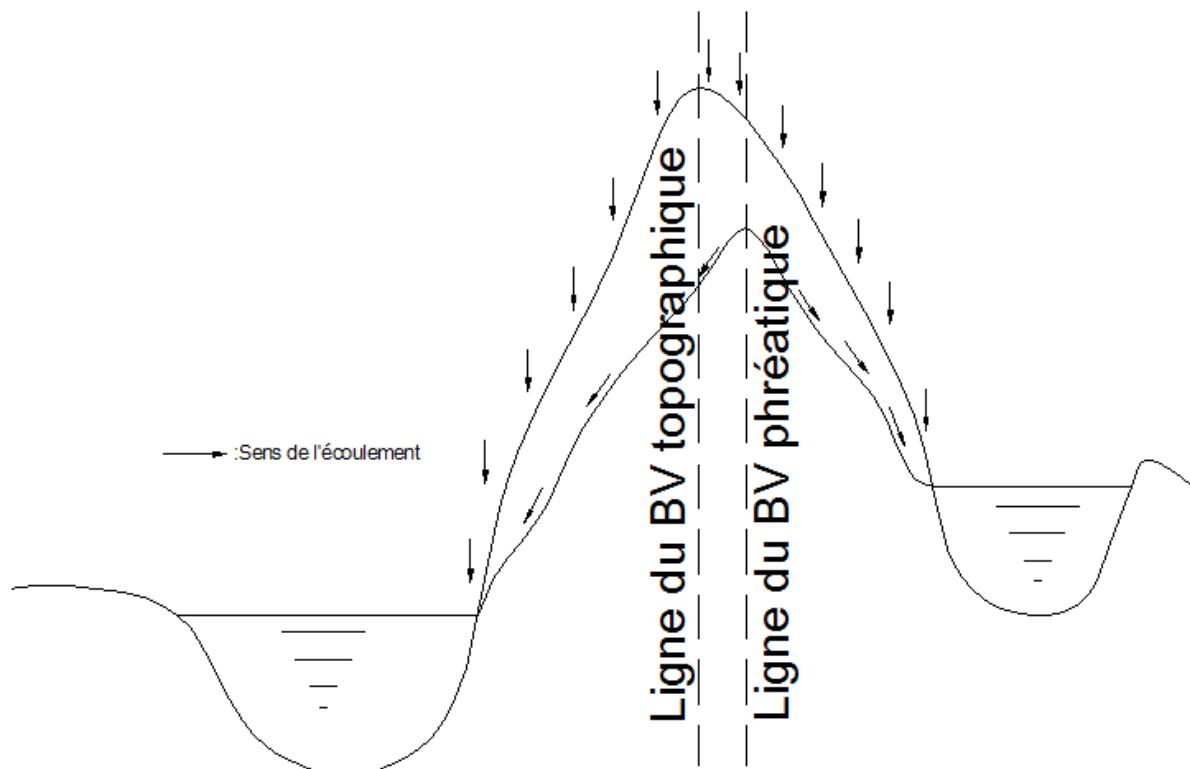


Figure 3 : Bassin versant topographique et bassin versant hydrogéologique

I-2-1-3- Aire totale du bassin (S)

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin (Figure 2).

I-2-1-4- Périmètre (P)

Le périmètre est la longueur, généralement exprimée en km, de la ligne de contour du bassin (Figure 2).

I-2-2- Caractéristiques géométriques

I-2-2-1- Indice de compacité (K_c)

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS K_c qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. K_c est obtenu par la relation suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1.4)$$

Remarque : L'indice de compacité permet l'évaluation globale du réseau de drainage. Plus le bassin est compact, plus sa forme est ramassée, plus l'indice de GRAVELIUS est faible, et plus le temps de rassemblement des eaux vers l'exutoire sera court (Si K >>1 , le BV est de forme allongée et si K ≈1, le BV est de forme ramassée).

I-2-2-2- Rectangle équivalent

C'est une transformation géométrique avec laquelle on assimile le bassin versant à un rectangle ayant même superficie et périmètre.

Soit L et l la longueur et la largeur du rectangle, et P et A le périmètre et l'aire du bassin versant.

On a:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \text{ d'où } P = \frac{K_c \sqrt{A}}{0,28}$$

Avec :

$$P = 2(L + l) \text{ et } A = Ll$$

D'où :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (1.5)$$

Et :

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (1.6)$$

I-2-3- Caractéristiques topographiques

Pour servir de base d'étude d'un projet, un plan assez détaillé du site choisi est nécessaire. Ainsi, le levé topographique s'avère obligatoire.

Les levés topographiques sont, en fait, des documents à petite échelle servant à tracer les schémas d'équipement, à déterminer la hauteur de chute, etc

Une première sélection des sites hydraulique intéressants, peut donc être faite à l'aide de la topographie et des données hydrologiques générales sur les régions d'études.

I-2-3-1- Courbe et répartitions hypsométriques

La majorité des facteurs hydrologique et météorologique dépendent très fortement de l'altitude. On appelle alors courbe hypsométrique, la répartition du bassin par tranche d'altitude (les tranches d'altitude en ordonnées et les superficies cumulées leur correspondant en abscisses).

I-2-3-2- Altitudes caractéristiques

A partir de la courbe hypsométrique, on peut déduire :

- L'altitude moyenne : ordonné moyen de la courbe hypsométrique

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A} \quad (1.7)$$

Où : - A_i : Aire compris entre deux courbe de niveau $[km^2]$,

- h_i : Altitude moyenne entre deux courbe de niveau [m] ,
- A : Surface totale du bassin versant ;
- L'altitude médiane : L'altitude lue, sur la courbe hypsométrique, au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin ;
- L'altitude la plus fréquente (ou le mode) ;
- L'altitude maximale : il représente le point le plus élevé du bassin versant ;
- L'altitude minimale : c'est l'altitude de l'exutoire du bassin versant.

I-2-3-3- Pentes

- **Pente moyenne**

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est obtenue par la relation suivante :

$$I_m = \frac{DH}{L} \quad (1.8)$$

Où : - I_m est la pente moyenne [m/km ou %],

- L est la longueur du rectangle équivalent [km],
- DH est la différence d'altitude entre Z_{95} et Z_5 [m],

- **Indice de pente**

L'indice de pente de Roche caractérise la pente globale du bassin versant. Il s'exprime par:

$$i_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i d_i} \quad (1.9)$$

Où : - i_p est l'indice de pente [%],

- L est la longueur du rectangle [km],
- a_i représente la fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisines distantes de d_i .

I-2-4- Caractéristiques du réseau hydrographiques

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau d'un bassin versant, affluents ou sous-affluents d'une rivière ou d'un fleuve. A l'état naturel tous les réseaux sont hiérarchisés.

I-2-4-1- Ordre d'un bassin versant

Un tributaire qui ne reçoit l'apport d'aucun autre cours d'eau est appelé « vecteur d'ordre 1 ». un tributaire qui n'est alimenté que par deux vecteurs d'ordre 1 est appelé « vecteur d'ordre 2 ». Un tributaire uniquement alimenté par des vecteurs d'ordre 1 et 2 est appelé « vecteur d'ordre 3 ». Et ainsi de suite.

L'ordre n du bassin versant est l'ordre maximal de ses cours d'eau, soit l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire.

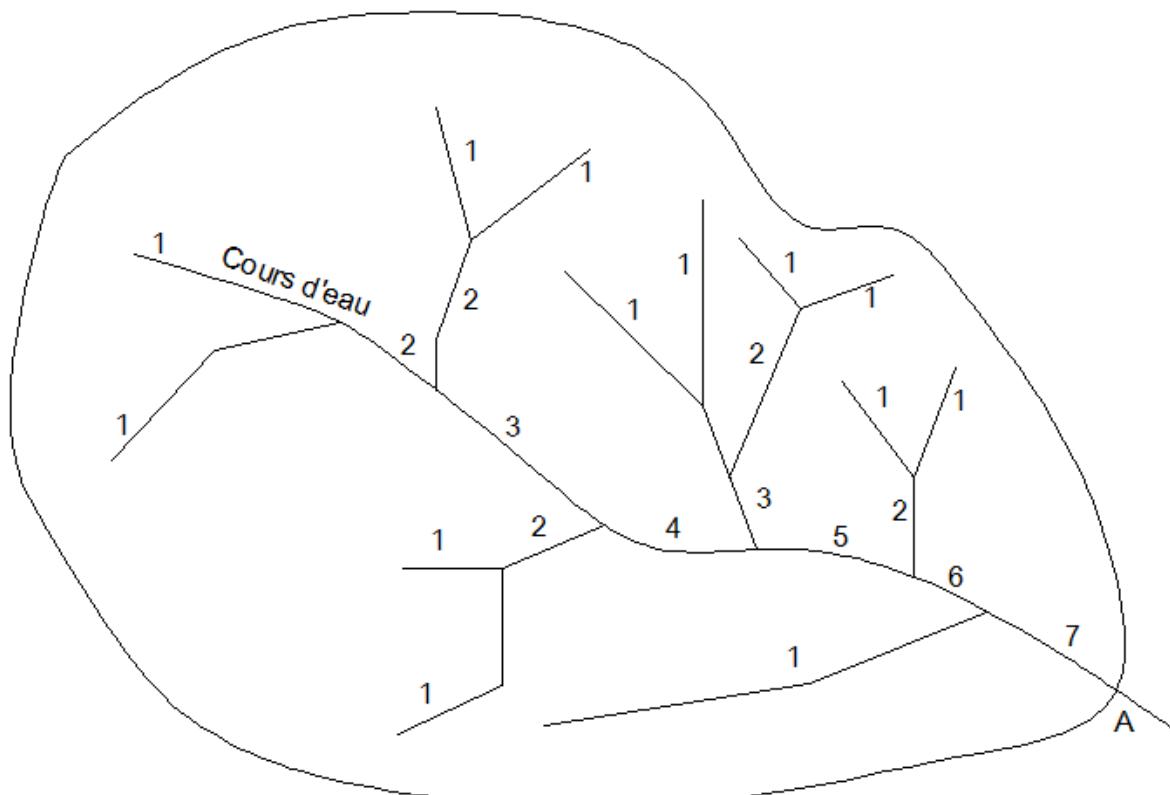


Figure 4 : Bassin versant d'ordre 7 (*classification de SCHUMM*)

I-2-4-2- Longueurs et pente caractéristiques du réseau

✓ Longueurs caractéristiques

Un bassin versant a deux longueurs caractéristiques, illustrées sur la figure 8 :

- Longueur d'un bassin versant (LGA) : distance curviligne mesurée le long du cours d'eau principal depuis l'exutoire A jusqu'au point G représentant la projection du centre de gravité du bassin sur un plan,
- Longueur du cours d'eau principal (L) : distance curviligne depuis l'exutoire A jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

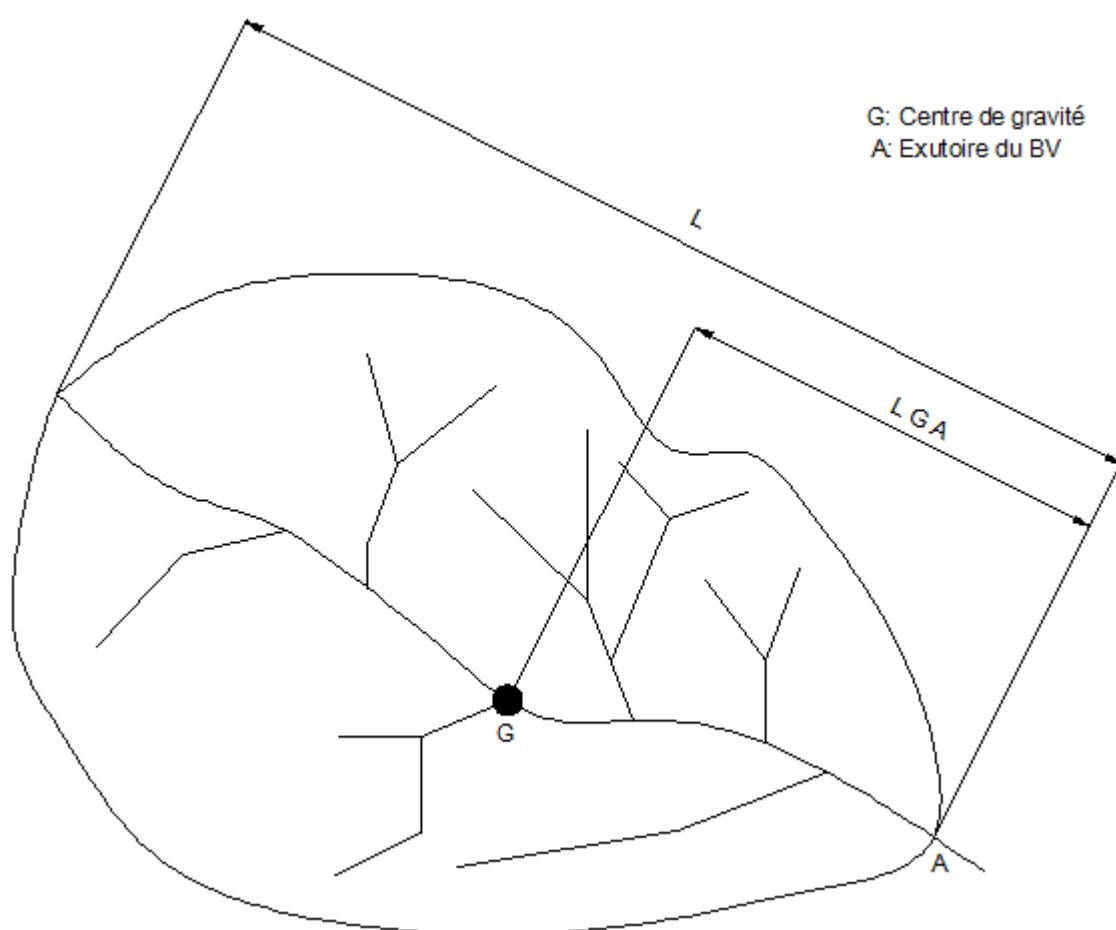


Figure 5 : Longueurs caractéristiques d'un bassin versant

✓ **La pente moyenne d'un cours d'eau**

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents.

La pente moyenne d'un cours d'eau est déterminée par la relation suivante :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L} \quad (1.10)$$

Où : - P_{moy} est la pente moyenne du cours d'eau,

- ΔH_{max} est la dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire),

- L est la longueur du cours d'eau principal.

✓ Temps de concentration

C'est le temps mis par une particule d'eau située à l'endroit le plus éloigné pour parvenir à l'exutoire. Il est obtenu par la formule Californienne suivante :

$$t_c = 0,00663 \left[\frac{L}{\sqrt{P_{moy}}} \right]^{0,07} \quad (1.11)$$

Où : - t_c : temps de concentration en h ;

- L : longueur du plus long cheminement hydraulique en m ;

- P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau en m/m.

I-2-4-5- Degré de développement du réseau

✓ Densité de drainage

C'est le quotient de la somme des longueurs de tous les cours d'eau à la superficie du bassin drainé:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (1.12)$$

Où : - D_d est la densité de drainage [km/km^2],

- L_i est la longueur de cours d'eau [km],

- A est la surface du bassin versant [km^2].

✓ Densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad (1.13)$$

Où : - F : densité hydrographique [km^{-2}],

- N_i : nombre de cours d'eau ;

- A : superficie du bassin [km^2].

I-3- CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

I-3-1- Couverture du sol

I-3-1-1- Couverture végétale

La couverture végétale retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation, une proportion variable de l'eau atmosphérique. Cette eau d'interception est en partie soustraite à l'écoulement. Le foret, par exemple, intercepte une partie de l'averse par sa frondaison. Elle exerce une action limitatrice importante sur le ruissellement superficiel. Le foret régularise le débit des cours d'eau et amortit les crues de faible et moyenne amplitudes. Par contre, son action sur les débits extrêmes causés par des crues catastrophiques est réduite.

A l'inverse, le sol nu, de faible capacité de rétention favorise un ruissellement très rapide. L'érosion de la terre va généralement de pair avec l'absence de couverture végétale.

Etant donné l'importance du rôle joué par le foret, on traduit parfois sa présence par un indice de couverture forestière K :

$$K = \frac{\text{Surface des forêts}}{\text{Surface totale du bassin}} \times 100 \quad (1.14)$$

On peut calculer ce type d'indice avec d'autres couvertures végétales telles que les cultures.

I-3-1-2- Coefficient de ruissellement

Ce coefficient est fortement influencé par la couverture du sol. On peut alors l'estimer par pondération à chaque type de couverture. D'où la formule suivante :

$$C_r = \frac{C_i S_i}{\sum S_i} \quad (1.15)$$

Où : S_i et C_i sont respectivement la surface et le coefficient de ruissellement d'une portion de couverture.

I-3-2- Caractéristiques des sols

I-3-2-1- Importance

La connaissance de la géologie d'un bassin versant s'avère importante pour cerner l'influence des caractéristiques physiographiques. L'objectif de l'étude géologique d'un bassin versant dans le cadre d'un projet hydrologique est de déterminer la perméabilité du sol et du sous-sol. Celui-ci intervient sur la vitesse de montée des crues, soutien des nappes phréatiques à l'étiage, le taux d'infiltration et la capacité de rétention.

I-3-2-2- Classification selon la perméabilité

Le sol agit sur l'hydrologie d'un cours d'eau: par sa nature et sa couleur qui influence le développement de la végétation et la réflexion des rayons solaires ; par ses propriétés mécaniques qui régissent sa perméabilité :

- Le substratum peut être compact et peu poreux. Il est alors imperméable ou peu perméable. Ruissellement important.
- Le substratum peut aussi être meuble et poreux. Il est dans ce cas plus perméable à l'eau. Ruissellement moins important.

Le sol est généralement un mélange d'éléments plus ou moins fins ou plus ou moins grossiers. Plus les particules sont de grandes tailles, plus le sol sera perméable, et vice versa. Pour cela on a adopté une classification :

Nature du sol	Diamètre des grains
Gravier	Plus de 2 mm
Sable grossier	0,2 mm à 2 mm
Sable fin	0,02 mm à 0,2 mm
Limon	0,002 mm à 0,02 mm
Argile	Moins de deux microns

Tableau 1: *Classification de la nature du sol*

I-4- EVALUATION DU POTENTIEL

La connaissance de la quantité d'eau disponible pour l'exploitation d'une centrale hydroélectrique est primordiale. Elle s'obtient par la mesure des débits ; en connaissant la mesure de débit en question, on peut estimer directement la puissance hydraulique et même électrique à savoir la hauteur de chute nette sur le site choisi.

La mesure des débits d'un cours d'eau est le prologue obligatoire à toute étude d'aménagement hydraulique d'un bassin.

Avec la formule du bilan hydrologique, on peut théoriquement calculer le débit d'un cours d'eau à partir des données climatologiques. Cependant, on a vu que cela introduisait beaucoup d'incertitudes. Il est donc préférable, quand cela est possible, de traiter directement des mesures relevées sur station de jaugeage la plus proche du site étudié.

En tout cas, des mesures sur terrain sont toujours indispensables.

I-2-1- Débits caractéristiques

I-2-1-1- Débit disponible [4]

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer le débit disponible mais la méthode de mesure la plus simple reste donc celle du flotteur. Elle est approximative mais peut être considérée comme satisfaisante dans bon nombre de cas. On choisit pour mesure un endroit où le lit de la rivière est lisse et uniforme sur une certaine longueur. On mesure l'intervalle de temps dt mis par un flotteur pour parcourir une distance connue dl . On détermine ensuite la section S du cours d'eau. La méthode par flotteur se calcule comme ci –après :

$$Q = V_{moy} * S \quad [m^3/s] \quad (1.16)$$

Où : - $S = \sum S_i$ est la section transversale de la rivière $[m^2]$ (S_i sont les différentes formes de section qui forme la section transversale de la lame d'eau),

- $V_{moy} = 0,8 * V$ est la vitesse moyenne de la rivière $[m/s]$.

Avec : $V = \frac{\text{Distance de deux sections transversales considérées}}{\text{Temps moyen de parcours du flotteur entre ces deux sections}} \quad [m/s] \quad (1.17)$

V est la vitesse d'une ligne de courant se situant au milieu de la surface de la rivière.

I-2-1-2- Evaluation du débit d'étiage [3]

Pour évaluer les débits d'étiages annuels de différentes fréquences, on applique les deux (02) méthodes suivantes :

- Méthode de la station de référence,
- Méthode du CTGREF

Et pour la vérification, il faut faire des enquêtes sur terrain.

➤ Méthode de la station de référence

Une station de référence est une station hydrométrique qui possède une longue série d'observation et qui se trouve la plus proche possible de la zone d'étude. La méthode de station de référence est utilisée lorsque les données pluviométriques d'un bassin versant sont incomplètes.

La méthode de station de référence a pour objectif de déterminer l'apport moyen annuel d'un bassin versant en se référant sur un bassin versant (station existant 30 ans au moins) connu. Elle s'exprime comme suit :

$$Q_F = q_F * A \quad [l/s] \quad (1.18)$$

Où : - q_F est le débit spécifique de fréquence F [$l/s/Km^2$] ;

- A : Surface du bassin versant [Km^2].

q_F est donnée par la formule ci après :

$$q_F = \frac{Q_{SRF}}{S_{SR}} \quad (1.19)$$

Sa valeur peut être lue directement dans la monographie hydrologique « Fleuves et Rivières de Madagascar ».

Q_{SRF} : L'apport annuel de la station de référence, de fréquence F en [l/s] ;

S_{SR} : Surface du bassin versant de la station de référence en [Km^2]

La répartition mensuelle s'obtient en appliquant les coefficients de répartition mensuelle à l'apport annuel de différentes fréquences, soit :

$$Q_{mi} = \frac{12 * R_i * Q_F}{100} \quad (1.20)$$

Où : - Q_{mi} : Apport mensuel du mois i en [l/s]

- Q_F : Apport annuel en [l/s]

- R_i : Coefficient de répartition mensuelle

➤ Méthode du CTGREF

La méthode du CTGREF est une méthode empirique établie à partir des bassins de France. Dans cette méthode les variables explicatives du module annuel sont : la superficie, la pluviométrie moyenne et l'altitude moyenne du bassin versant. L'apport annuel de fréquence F est donné par la formule suivante :

$$Q_F = \frac{S}{31,5} \left[\frac{P_F}{B} \right]^{\frac{5}{3}} \left[\frac{Z_m}{100} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1.21)$$

Où : - Q_F est le débit annuel de fréquence F en [l/s]

- P_F : Pluviométrie moyenne interannuelle de fréquence F, en [mm]
- S : Surface du bassin versant de la zone d'études, en [Km²]
- B : Coefficient régional (Annexe)
- Z_m : Altitude moyenne du bassin versant considéré en [m]

On utilise la même formule pour la répartition mensuelle.

I-2-1-3- Débit turbiné (Débit à dériver) [6]

C'est le débit pour lequel l'amenée est dimensionnée. Le débit turbiné Q_t est le débit s'écoulant dans la rivière au moment d'étiage moins le débit de restitution Q_{rest} .

$$Q_t = Q_{et} - Q_{rest} \quad (1.22)$$

Où : - Q_{et} est le débit d'étiage,

- Q_{rest} est le débit de restitution ou le débit résiduel minimal est le débit qui doit être maintenu dans le tronçon du cours d'eau entre la prise d'eau et l'usine. De plus, il faut tenir compte de la protection de l'environnement (faune et flore), le cas échéant, d'autres exigences telles que celles de la pêche, etc ...

La valeur du débit de restitution est fixée par des textes réglementaires. Dans notre pays, le Gouvernement l'a fixé dans l'intervalle de 10 à 20% du débit de la rivière au moment d'étiage selon le cas. Dans notre étude on l'a fixée à 20%.

I-2-1-4- Débit d'équipement [6]

C'est le débit nécessaire pour l'exploitation de la MCH, pour tenir compte des pertes de charge éventuelles au cours de son trajet (par infiltration et évapotranspiration), le débit d'équipement doit être minoré de 10% du débit à dériver qui est le débit turbiné qu'on avait eu auparavant. On l'utilise afin de dimensionner les conduites forcées.

$$Q_e = 0,9 * Q_t \quad (1.23)$$

I-2-1-5- Débit de crue [3]

Les débits de crue sont créés par les apports bruts d'eau des ruissellements. Ils servent pour le dimensionnement des ouvrages de génie civil comme les barrages de dérivation, par exemple.

Il existe plusieurs méthodes pour l'estimation de débit de crue à savoir :

- La méthode de station de référence ;
- La méthode empirique.

➤ **Méthode de station de référence**

Cette méthode est basée sur l'exploitation des valeurs observées sur la station hydrométrique. Les mesures de débit se font avec une station hydrométrique installée sur l'exutoire du bassin versant ou sur la station la plus proche du bassin versant.

Le débit de crue est obtenu par la relation suivante :

$$Q_{Crue} = S q_{CF} \quad (1.24)$$

Où : - q_{CF} est le débit spécifique de fréquence F [$l/s/Km^2$] (observé sur la station);

- S : Surface du bassin versant [Km^2].

Remarque : On ne peut pas appliquer cette méthode, si et seulement si la surface du bassin versant étudié est égale ou du moins proche de celle du bassin versant de la station de référence.

➤ **Méthode empirique**

✓ **Méthode rationnelle**

C'est une méthode appliquée notamment aux petits bassins versant de superficie inférieure à $4 km^2$ et à la limite, inférieure à $10 km^2$. La formule est la suivante :

$$Q_{Crue} = 0,278 CiS \quad (1.25)$$

Dans laquelle : - Q_{Crue} est le débit de crue en m^3/s ;

- C : coefficient de ruissellement (Annexe III) ;
- i : intensité de pluie en mm/h ;
- S : surface du bassin versant en km^2 .

Pour la valeur de i , des recherches à Madagascar (ORSTOM, BCEOM) ont donné :

$$i(t, F) = \frac{P(24, F)}{24^b} t^{b-1} \quad (1.26)$$

Où : - $i(t, F)$ est l'intensité maximale de pluie de durée t , de fréquence F ;

- $P(24, F)$: hauteur de pluie maximale de 24 h tombé en un point quelconque du bassin versant pour la fréquence F ;

- b : paramètre régionale (Annexe IV) ;
- t : temps utile ($t = 0,87 t_c^{0,82}$).

✓ **Méthode de Louis Duret**

La méthode de Louis Duret est une méthode dérivée de la méthode rationnelle et est applicable pour les bassins versants de superficie supérieure à $10 km^2$. Elle s'énonce comme suit :

$$Q_F = KS^\alpha I^{0,32} P_F \left(1 - \frac{36}{P_F}\right)^2 \quad (1.27)$$

Où :

Q_F : débit de crue de fréquence F en m^3/s ;

K, α : Paramètres obtenus en faisant caler les débits estimés pour $S_1 = 5 \text{ Km}^2$ par la formule de la méthode rationnelle, et pour $S_2 = 150 \text{ Km}^2$ par la méthode de Louis- Duret ;

S : superficie du bassin versant en km^2 ;

I : pente du bassin versant en m/km ;

P_F : pluie maximale journalière de fréquence F de 24h tombée dans le bassin versant en mm ;

$\left(1 - \frac{36}{P_F}\right)^2$: Coefficient de la couverture végétale.

Cette formule a été simplifiée par le bureau d'étude SOMEAH et s'écrit comme suit :

$$Q_F = \begin{cases} 0,002 S^{0,8} I^{0,32} P_F^{1,39}, & S > 150 \text{ km}^2 \\ 0,009 S^{0,5} I^{0,32} P_F^{1,39}, & 10 < S < 150 \text{ km}^2 \end{cases} \quad (1.28)$$

Dans laquelle, Q_F , S , I et P_F ont les mêmes significations que précédemment.

Remarque : La formule de Louis Duret ne tient pas compte de la couverture végétale du bassin versant. Pour en tenir compte, on est obligé d'apprécier ces paramètres en associant un coefficient correcteur variant de 0,8 à 0,9 avec le débit.

- **Calcul de P_F**

P_F s'obtient par analyse statistique des pluies maximales journalières de 24h.

- ✓ **Analyse statistique des pluies :**

Pour l'ajustement des valeurs de pluies maximales de 24h, on utilisera les lois des extrêmes qui sont les suivantes:

- Loi de GUMBEL ;
- Loi de FRECHET.

- **Loi de GUMBEL**

La fonction de répartition : $F(P) = e^{-e^{-u}}$

La variable réduite : $u_F = -\log(-\log F) = \alpha (P_F - P_0)$

Les valeurs centrales :

La moyenne algébrique \bar{P} : $\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{N}$

La variance v : $V = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{N-1}$

l'écart-type σ : $\sigma = \sqrt{v}$

Calcul des paramètres d'ajustement α_{Gumbel} et P_0 :

$\alpha = \frac{1}{\text{gradex}}$ Avec $a_G = \frac{\sigma}{1,28}$: gradex de la distribution

$$\frac{1}{\alpha} = 0,78\sigma$$

$$P_0 = \bar{P} - 0,45\sigma$$

Calcul de P_F :

$$P_F = P_0 + a_G u_F \quad (1.29)$$

▪ **Loi de FRECHET :**

La fonction de répartition : $F(P) = e^{-e^{-u}}$

La variable réduite : $u_F = -\log(-\log F) = \alpha [\log P_F - (\log P)_0]$

Les valeurs centrales :

La moyenne algébrique $\bar{\log P}$: $\bar{\log P} = \frac{\sum_{i=1}^n \log P_i}{N}$

La variance v : $V = \frac{\sum_{i=1}^n (\log P_i - \bar{\log P})^2}{N-1}$

L'écart-type σ : $\sigma = \sqrt{v}$

Calcul des paramètres d'ajustement α_{Frechet} et $(\log P)_0$:

$\alpha = \frac{1}{\text{gradex}}$ Avec $a_G = \frac{\sigma}{1,28}$: gradex de la distribution

$$\frac{1}{\alpha} = 0,78\sigma$$

$$(\log P)_0 = \bar{\log P} - 0,45\sigma$$

Calcul de P_F :

$$P_F = \text{expo}(P_0 + a_G u_F) \quad (1.30)$$

I-2-1-6- Enquête sur les débits extrêmes [5]

Pour l'estimation de ces débit, on utilise des données relevées sur terrain en mesurant les hauteurs d'eau des traces (les « laisses ») laissées par la montée des eaux sur les basses branches des arbres ou sur les berges (crue maximal) et les hauteurs la plus basse eau (Etiage absolu). Ces derniers doivent confirmer par les autochtones au moment de l'enquête sur terrain.

On peut évaluer ces débit par la formule de MANNING-STRICKLER :

$$Q = K_m * S_m * R_h^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \quad (1.31)$$

Où : - K_m est le coefficient de rugosité (Annexe IV),

- S_m est la surface mouillée,

- $R_h = \frac{S_m}{P_m}$ est le rayon hydraulique moyen de la section (P_m est le périmètre mouillé),
- i est la pente.

I-2-2- Mesure in situ et puissance estimée

I-2-2-1- Puissance hydraulique théorique du site

La puissance hydraulique théorique d'un site est utilisée pour fixer le coût d'installation de l'aménagement. Elle se calcule à partir du produit du débit d'eau turbiné (débit dérivé) par la chute brute de l'installation :

$$P_{hyd} = \rho * g * Q_t * H_n \quad [W] \quad (1.32)$$

Où :

- P_{hyd} : Puissance hydraulique [w],
- Q_t : Débit turbiné [m^3/s],
- H_n : chute nette [m],
- ρ : masse volumique de l'eau 1000 [kg/m³],
- g : accélération due à la pesanteur 9,81 [m²/s].

Chute brute H_b : Elle représente l'énergie totale à disposition entre l'entrée et la sortie de l'aménagement.

Elle est donnée par la différence d'altitude entre les niveaux d'eau à la prise d'eau et à l'aval de la centrale. C'est une donnée topographique mesurée sur le terrain ou sur la carte.

Chute nette H_n : En outre, 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 le générateur. Ces pertes réduisent la chute brute et en les déduisant de celle-ci, on obtient la chute nette H_n effectivement à la disposition de la turbine.

$$H_n = H_b - \Delta H \quad [m] \quad (1.33)$$

Comme il est difficile d'évaluer les pertes de charge Δh , nous prenons le cas général afin de calculer la valeur la plus réaliste pour la quantité d'électricité qui sera produite.

$$H_n = 0,9 * H_b \quad [m] \quad (1.34)$$

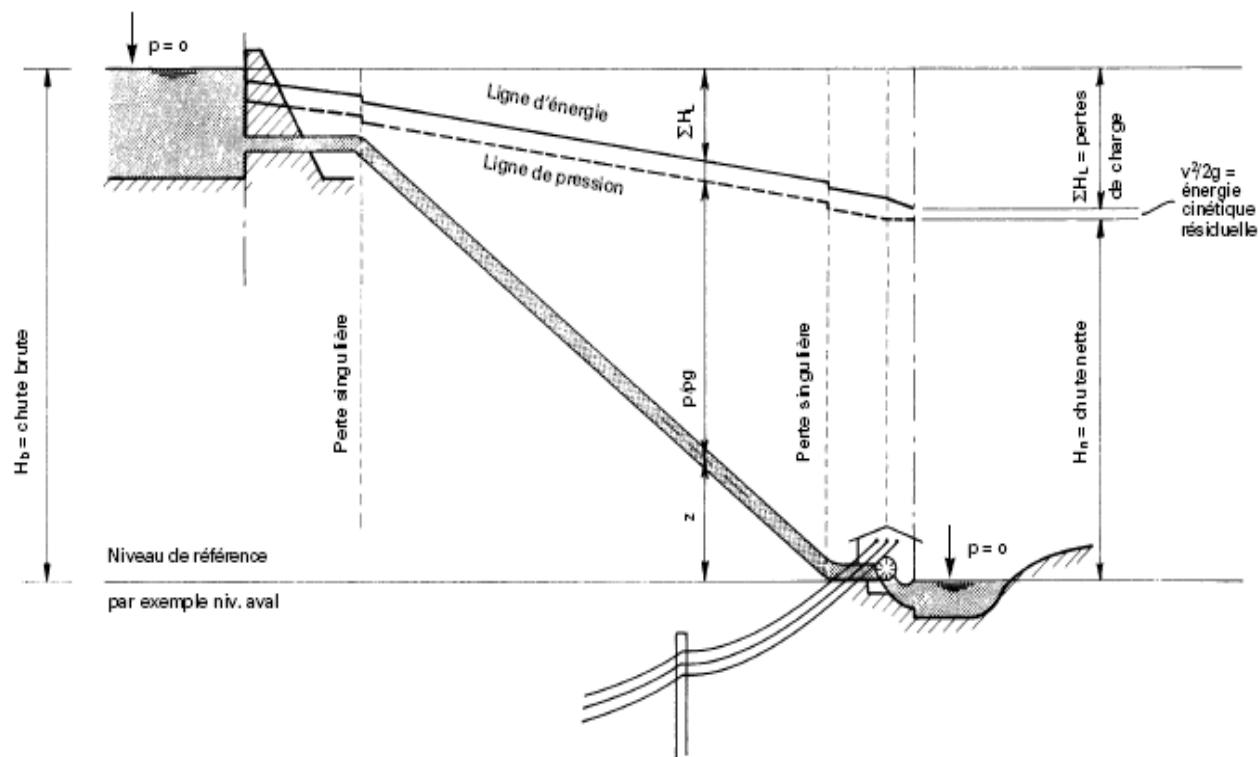


Figure 6 : **Chute nette et chute brute**

I-2-2-2- Puissance électrique

La puissance électrique disponible, se calcule en fonction du débit turbiné Q_t de la hauteur de chute nette H_n et d'un rendement de 70% afin de considérer toutes les pertes de charge qui seraient produites par la formule suivante :

$$P_{el} = \frac{7 * Q_t * H_n}{1000} \quad [kW] \quad (1.35)$$

Chapitre II- ELEMENTS DE MICRO HYDROELECTRICITE

Ce chapitre présente de façon générale le secteur de la micro hydroélectricité. Il présente le contexte dans lequel se place le projet de construction de groupes hydroélectriques complets. Il s'agit de décrire quelques éléments de théorie d'une micro centrale hydraulique : les besoins auxquels peut répondre la micro hydraulique, les turbines, les composants principaux, les critères de choix et de dimensionnement d'une microcentrale hydraulique.

II-1- DESCRIPTION ET PRINCIPE DE CONVERSION

II-1-1- Définition

Une petite centrale hydraulique (microcentrale) est une installation de production d'énergie basée sur l'utilisation de la force hydraulique.

L'énergie hydraulique peut provenir:

- d'un fleuve ou d'une rivière;
- d'une source;
- d'un réseau d'approvisionnement en eau potable;
- d'un réseau d'évacuation d'eaux usées ou de drainages;
- de procédés industriels dans lesquels la pression d'un liquide est détruite dans un organe de réglage, vanne ou autre.

La production d'énergie par une centrale hydraulique qu'elle soit grande ou petite est fonction du débit de l'eau et de la hauteur de chute (différence de pression) à disposition.

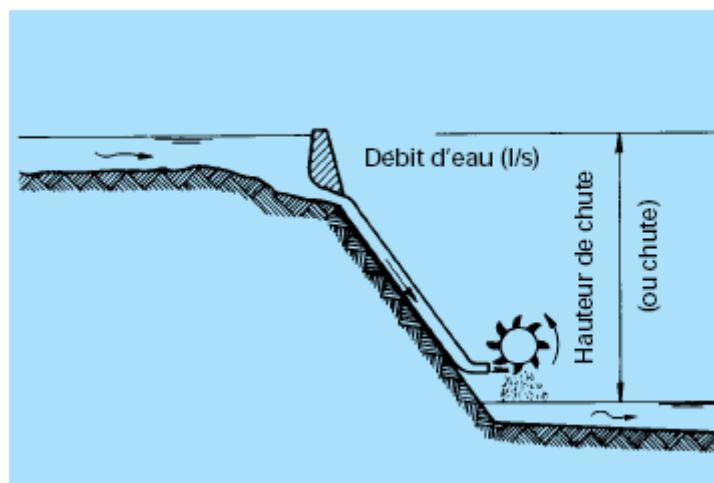


Figure 7 : Principe de l'utilisation de l'énergie hydraulique

Les débits des microcentrales peuvent représenter quelques litres ou plusieurs mètres cubes à la seconde.

A partir de deux mètres, une chute avec un débit suffisant est considérée comme exploitable. Par ailleurs, des hauteurs de 500 mètres (pression 50bars) ou plus peuvent produire une quantité intéressante d'énergie, même si le débit est faible (5 l/sec).

Selon les définitions locales, une petite centrale hydraulique peut couvrir des capacités nominales de quelques kilowatts à 50 mégawatts ou plus. Quelque fois, les projets de 150 kW à 1 MW sont appelés « mini-centrales » et les projets de moins de 150 kW, « microcentrales ». Toutefois, la puissance installée n'est pas toujours un bon indicateur de la taille d'un projet. Une « petite centrale » hydroélectrique à basse chute est loin d'être petite, car en général les projets à basse chute ont besoin d'un volume d'eau beaucoup plus important et de plus grosses turbines que des projets à haute chute.

Pour classer les centrales, on peut penser à utiliser la puissance installée ou certaines dimensions caractéristiques. Intuitivement, la puissance est le reflet de la taille de la centrale. Cependant à puissance installée constante les projets à basse chute ont besoin d'un volume d'eau beaucoup plus important que les projets à haute chute. Ainsi certaines organisations préfèrent se baser sur le diamètre de la roue de turbine pour catégoriser les centrales hydrauliques.

Toutefois la puissance installée est le critère de référence pour l'ensemble des différents acteurs gravitant autour du porteur d'un projet d'hydroélectricité. Il nous semble donc le critère le plus pertinent, et c'est celui que nous retenons.

Au vu des classifications rencontrées dans plusieurs pays, nous choisissons :

- < 150 kW : micro centrale,
- de 150 à 1 MW : mini centrale,
- de 1 MW à 10 MW : petite centrale.

II-1-2- Principe de conversion

L'énergie potentielle de pesanteur de l'eau, accumulée par le barrage, est transformée en énergie cinétique par écoulement. Celle-ci est transformée en énergie mécanique grâce à une turbine, qui à son tour entraîne un générateur électrique : alternateur ou dynamo. L'énergie mécanique devient alors de l'énergie électrique.

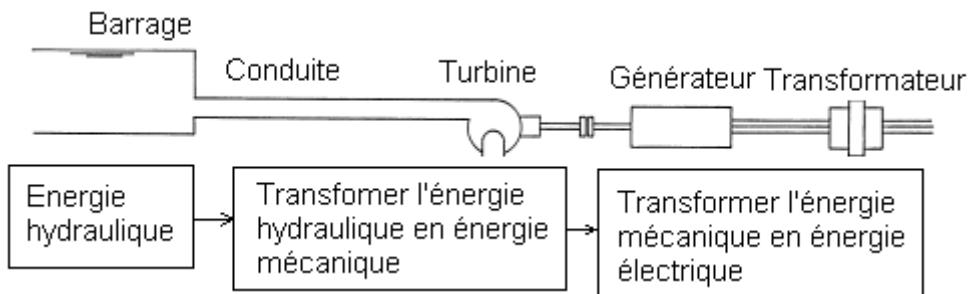


Figure 8 : Principe de conversion

II-1-3- Eléments constitutifs

On peut regrouper les éléments constitutifs d'une centrale en deux parties, qui seront développées par la suite :

- les ouvrages de génie civil (Prise d'eau, conduites d'eau et centrale),
- les équipements de production (turbine, générateur, transformateur, système de régulation et transport).

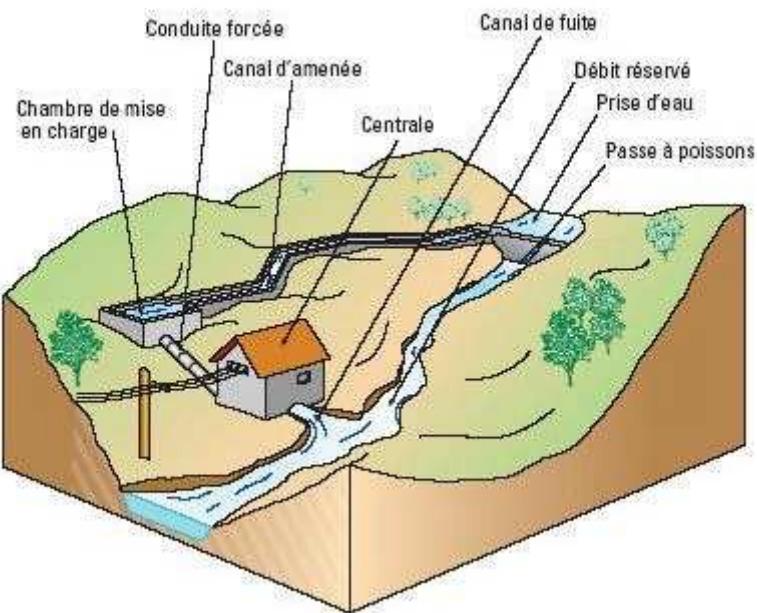


Figure 9 : *Principe d'une microcentrale électrique*

II-2- DIMENSIONS DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

II-2-1- Barrage

Le dimensionnement du barrage est basé sur deux conditions essentielles : d'une part, le corps du barrage doit être capable de régulariser le débit à dériver et, d'autre part, il doit aussi être capable d'évacuer la crue pour laquelle l'ouvrage sera dimensionné.

Pour notre cas, on va dimensionner un barrage fixe, l'ouvrage est en béton armé et qui est permanent. Pour éviter la surélévation importante du niveau d'eau et inondation en cas de forte crue, il nécessite un dispositif de chasse.

II-2-1-1- Hauteur de la lame d'eau au dessus de la crête du barrage

On choisit un barrage de section trapézoïdale. Le débit qu'on peut évacuer une longueur L d'un tel barrage est donné par la formule du déversoir (formule du Bazin) ci-dessous :

$$Q_c = m L \sqrt{2g} h_c^{\frac{3}{2}} \quad (2.1)$$

$$h_c = \left[\frac{Q_c}{m L \sqrt{2g}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.2)$$

Où : - h_c est la hauteur de la charge au dessus de la crête du barrage,

- L est la largeur du barrage,
- m est le coefficient de débit (0,5 pour un déversoir de section rectangulaire),
- Q_c est le débit de crue.

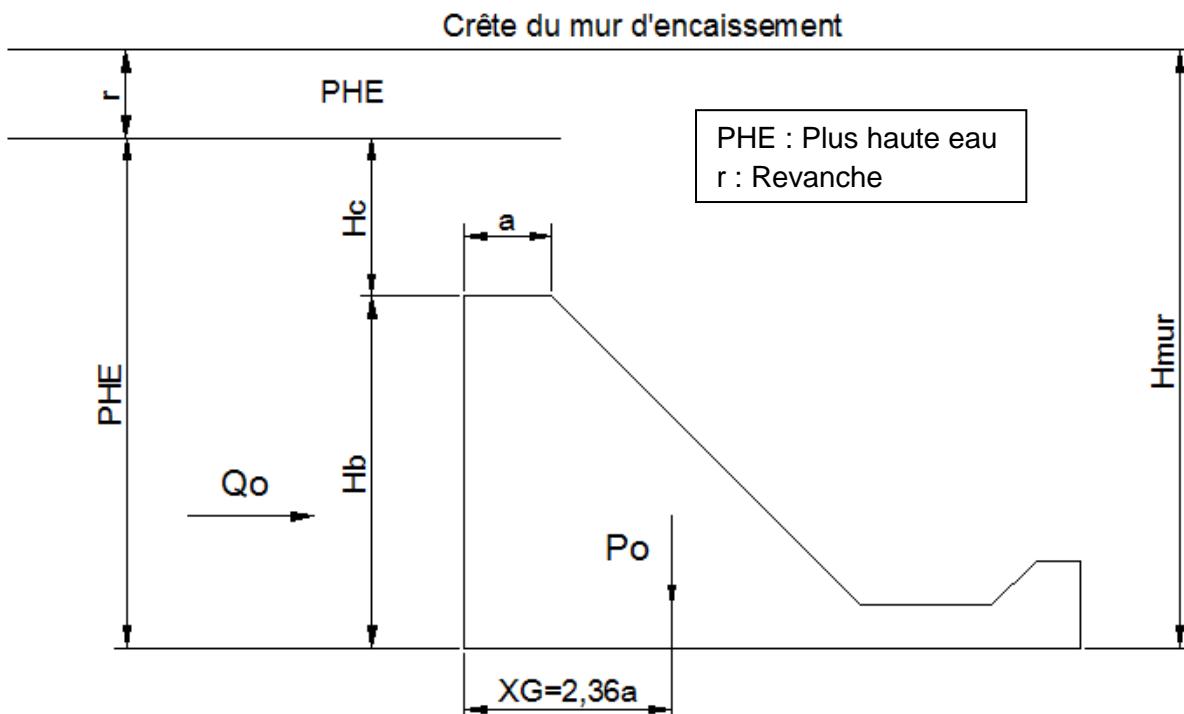


Figure 10 : Niveau d'eau au dessus du barrage

II-2-1-2- Conception générale du barrage

D'une manière générale, le barrage sera conçu de façon simple et classique avec des matériaux uniformes (par exemple, du béton armé) et locaux afin d'avoir un coût minimum possible dont :

- piles en béton armé surmontées d'une passerelle également en béton armé ;
 - semelle et parafoilles en béton armé ;
 - murs d'ancrage en maçonnerie de moellons exécutés en gradins ;
 - prise d'eau rectangulaire et fonctionnant en noyé ;
 - et canal tête morte maconné.

II-2-1-3- Etude de stabilité

Ainsi, comme celle des énormes complexe-hydroélectriques, la stabilité des éléments constitutif de l'ouvrage doit être vérifiée.

Avec les dimensions de la section, le centre de gravité du barrage a comme coordonnée X_G et Y_G .

Les deux forces agissantes sur le barrage sont : le poids propre du barrage P_b et la poussée de l'eau Q_o .

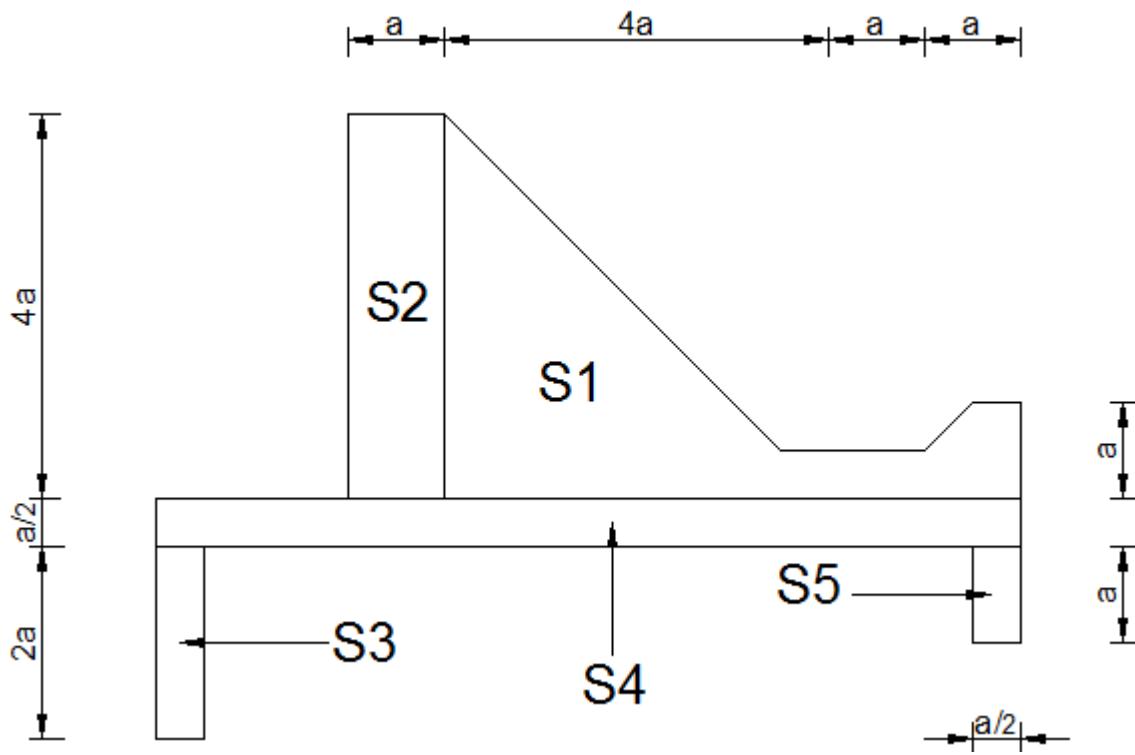


Figure 11: Exemple de conception de barrage

Selon notre conception :

- le poids propre P_0 du barrage est égal :

$$P_0 = \rho_b * S_b = \rho_b * \sum S_i \quad (2.3 *)$$

Où : - ρ_b poids volumique du béton (2500 daN/m³).

Le plan vertical passant par le centre de gravité (point d'application du poids) se trouvera à une distance X_G du point A de telle sorte que :

$$X_G = \frac{\sum X_i S_i}{\sum S_i} \quad (2.3 **)$$

- la poussée de l'eau Q_0 est proportionnelle à la surface de trapèze de cotés a et b et de hauteur H_b du barrage (Figure 16), c'est-à-dire :

$$Q_0 = \frac{a + b}{2} * H_b \quad \text{où } a = \gamma h_c \text{ et } b = \gamma(h_c + H_b)$$

$$Q_0 = \gamma \left(h_c + \frac{H_b}{2} \right) H_b \quad (2.4)$$

Et le point d'application de la poussée s'applique à une distance Y_0 du pied du barrage de telle sorte que :

$$Y_0 = \frac{Y_1 S_1 + Y_2 S_2}{S_1 + S_2} \quad (2.5)$$

$$S_1 = a H_b = \gamma h_c H_b$$

$$S_2 = \frac{1}{2} (b - a) H_b = \frac{1}{2} \gamma H_b^2$$

$$Y_1 = \frac{1}{2} H_b$$

$$Y_2 = \frac{1}{3} H_b$$

D'où :

$$Y_0 = \frac{H_b \left(h_c + \frac{H_b}{3} \right)}{2h_c + H_b} \quad (2.6)$$

Où : - H_b est la hauteur du barrage,

- h_c est la hauteur de la charge au dessus de la crête du barrage,
- γ est le poids volumique de l'eau (981daN/m³).

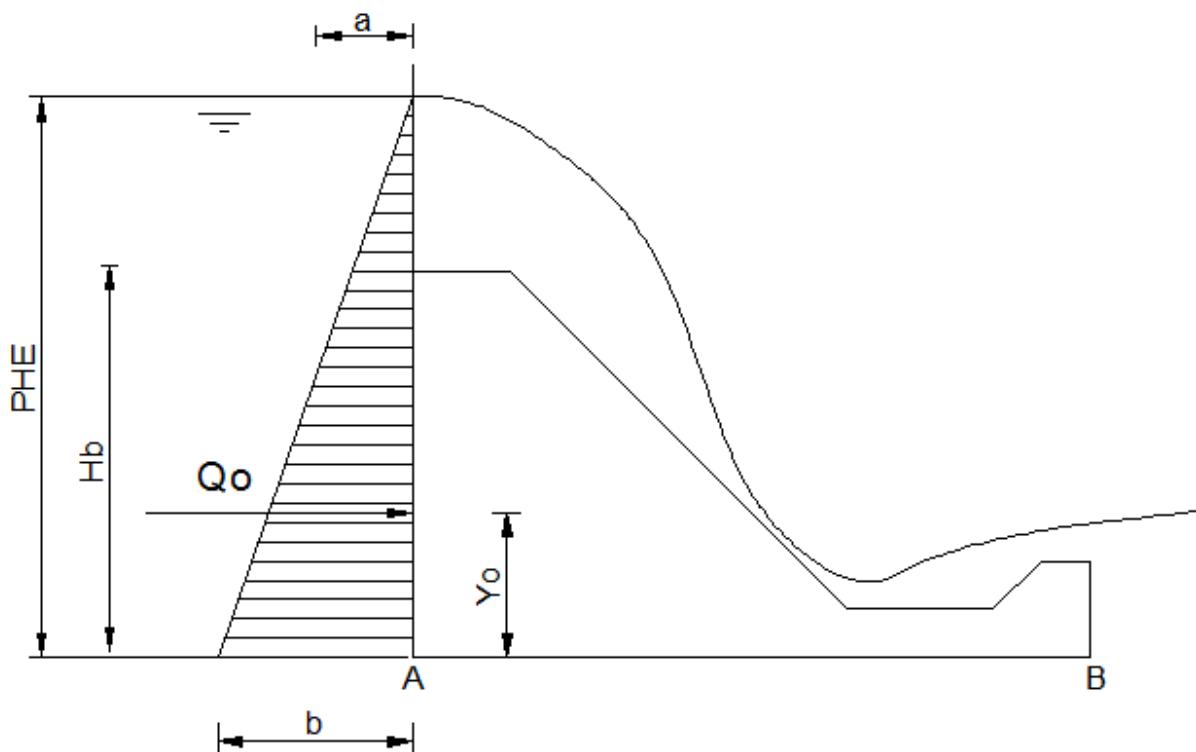


Figure 12 : La Force Q_0 agissant sur le Barrage

II-2-1-4- Condition de stabilité

- Condition de non renversement

On aura stabilité si :

$$M_s > M_r$$

Le moment de stabilité M_s est :

$$M_s = P_0 * X_G \text{ [daNm]} \quad (2.7)$$

Le moment de renversement M_r est :

$$M_r = Q_0 * Y_0 \text{ [daNm]} \quad (2.8)$$

- **Condition de non glissement**

Pour que le barrage ne glisse pas, il faut que : $\frac{F_h}{F_v} = < f$

Où : - F_h est la somme des forces horizontales [daN],

- F_v est la somme des forces verticales [daN],

- f est le coefficient de frottement ($f = 0,75$)

- **Condition de stabilité interne**

Pour qu'on a une stabilité interne, il faut que :

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{adm}}$$

Avec : - σ_{adm} est la contrainte admissible au sol,

- σ_{\max} est la contrainte maximale. Elle est obtenue par la relation suivante :

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{l_f} \pm \frac{6M}{l_f^2} \quad (2.9)$$

- N est la somme des efforts normaux aux sections,

- M est le moment fléchissant,

- l_f est la surface de la grande base du barrage par unité de largeur ($l_f = B$).

II-2-1-5- Mur d'encaissement

La hauteur du mur d'encrage devrait être capable d'évacuer la crue décennale PHE. Pour l'étude de la stabilité, il faut savoir avant tout les forces qui agissent sur le mur:

- Force horizontale : c'est la poussée de la terre et la poussée de l'eau (force de renversement),

- Force verticale : c'est le poids propre du mur (force de stabilité)

Et après il faut vérifier les conditions de stabilité qui sont pareilles à celles de barrage.

- **Hauteur du mur (H_{mur})**

La hauteur du mur est donnée par la relation suivante :

$$H_{\text{mur}} = H_b + h_c + r \approx H_{\text{PHE}} + r \quad (2.10)$$

Où : - H_b est la hauteur du barrage,

- r est la revanche (0,2 à 0,5m)

Par analogie, $H_{\text{PHE}} = H_b + h_c$

- **Poussé des terres**

$$Q_T = \frac{1}{2} A * \gamma_T * H_{mur}^2 \quad [N/mL] \quad (2.11)$$

Cette valeur est par unité de longueur. Où : - A : coefficient de poussée,
 - γ_T : poids volumiques des terres.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de A par rapport à l'angle de frottement interne du sol :

$\varphi [^\circ]$	20	25	30	35	40	45
A	0,407	0,324	0,259	0,204	0,164	0,130

Tableau 2 : Les différentes valeurs du coefficient de poussée

Q_T est appliquée à $\frac{1}{3} H_{mur}$ d'où $Y_T = \frac{1}{3} H_{mur}$.

- Poussée de l'eau (Q_0)**

$$Q_0 = \varphi_0 g \frac{H_{PHE}^2}{2} \quad (2.12)$$

Comme celle de Q_T , Q_0 appliquée à Y_0 a comme valeur $\frac{1}{3} H_{PHE}$.

- Poids propre du mur (P_m)**

$$P_m = \varphi_b g H_{mur} \frac{B + b_0}{2} \quad (2.13)$$

- Calcul du centre de gravité :**

$$X_G = \frac{X_1 S_1 + X_2 S_2}{S_1 + S_2}$$

$$X_1 = \frac{b_0}{2} \quad X_2 = b_0 + \frac{1}{2}(B - b_0)$$

$$S_1 = b_0 H_{mur} \quad S_2 = \frac{1}{3} H_{mur}(B - b_0)$$

$$X_G = \frac{\frac{1}{2} b_0^2 H_{mur} + \left[b_0 + \frac{1}{2}(B - b_0) \right] \left[\frac{1}{3} H_{mur}(B - b_0) \right]}{b_0 H_{mur} + \frac{1}{3} H_{mur}(B - b_0)} \quad (2.14)$$

- Calcul de stabilité**

- Moment de renversement M_r**

$$M_r = \varphi_0 g \frac{H_{PHE}^3}{6} = Q_0 Y_0 \quad (2.15)$$

- Moment de stabilité M_s**

$$M_s = Q_T Y_T + P_m (B - X_G) \quad (2.16)$$

En remplaçant P_m par son expression, on a :

$$M_s = Q_T Y_T + \varphi_b g H_{mur} (B + b_0) (B - X_G) \quad (2.17)$$

Le mur est stable si $\frac{M_s}{M_r} > 2$

$$\frac{M_s}{M_r} = \frac{Q_T Y_T + \varphi_b g H_{mur} (B + b_0) (B - X_G)}{Q_0 Y_0} \quad (2.18)$$

On résoudre l'équation par itération. On donne une valeur à B , on calcul X_G et P_m et on vérifie la condition $\frac{M_s}{M_r} > 1,5$, et si la condition n'est pas vérifiée, on augmente de nouveau la largeur B de la base du mur et ainsi de suite jusqu'à ce que la condition soit vérifiée.

II-2-2- Prise d'eau

Pour que le débit désiré s'évacue sur la prise, la charge sur le centre de l'orifice qui est la différence entre les niveaux en amont et en aval de la prise doit être supérieure ou égale à la perte de charge sur l'ouvrage. Tout ceci demande la connaissance de la lame déversant d'étiage.

II-2-2-1- Section de la prise

$$Q_{der} = \mu S_p \sqrt{2g\Delta H_{ap}} \quad \rightarrow \quad S_p = \frac{Q_{der}}{\mu \sqrt{2g\Delta H_{ap}}} \quad (2.19)$$

Où :- S_p est section de la prise $[m^2]$,

- μ est le coefficient de débit ($\mu = 0,5$) $[-]$,
- ΔH_{ap} est la charge sur l'axe de l'orifice de la prise $[m]$

$$\Delta H_{ap} = H_b + H_{et} - H_a \quad (2.20)$$

- H_b est la hauteur du barrage $[m]$
- H_a est la hauteur d'axe de la prise par rapport au fond du barrage $[m]$

✓ Lame d'eau déversant en période d'étiage

$$H_{et} = \left[\frac{Q_{et}}{m L_b \sqrt{2g}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.21)$$

- Avec :
- Q_{et} est le débit d'étiage le plus défavorable $[m^3/s]$
 - L_b est la longueur du barrage $[m]$
 - m est le coefficient de débit : 0,5

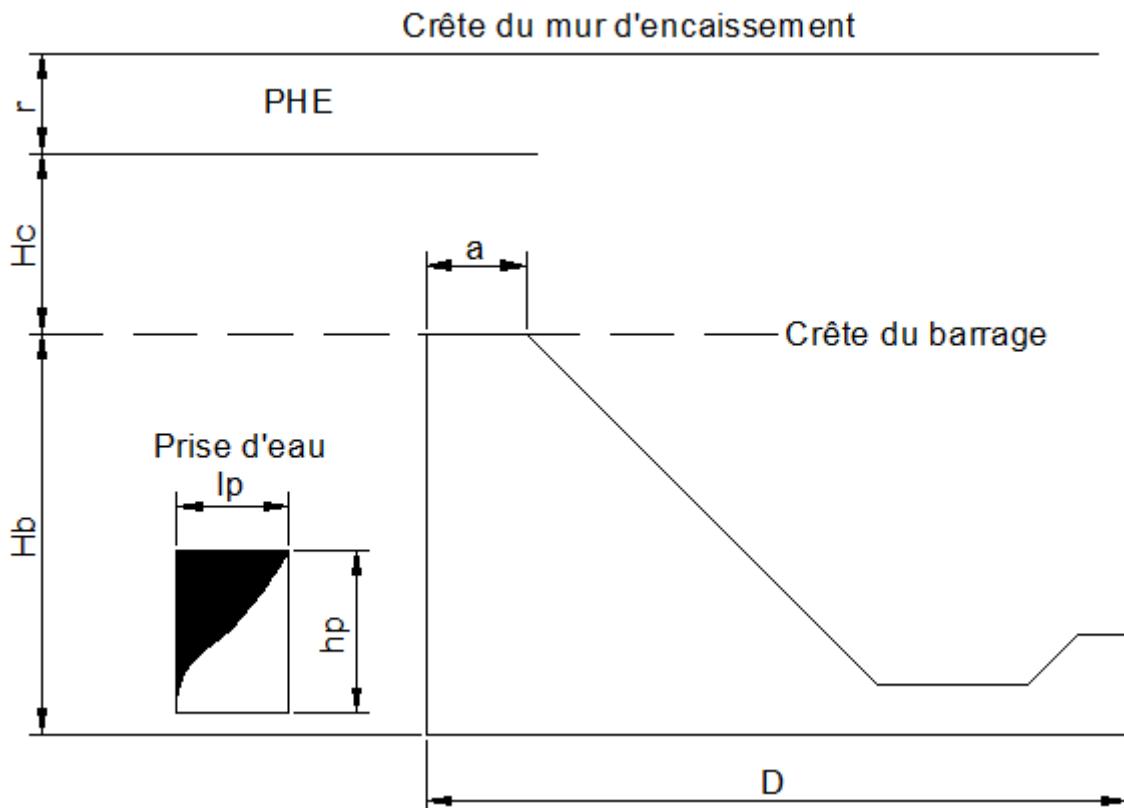


Figure 13 : Perspective de prise d'eau

II-2-2-2- Perte de charge sur la prise

La perte est causée par la contraction de l'orifice et la présence de la grille verticale sur la prise. Elle est donnée par :

$$h_{gr} = 2,4 * \left(\frac{e}{d}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{Q_{der}^2}{S_p^2 2g}\right) * \sin\varphi \quad (2.22)$$

Avec :
- φ est l'angle d'inclinaison des grilles,
- e est l'espacement des grilles [m],
- d est le diamètre de la grille [m],
- S_p est la section de la prise.

Remarque : Il faut prévoir le seuil de la prise d'eau supérieur à celui du barrage pour éviter le transport solide vers le canal et elle doit être équipée d'une grille métallique pour empêcher les corps flottants d'y pénétrer.

II-2-3- Canal d'améné

Le débit utile transite dans un canal de profil rectangulaire à ciel ouvert de la rivière jusqu'à la chambre de mise en charge. Le tracé tient compte de la stabilité des terrains et assure une pente convenable le long du canal.

Dans les canaux, la pente est telle que la vitesse n'est ni trop faible, ni trop forte. Dans la pratique pour les canaux revêtus, cette vitesse oscille entre 0,75 à 1,15m/s.

Pour trouver les dimensions du canal on utilise la relation de Manning Strickler telle que :

$$Q_{der} = K_M S_{ca} R_{Hca}^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

Avec : - Q_{der} est le débit dérivé [m^3/s],
 - i est la pente du canal [-],
 - S_{ca} est la section mouillée du canal [m^2],
 - R_{Hca} est le rayon hydraulique [m],
 - K_M est le coefficient de Strickler du canal selon sa paroi.

Hypothèse : On suppose que le canal est rectangulaire et il est revêtu en mortier de ciment.

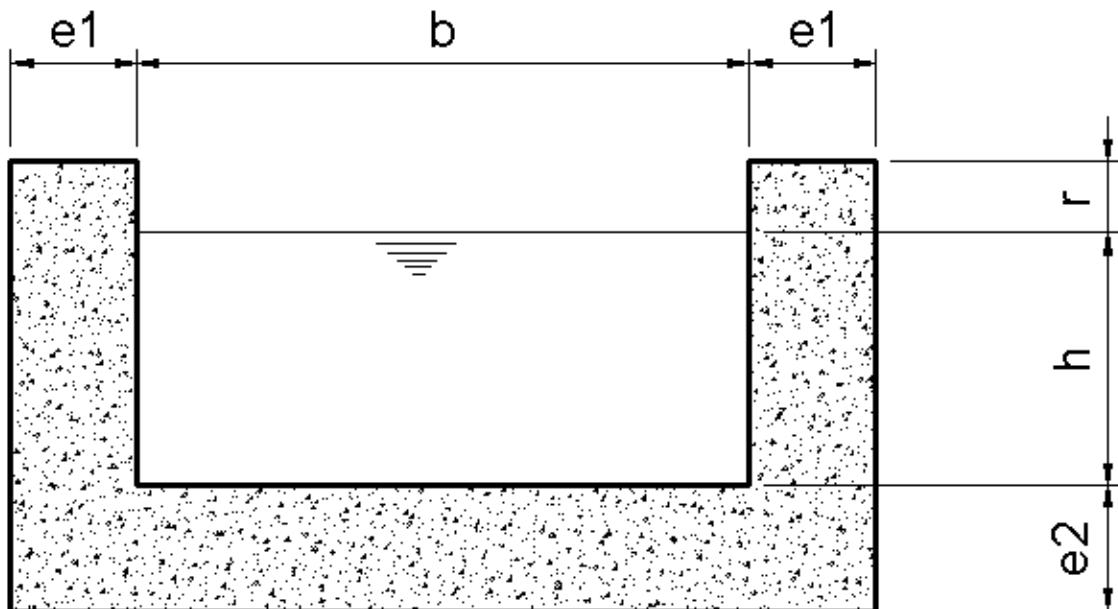


Figure 14 : Canal d'aménée

Avec : - r est la revanche égale à 0,1m,
 - La section mouillée S_{ca} est donnée par : $S_{ca} = b \cdot h$,
 - Le rayon hydraulique est : $R_{Hca} = \frac{bh}{b+2h}$.

II-2-4- Dessableur

La grille protège la turbine contre les corps charriés par la rivière, elle doit être nettoyée manuellement ou par un dégrilleur. Les particules fines et le sable qui ne peuvent pas être arrêtés par la grille sont déposés dans le dessableur. Ces trois éléments sont donc installés en amont de la conduite forcée.

Un dessableur avec un système de purge, assure le rôle d'une piége à sable et limon ainsi que leur évacuation.

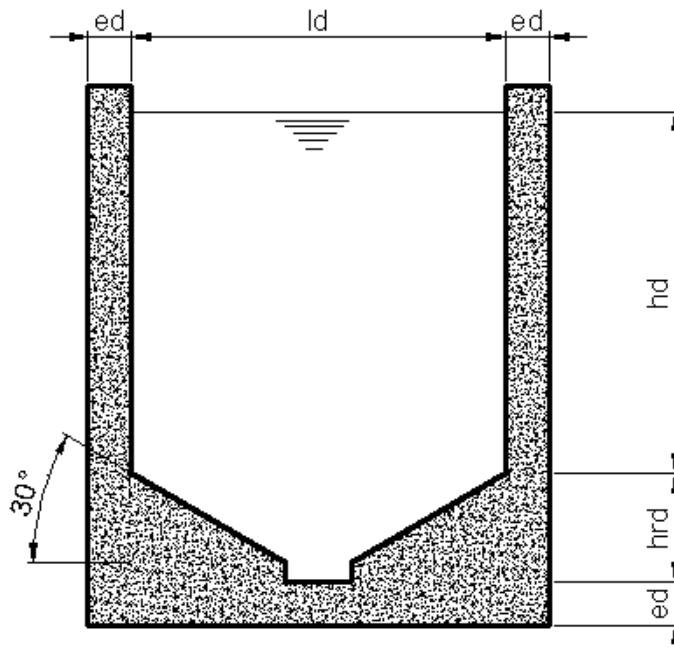


Figure 15 : Dessableur

La vitesse horizontale de l'eau dans le dessableur doit être assez faible pour que le petit grain ait le temps de tomber au fond, avant d'arriver à l'extrémité (sortie du déssableur). On a donc la relation suivante :

$$\frac{U_h}{U_s} = \frac{L_d}{h_d} \quad (2.24)$$

Où : - h_d : tirant d'eau dans le déssableur [m] ,

- U_h : vitesse horizontale ($0,2 < U_h < 0,3 \text{m/s}$) ,

- U_s : vitesse moyenne de sédimentation ,

- L_d : longueur du dessableur en [m].

Pour une largeur l_d du dessableur, le débit est donné par la relation :

$$Q_{der} = U_h h_d l_d \quad (2.25)$$

d'où :

$$l_d = \frac{Q_{der}}{U_h h_d} \quad [m] \quad (2.26)$$

Il en est de même pour L_d :

$$L_d = \frac{Q_{der}}{U_s l_d} \quad [m] \quad (2.27)$$

II-2-5- Chambre de mise en charge

Cet ouvrage devra remplir les conditions suivantes :

- la profondeur et que l'entrée de la conduite forcée doit être toujours au dessous du niveau du plan d'eau pour éviter l'entrée de l'air dans la conduite ;

- son volume doit permettre de faire face à une augmentation brutale des débits, lors d'une crue exceptionnelle, par exemple, correspondant à une variation instantanée de la charge des groupes ;

- la chambre est généralement équipée d'une grille fine pour empêcher l'entrée des corps flottants.

Le débit qu'on devrait dimensionner la chambre de mise en charge est le débit utile de l'aménagement :

$$Q_u = 0,9Q_{der} \quad (2.28)$$

Cette chambre en question, demande un volume d'eau appelé volume utile de la chambre qui peut être déterminé approximativement par la relation suivante :

$$V_u = 6,7Q_u \quad (2.29)$$

En tenant compte des autres volumes (volume mort, perdue et tranquillisation, ...), le volume de la chambre est minoré par la relation suivante :

$$V_{ch} = 2,5V_u \quad (2.30)$$

Le volume de la chambre est obtenu par la formule suivant :

$$V_{ch} = L_{ch}l_{ch}h_{ch} \quad (2.31)$$

Où : - L_{ch} et l_{ch} sont respectivement la longueur et la largeur de la chambre (A supposer),
- h_{ch} est la hauteur de la chambre de mise en charge.

II-2-6- Conduite forcée

La conduite forcée achemine l'eau sous pression depuis la chambre de mise en charge jusqu'à la turbine où l'énergie potentielle de l'eau est convertie en énergie cinétique faisant tourner la turbine. La conduite forcée est souvent le composant le plus cher du projet et il n'est pas rare qu'elle représente jusqu'à 40 p. 100 des coûts d'une installation à grande hauteur de chute. Il y a donc lieu d'en optimiser la conception afin d'en minimiser le coût. La sélection du type et de la dimension de la conduite dépend de plusieurs facteurs que nous examinons brièvement dans le présent paragraphe. Fondamentalement, il s'agit d'en arriver au meilleur compromis entre la perte de charge et les coûts d'immobilisations. Le calcul d'une conduite forcée est un calcul complexe qui fait intervenir des considérations mécaniques de résistance à l'égard des phénomènes transitoires et surtout économiques.

II-2-6-1- Longueur de la conduite

La longueur L de la conduite forcée est calculée selon l'expression :

$$L = 1,25[(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2]^{0,5} \quad (2.32)$$

Où : - X_1, X_2 sont les coordonnées horizontales, relevées sur la carte, des points haut et bas de l'aménagement [m],

- Y_1, Y_2 sont les coordonnées mesurées verticalement sur la carte [m],
- Z_1, Z_2 sont les cotes d'altitude [m].

Le coefficient 1,25 permet de tenir compte de manière simplifiée des aléas du cheminement réel de la conduite forcée.

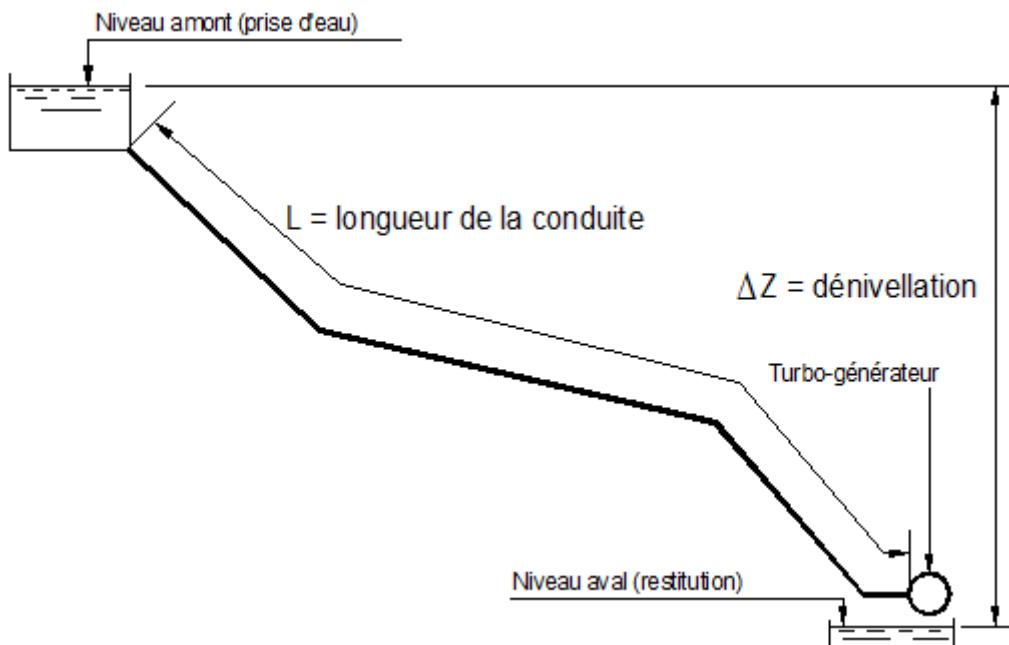


Figure 16 : Profil en long schématique d'un aménagement

II-2-6-2- Diamètre de la conduite

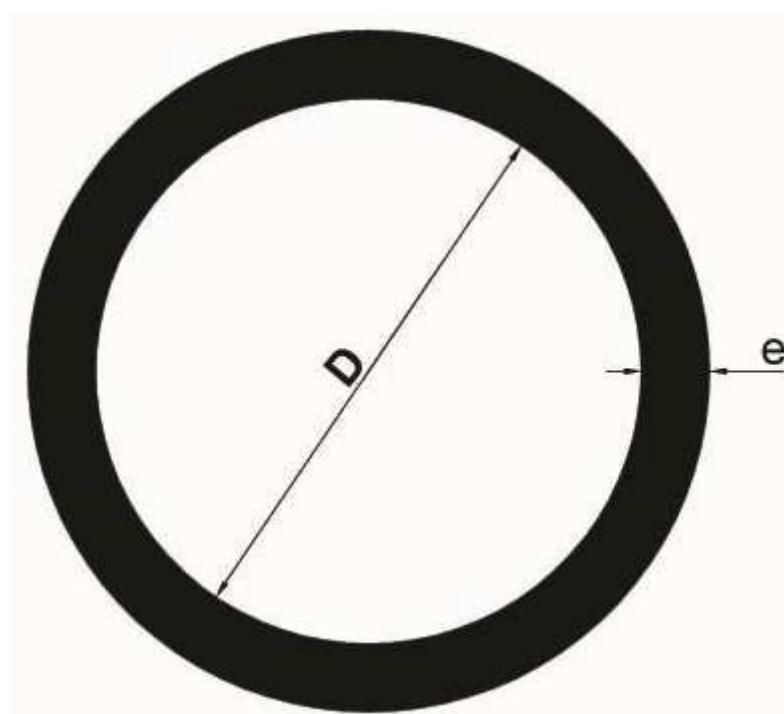


Figure 17 : Diamètre et épaisseur de la conduite forcée

D'après Manning, le diamètre de la conduite est estimé par la relation suivante :

$$D = 2,69 \left(\frac{n^2 Q_u^2 L}{H_b} \right)^{0,1875} \quad (2.33)$$

D : diamètre interne de la conduite [mm],

Q_u : Débit utile [l/s],

H_b : Hauteur de la chute brute,

n : Coefficient de rugosité de Manning.

II-2-6-3- Epaisseur de la conduite

L'épaisseur exigée pour une conduite forcée dépend du matériau, de sa résistance maximale à la traction et de sa limite élastique, de son diamètre et de sa pression d'exploitation.

Pour un écoulement permanent, le débit est supposé comme constant dans le temps. Dans ce cas, l'épaisseur est calculée de la façon suivante :

$$e_c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_f} \quad [m] \quad (2.34)$$

Pour la conduite en acier, $\sigma_f = 140 \text{ N/mm}^2$ et $e_c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_f \cdot k_f} + e_s$ où e_s est une épaisseur supplémentaire pour prendre en compte de la corrosion.

Pour la pratique, d'autres organisations recommandent l'épaisseur minimum $e_{c\min}$ tel que :

$$e_{c\min} = 2,5 \cdot D + 1,2 \quad (2.35)$$

II-2-6-4- Pertes de charges

Dans la complexité de mettre en équation le mouvement d'un écoulement turbulent, on a dû recourir plusieurs fois à l'expérimentation pour avoir des relations entre les pertes de charges et les caractéristiques de l'écoulement. Conformément aux types de résistances hydrauliques, on distingue :

- **Pertes de charge linéaires h_L**

$$h_L = \frac{8 \lambda L Q_u^2}{\pi^2 g D^5} \quad [m] \quad (2.36)$$

- D : Diamètre de la conduite [m],

- L : Longueur de la conduite [m],

- λ : Coefficient de perte de charge [-].

Le coefficient de perte de charge λ qui se détermine par calcul dépend de l'état des surfaces en contact avec l'eau et du nombre de Reynolds. D'après BLASIUS (Pour un tuyau lisse et $R_e < 10^5$).

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} \quad \text{Si } 3000 < R_e < 100\ 000 \quad (2.37)$$

- **Pertes de charges singulières h_s**

$$h_s = \xi \frac{V^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (2.38)$$

- V : vitesse à l'entrée de la singularité [m/s],
- ξ : Coefficient de singularité [-].

Le coefficient ξ est donné directement en fonction de l'angle de courbure selon la formule d'ABROMOVITCH :

$$\begin{aligned} \theta = 90^\circ & \quad \xi_0 = 0,051 + 0,19 \frac{D}{R} \\ \theta < 70^\circ & \quad \xi = 0,9 \xi_0 \sin \theta \\ \theta > 100^\circ & \quad \xi = \left(0,7 + 0,35 \frac{\theta}{30} \right) \xi_0 \end{aligned}$$

Où : - θ : angle de courbure [°],

- D : diamètre de la conduite [m],
- R : Rayon de courbure [m].

II-3- CHOIX DES EQUIPEMENT ELECTROMECANIQUE

Le dimensionnement des équipements de production dans un aménagement hydroélectrique est bien sûr un facteur clef de la réussite d'un projet.

La transformation de l'énergie hydraulique en puissance électrique s'effectue au niveau de la centrale. Le passage puissance hydraulique puissance mécanique se fait grâce à une turbine qui est mise à rotation par le flux de l'eau.

Il existe quatre types principaux de turbines : Pelton, Francis, Kaplan et Cross flow (Banki)

II-3-1- Classification des turbines

Les différents types de turbine sont classés en fonction d'un seul paramètre qui est la vitesse spécifique .Cette dernière peut se calculer à partir des données de bases comme la puissance, la chute nette et la vitesse de rotation.

II-3-2- Vitesse spécifique

La vitesse spécifique est la vitesse d'un élément tournant géométriquement semblable ayant un diamètre de 1cm pour une charge de 1m tel qu'il produise 1CV.

$$n_{QE} = \frac{N\sqrt{Q_{tr}}}{E_h^{\frac{3}{4}}} \quad (2.39)$$

Où : - N : vitesse de rotation de la turbine [tr/s],

- Q_{tr} : débit de tracé [m^3/s] qui est égale à $0,85Q_u$,

- $E_h = gH_n$: énergie hydraulique massique à disposition de la turbine [J/kg].

Plus la vitesse spécifique est très basse, plus la chute est haute. La vitesse spécifique est fonction de la vitesse de rotation de la roue (ou vitesse synchrone).

En générale, les constructeurs indiquent la vitesse spécifique de leurs turbines. Pour chaque type de turbine, c'est à partir des études statistiques de plusieurs installations réalisées qu'on a établi les relations suivantes:

Turbine	Pelton à un injecteur	Francis	Kaplan	Hélice
Relation	$n_{QE} = \frac{0,0859}{H_n^{0,243}}$ $H_n=50 \text{ à } 1300m$	$n_{QE} = \frac{1,924}{H_n^{0,512}}$ $H_n=9 \text{ à } 350m$	$n_{QE} = \frac{2,294}{H_n^{0,486}}$ $H_n=3 \text{ à } 60m$	$n_{QE} = \frac{2,716}{H_n^{0,5}}$ $H_n=3 \text{ à } 200m$

Tableau 3 : Relation entre n_{QE} et H_n

Remarque : Pour une turbine Pelton à n injecteurs, on a : $n_{QE} = \frac{0,0859}{H_n^{0,243}} n^{0,5}$.

Si la vitesse spécifique de la turbine est connue, la dimension principale de la turbine peut être évaluée. Toutefois, ces formules se consacrent uniquement aux calculs préliminaires. Les constructeurs seuls peuvent donner les dimensions réelles des turbines. D'après les formules précédentes, on parvient aux domaines des valeurs de vitesse spécifique suivantes :

Turbine	Pelton à n injecteurs	Francis	Kaplan	Banki
Valeurs de n_{QE}	$0,005*n^{1/2}$ à $0,025*n^{1/2}$	0,05 à 0,63	0,19 à 1,55	0,06 à 1,57

Tableau 4 : Intervalle des valeurs de n_{QE} pour les turbines

II-3-3- Conception préliminaire de turbine

II-3-3-1- Turbine Banki

Les paramètres essentiels qui caractérisent la turbine Banki sont :

- le diamètre extérieur D_1 et le diamètre intérieur D_2 de la roue,
- la largeur B ,

- le lieu de centre de courbure des aubes (R_c),
- le rayon intérieur R_i de l'aube,
- le diamètre de l'arbre,
- les angles relatifs d'entrée β_1 et β_3 ,
- les angles relatifs de sortie β_2 et β_4 ,
- l'angle d'entrée absolue α_1 (Il varie de 12° à 16°),
- l'arc d'alimentation δ (Il varie de 45° à 120°),
- le nombre d'aube (le choix courant est $Z = 20$ à 30).

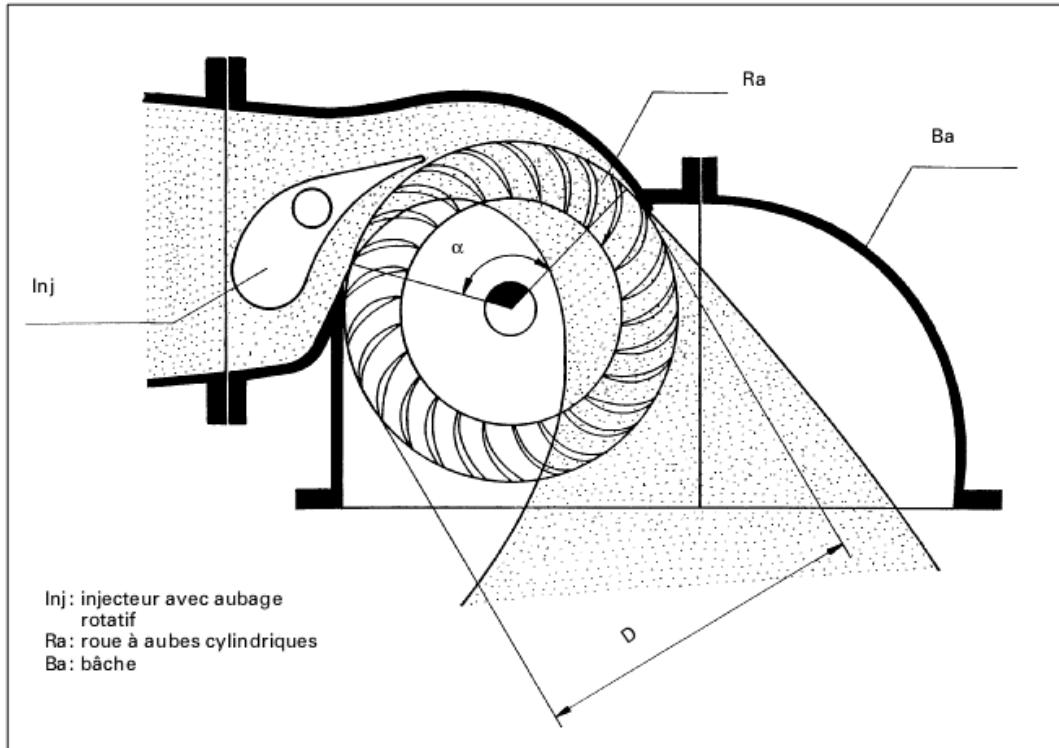


Figure 18 : Principaux éléments constitutifs de la turbine Banki

- **Vitesse de rotation**

La vitesse de rotation optimale, N , peut s'écrire à partir de:

$$U_1 = \omega \frac{D_1}{2} = \frac{2\pi N}{60} \frac{D_1}{2} \quad (2.40)$$

Avec :

$$U_1 = \frac{1}{2} C_1 \cos \alpha_1 \text{ et } C_1 = K_v \sqrt{2gH} \quad (2.41)$$

Il vient alors :

$$N = \frac{30}{\pi} \frac{\sqrt{2gH} K_v \cos \alpha_1}{D_1} \quad (2.42)$$

Où K_v est le coefficient de débit. Il est légèrement inférieur à l'unité.

- **Largeur du rotor**

La largeur du rotor, B , est conditionnée par le débit à faire passer. En appelant δ l'arc d'alimentation, il vient, pour la section de passage

$$S_1 = \frac{D_1}{2} \delta B \quad (2.43)$$

La vitesse méridienne d'entrée vaut $C_{m1} = C_1 \sin \alpha_1$ et le débit volumique

$$Q = S_1 C_{m1} = \frac{D_1}{2} \delta B K_v \sqrt{2gH} \sin \alpha_1 \quad (2.44)$$

D'où :

$$B = \frac{2Q}{\delta D_1 K_v \sqrt{2gH} \sin \alpha_1} \quad (2.45)$$

- **Diamètre intérieur de la roue**

Le diamètre intérieur de la roue D_2 est choisi aussi proche que possible de D_1 afin de limiter les pertes de charge et de laisser au fluide suffisamment de place pour qu'il puisse attaquer convenablement les aubes du second passage.

$$D_2 = D_1 \sqrt{\frac{2 \sin \alpha_1}{1 + \sin \alpha_1}} \quad (2.46)$$

- **Angle α au centre de l'aubage**

Les aubages peuvent être découpés dans des tuyaux de commerce. Afin de calculer la longueur à acquérir, il y a lieu de connaître l'angle au centre de l'aubage α . Ce dernier est calculé par la formule suivante :

$$\alpha = 2 \arctan \left[\frac{\cos \beta_1}{\frac{D_2}{D_1} + \sin \beta_1} \right] \quad (2.47)$$

- Angle relatif à l'entrée β_1

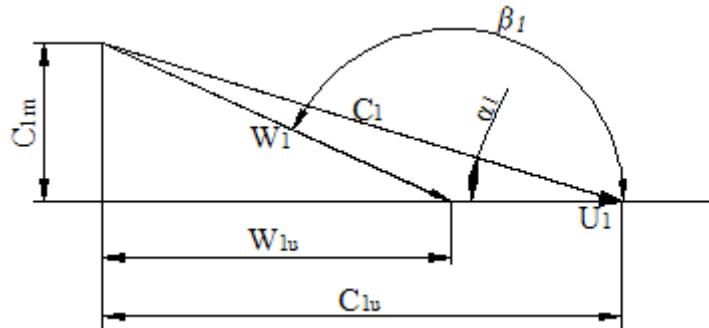


Figure 19 : Triangle des vitesses

En considérant le triangle des vitesses à l'entrée au régime optimal, nous avons :

D'une part : $C_1 \sin \alpha_1 = W_1 \sin \beta_1$

D'autre part : $C_1 \cos \alpha_1 = 2W_1 \cos \beta_1$

En divisant membre à membre : $2 \tan \alpha_1 = \tan \beta_1$

Finalement : $\beta_1 = \arctan(2 \tan \alpha_1)$

- Géométrie et position d'une aube du rotor

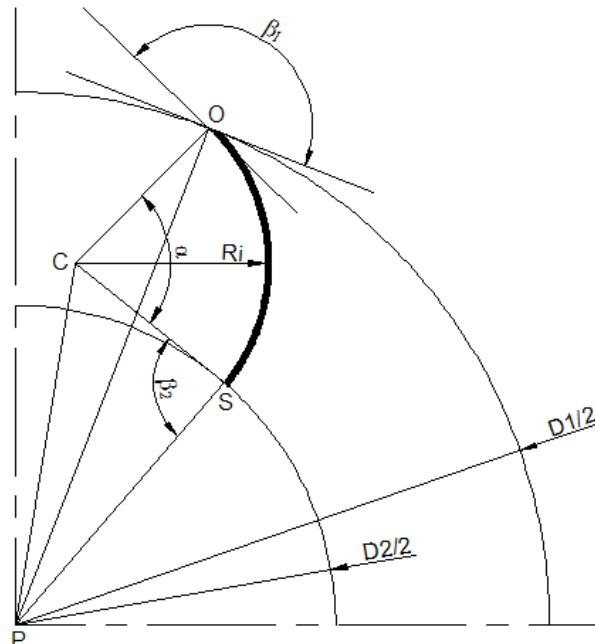


Figure 20 : Position d'une aube

Dans le triangle CSP : $|CP|^2 = \left[\frac{D_2}{2} \right]^2 + R_i^2 - D_2 R_i \cos(\pi - \beta_2)$ (2.48)

Dans le triangle POC : $|CP|^2 = \left[\frac{D_1}{2} \right]^2 + R_i^2 - D_1 R_i \cos(\pi - \beta_1)$ (2.49)

$$Et\ R_i = \frac{D_1^2 - D_2^2}{4(D_1 \cos \beta_1 - D_2 \cos \beta_2)}$$

Il reste à fixer la position du centre de cet arc :

$$CP = R_c = \sqrt{\frac{D_2^2}{4} + R_i^2 - D_2 R_i \cos(\pi - \beta_2)}$$

II-3-3-2- Turbine Pelton

Pour déterminer les diamètres de la turbine et si on connaît la vitesse de rotation de la roue, on peut utiliser la relation suivante pour calculer le diamètre D_1 du cercle d'injection, la largeur B_2 de l'auget et le diamètre D_e de la tuyère de l'injecteur :

$$D_1 = \frac{0,6 (H_n)^{\frac{1}{2}}}{N} \quad (2.52)$$

$$B_2 = 1,178 \sqrt{\frac{Q}{n_{jet} \sqrt{gH_n}}} \quad (2.53)$$

$$D_e = 1,68 \sqrt{\frac{Q}{n_{jet} \sqrt{gH_n}}} \quad (2.54)$$

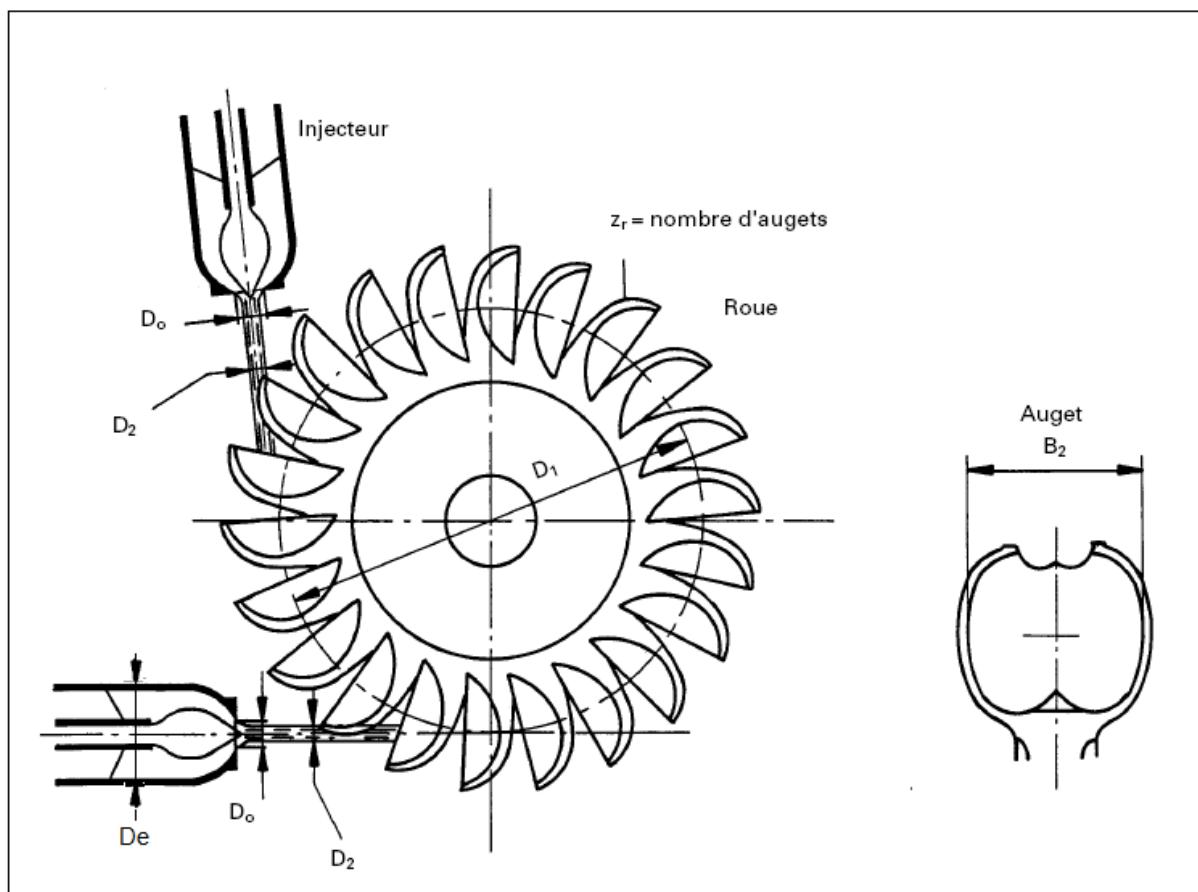


Figure 21 : Dimensions principales de la turbine Pelton

En général, $\frac{D_1}{B_2} > 2,7$, mais si ce n'est pas le cas, on prend une autre vitesse de rotation plus basse ou bien on augmente le nombre d'injecteurs.

Le diamètre du jet est obtenu par la relation suivante :

$$D_2 = 0,545 \frac{\sqrt{Q_1}}{\sqrt[4]{H_n}} \quad (2.55)$$

Où :- Q_1 est le débit par injecteur

II-3-3-3- Turbine Francis

La turbine Francis couvre une grande quantité de vitesse spécifique. Elle correspond à haute et basse chute.

L'analyse de plus de centaine de turbines permet de déterminer les dimensions d'une turbine. Il est donné par les relations suivantes :

$$D_3 = 84,5 (0,31 + 2,488 \cdot n_{QE}) \frac{(H_n)^{\frac{1}{2}}}{60 \cdot N} \quad [m] \quad (2.56)$$

$$D_2 = \frac{D_3}{0,96 + 0,3781 \cdot n_{QE}} \quad [m] \quad (2.57)$$

$$D_1 = \left(0,4 + \frac{0,095}{n_{QE}} \right) D_3 \quad [m] \quad (2.58)$$

D_2 est calculer par cette formule si $n_{QE} > 0,164$. Pour $n_{QE} < 0,164$, on prend $D_1 = D_2$.

Avec : $n_{QE} = \frac{1,924}{H_n^{0,512}}$

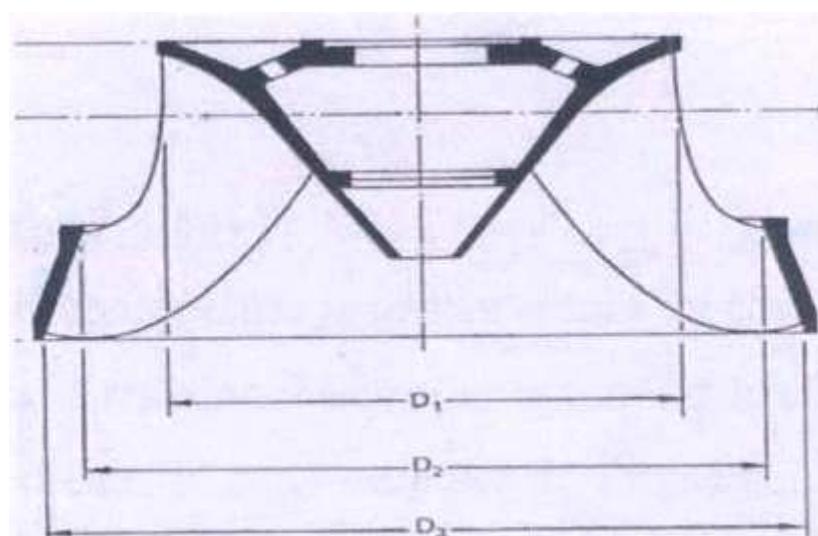


Figure 22 : Diamètres caractéristiques de la turbine Francis

II-3-3-4- Turbine Kaplan

Les turbines Kaplan ont de plus grande vitesse spécifiques par rapport à celle de Pelton et Francis.

Le diamètre externe de la roue est donné par :

$$D_e = 84,5 \left(0,79 + 1,602 \cdot n_{QE} \right) \frac{(H_n)^{\frac{1}{2}}}{60 \cdot N} \quad [m] \quad (2.59)$$

Le diamètre du moyeu de la roue D_i est :

$$D_i = \left(0,25 + \frac{0,095}{n_{QE}} \right) D_e \quad [m] \quad (2.60)$$

Avec : $n_{QE} = \frac{2,294}{H_n^{0,486}}$

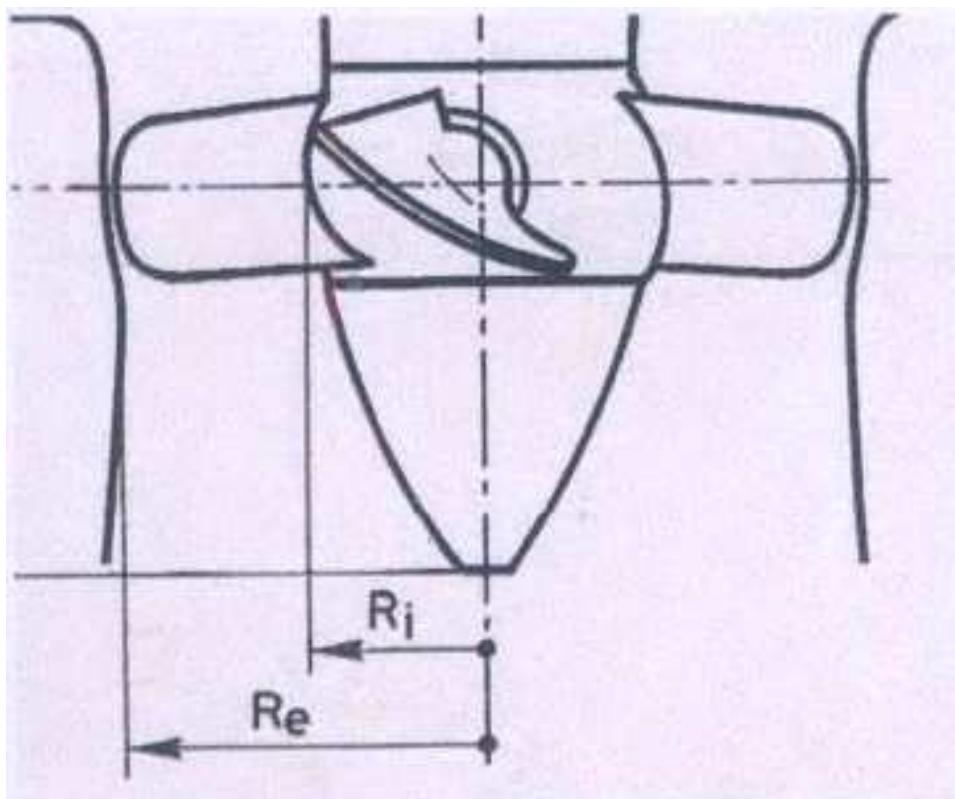


Figure 23 : Dimension du pâle

II-3-4- Générateur

Dans la petite centrale hydraulique, on utilise directement de générateur standard couplé à la turbine. Ces derniers tournent à une vitesse synchrone.

Nombre de pôles	Fréquence		Nombre de pôles	Fréquence	
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	277
14	428	540	28	214	257

Tableau 5 : Vitesse de rotation synchrone

Chapitre III- PROGRAMME DE SIMULATION ET APPLICATIONS

L'étude de l'aménagement d'un bassin versant et la détermination des paramètres de la microcentrale correspondante dépend de plusieurs paramètres, le type d'aménagements voulu, le type de turbine à utiliser et le lieu d'implantation de l'aménagement. D'une façon générale, l'étude présente une partie spécifique et une partie standard à tous les cas, mais n'empêche que la procédure est toujours assez longue. Or, dans l'exercice de sa fonction, un énergéticien peut se trouver devant un fait où une réponse rapide est impérative pour la décision à prendre.

Dans ce chapitre, nous présentons le programme en VBA de simulation sous forme d'un outil composé d'un classeur de feuilles de calcul Excel. Notre conception permet de dimensionner un aménagement hydroélectrique. De plus, nous faisons des applications à quelques villages de Madagascar (Site d'Anjezika et site de Tolongoina).

III-1- PROGRAMME ET CALCUL SUR EXCEL

Les formules théoriques développées ci-dessus ont été programmées afin de pouvoir obtenir automatiquement les données nécessaires à l'étude d'un aménagement hydroélectrique.

III-1-1- Données nécessaires et dimensions principales à déterminer

III-1-1-1- Pour l'étude du bassin versant

- Situation géographique

Elles regroupent les coordonnées du sites et du village (DT) : Longitude, latitude et altitude.

- Caractéristiques du bassin versant
- ✓ Caractéristiques géométriques

Données nécessaires (DSIG) : Aire et périmètre du bassin versant.

Dimensions et paramètres à déterminer : Indice de compacité, longueur et largeur du rectangle équivalent.

- ✓ Caractéristiques topographiques

Répartition hypsométrique : Superficie et distance entre les courbes de niveau (DT et DSIG), pourcentage du total et pourcentage au-dessus de la limite inférieure (A déterminer).

Altitudes caractéristiques : Altitude plus fréquente, maximale et minimale (DSIG et DT) ; altitude moyenne et médiane, pente moyenne et indice de pente (A déterminer).

- Caractéristiques du réseau hydrographique : Numéro d'ordre, longueur du bassin versant et longueur du cours d'eau (DSIG) ; classification de Shum et pente moyenne d'un cours d'eau (A déterminer).
- Degré de développement du réseau : Longueur totale et nombre de cours d'eau (DSIG) ; densité de drainage et hydrographique (A déterminer).
- Caractéristiques agro-pédo-géologique

Couverture du sol (DT et DSM) : Couverture végétale (surface des forêts) et coefficient de ruissèlement (Hauteur d'eau ruisselée et hauteur d'eau précipitée).

III-1-1-2- Pour l'évaluation du potentiel hydraulique

- Débits caractéristiques

Débit disponible : Distance de deux sections transversales, temps moyen de parcours du flotteur et surface moyenne des sections (DT).

Débit d'étiage : Surface minimale mouillée et périmètre minimal mouillé (DT).

Débit de crue : Pluviométrie maximale dans la station (DSM), surface maximale mouillée et périmètre maximal mouillé (DT).

Dimensions et paramètres à déterminer : Débit turbiné, débit d'équipement, débit de crue décennale.

➤ **Mesure in situ et puissance estimée**

Donnée nécessaire (DT) : Hauteur de la chute brute, débit,...

Dimensions et paramètres à déterminer : Hauteur de la chute nette, puissance hydraulique et puissance électrique.

III-1-1-3- Pour le dimensionnement des ouvrages

➤ **Barrage**

Données nécessaires (DT) : Largeur du barrage, débit de crue,...

Dimensions et paramètres à déterminer : Hauteur du barrage, hauteur de la lame d'eau eau dessus du crête du barrage, somme des forces horizontales et verticales et moment de renversement et de stabilité.

➤ **Mur d'encaissement**

Données nécessaires : Hauteur du barrage, hauteur de la lame d'eau,...

Dimensions et paramètres à déterminer : Hauteur du mur d'encaissement, largeur de la grande base et étude de stabilité.

➤ **Ouvrage d'amené**

Données nécessaires : Hauteur du barrage, hauteur de la lame d'eau, débit,...

Dimensions et paramètres à déterminer : Dimension de la prise d'eau, du canal d'amené, du déssableur et de la chambre de mise en charge.

➤ **Conduite forcée**

Données nécessaires : Débit d'équipement, matériau de la conduite, longueur de la conduite (DT),...

Dimensions et paramètres à déterminer : Diamètre et épaisseur de la conduite, perte de charge et temps de fermeture de la vanne de garde.

III-1-1-4- Pour le dimensionnement des équipements électromécaniques

Données nécessaires : Débit d'équipement, hauteur de la chute nette, vitesse de rotation de la turbine,...

Dimensions et paramètres à déterminer : Vitesse spécifique, choix de la turbine et dimensions caractéristiques de la turbine et de la génératrice.

III-1-2- Mise en œuvre de l'outil

Le principe de conception de l'outil pour chacune des étapes de dimensionnement est décrit par l'organigramme suivant :

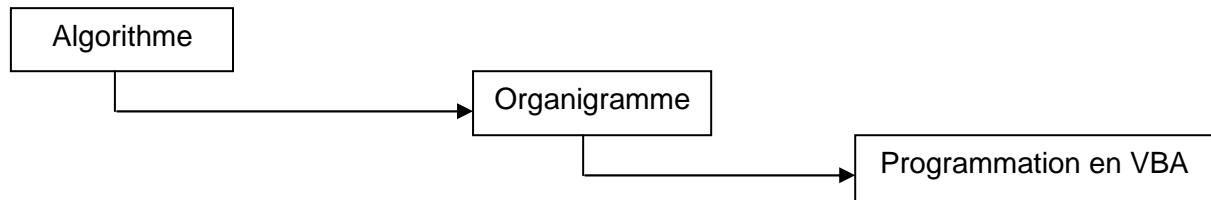


Figure 24 : Principe de création

III-1-3- Organigramme général des calculs

III-1-3-1- Organigramme pour l'étude du bassin versant et l'évaluation du potentiel

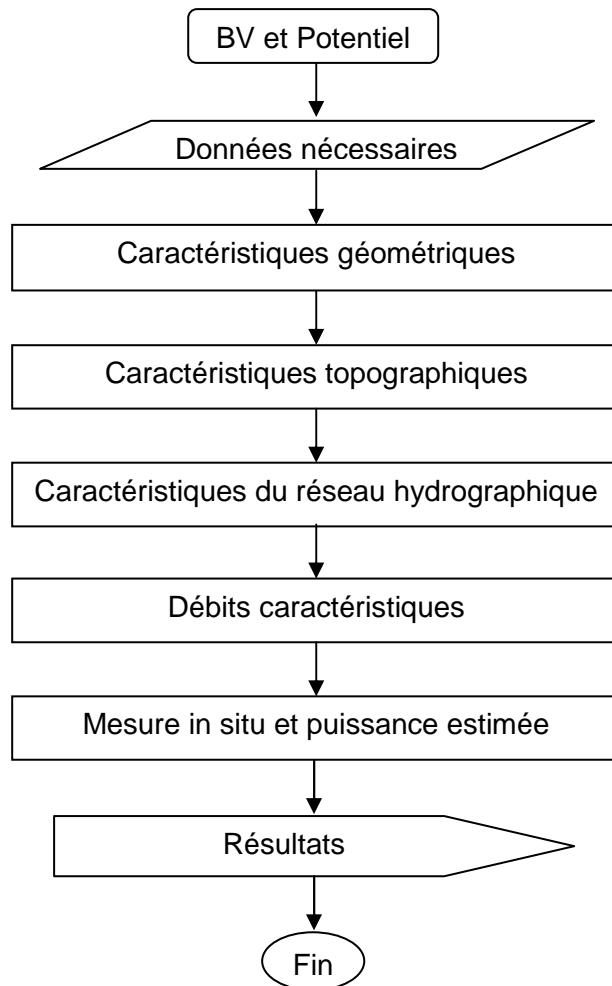
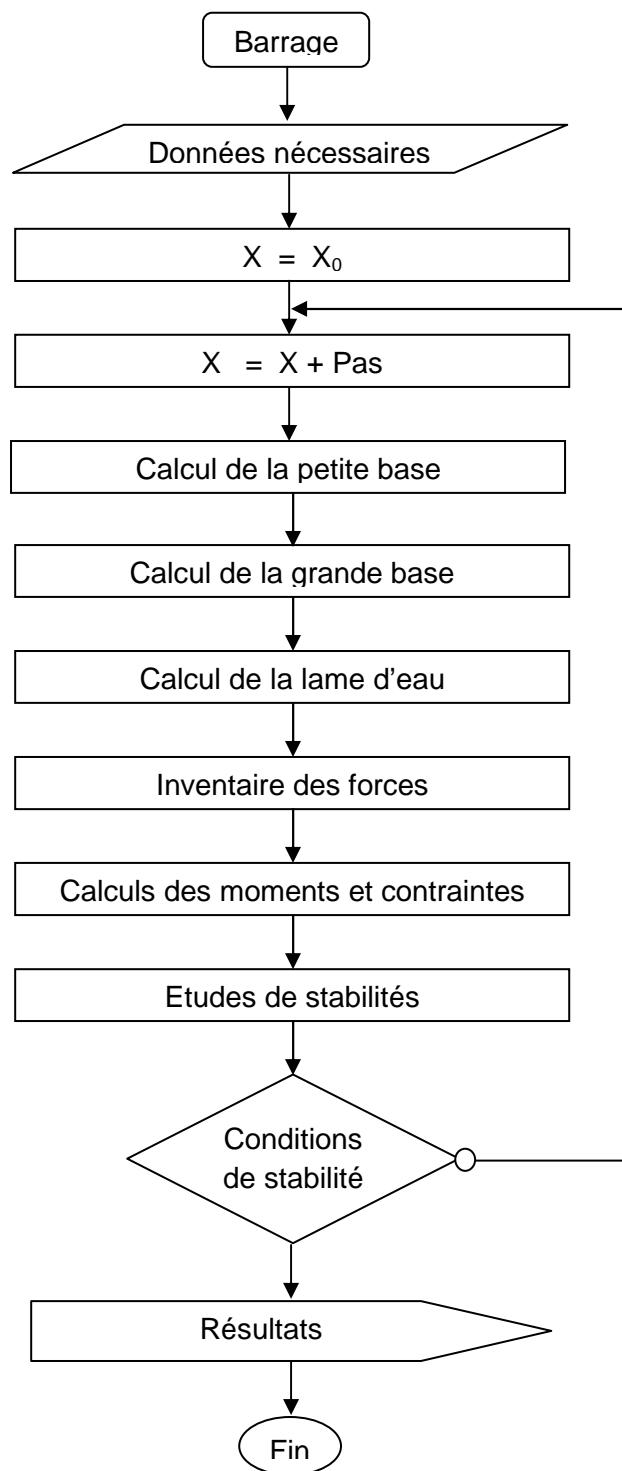


Figure 25 : Etude du bassin versant et évaluation du potentiel

III-1-3-2- Organigramme pour le dimensionnement des ouvrages➤ **Barrage****Figure 26 : Organigramme pour le barrage**

➤ **Mur d'encaissement**

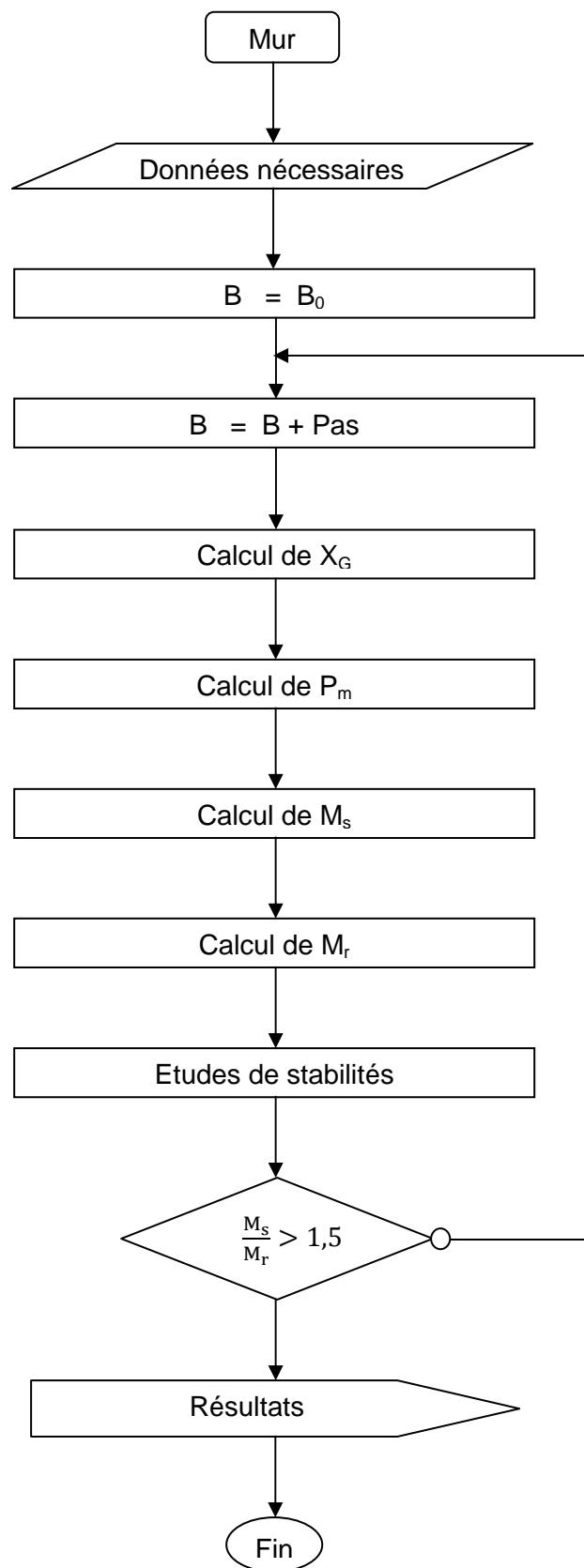


Figure 27 : *Organigramme pour le mur d'encaissement*

➤ **Canal d'améné**

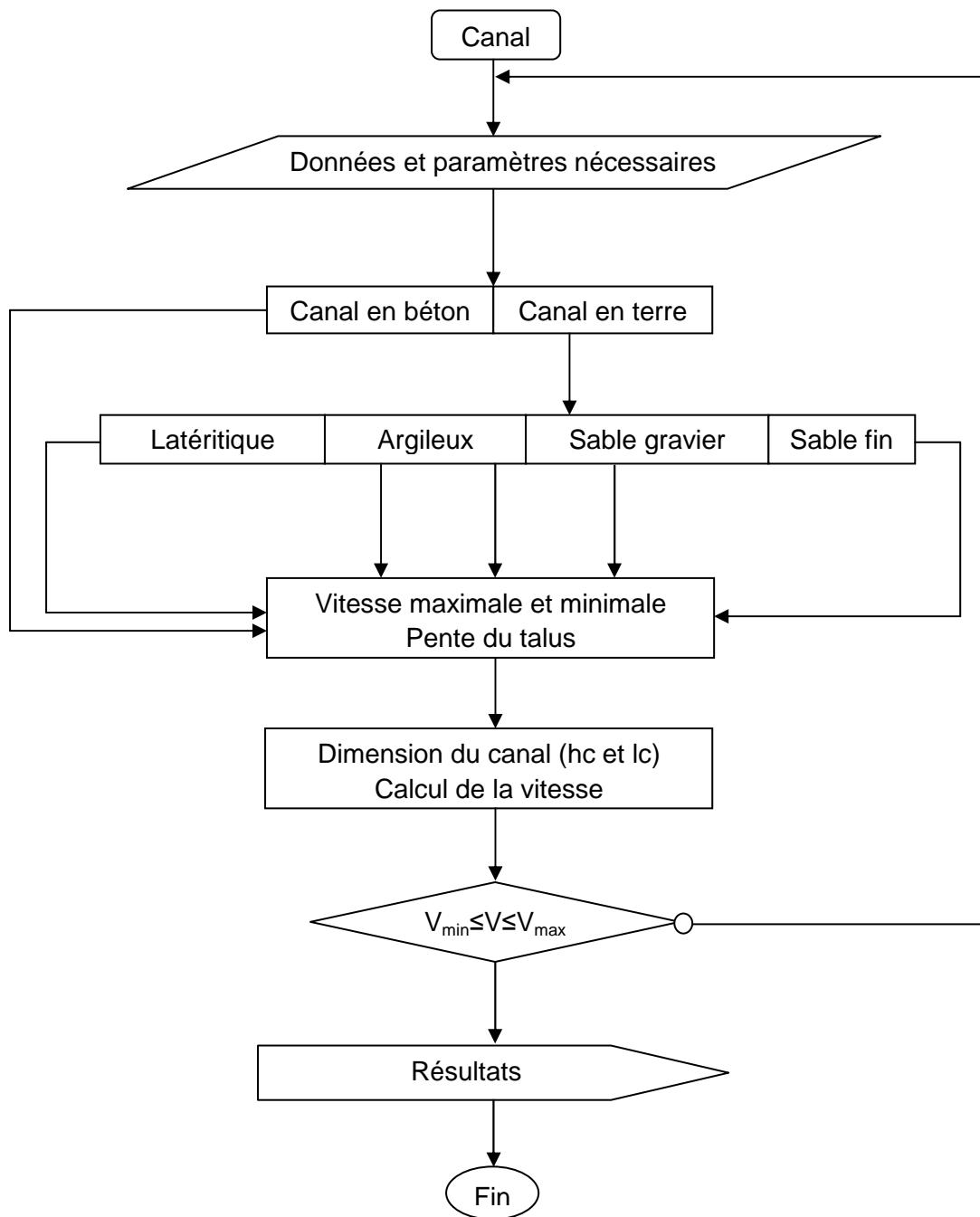


Figure 28 : Organigramme pour le dimensionnement du canal d'améné

III-1-3-3- Organigramme de dimensionnement des équipements électromécaniques

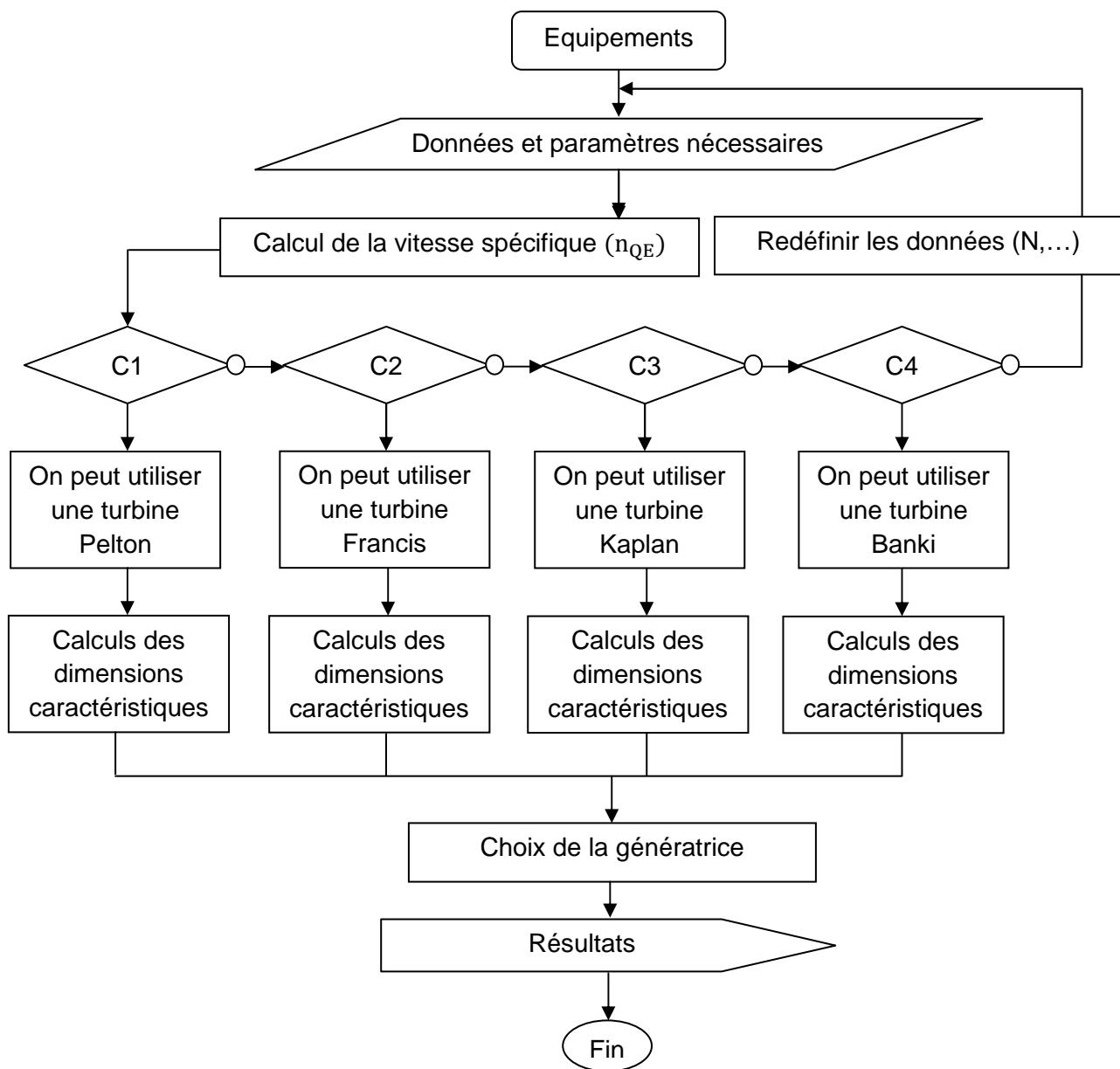


Figure 29 : Organigramme pour les équipements électromécaniques

C1 : $0,005 < n_{QE} < 0,047$; C2 : $0,05 < n_{QE} < 0,63$; C3 : $0,19 < n_{QE} < 1,55$ et C4 : $0,06 < n_{QE} < 1,57$.

III-1-4- Présentation et manipulation de l'outil

III-1-4-1- Présentation

L'outil est un classeur de feuilles de calcul Excel qui contient quatre (4) feuilles nommées respectivement : « Données et paramètres », « Etude du BV et EP », « Perspective de l'aménagement » et « Equipements électromécaniques ».

Entrer les données						
NOM DU SITE:		AMBOASARY				
NOM DE LA RIVIERE:		ANDROMBA				
SITUATION GEOGRAPHIQUE						
Désignation		Unité	Quantité			
Coordonnées du sites:						
Longitude		[°]	47°53'32" E			
Latitude		[°]	19°09'15" S			
Altitude		[m]	1474			
Coordonnées du village:						
Longitude		[°]	15°13'13"			
Latitude		[°]	15°13'13"			
Altitude		[m]	1325			
CARACTERISTIQUE DU BASSIN VERSANT						
Désignation		Unité	Quantité			
Caractéristiques géométriques:						
Aire (A)		[km ²]	138,92			
Périmètre (P)		[km]	58,51			
Caractéristiques topographiques:						
Répartition hypsométrique						
Elevation courbe de niveau	Courbe de niveau	Superficie entre les courbes [km ²]	Distance entre 2 CN [km]			
1474 - 1500	1474	13,46	6,300			
1500 - 1600	1500	34,09	4,800			
1600 - 1700	1600	29,12	4,350			
1700 - 1800	1700	12,16	1,120			
1800 - 1900	1800	11,81	2,600			
1900 - 2000	1900	10,94	1,100			
2000 - 2100	2000	6,37	0,290			

Figure 30 : Présentation de l'outil Excel

III-1-4-2- Manipulation

Démarrer le classeur de feuilles de calcul Excel « Etude de l'aménagement d'un bassin versant et détermination des paramètres de la microcentrale correspondante ». Cliquer sur la feuille « Données et paramètres » ; puis, saisir dans les cases en jaunes les données et les paramètres nécessaires pour le dimensionnement et cliquer sur les autres feuilles pour avoir les résultats.

III-2- APPLICATIONS

III-2-1- Cas d'Ambaravarana

III-2-1-1- Localisation du site d'Ambaravarana

Ambaravarana se trouve dans la Commune rurale de MERIKANJAKA, District de Manjakandriana, Région d'Analamanga.

La chute d'Ambaravarana se trouve à 80 Km de la ville d'Antananarivo en suivant une route secondaire qui mène vers Tsiaozompaniry. Elle est située à 5 km au nord de l'extrémité nord du bassin de Tsiaozompaniry.

La distance entre la centrale d'Ambaravarana et le chef lieu de la commune est de 6,2km et avec le village d'Ambohidraisolo est de 2,9 km.

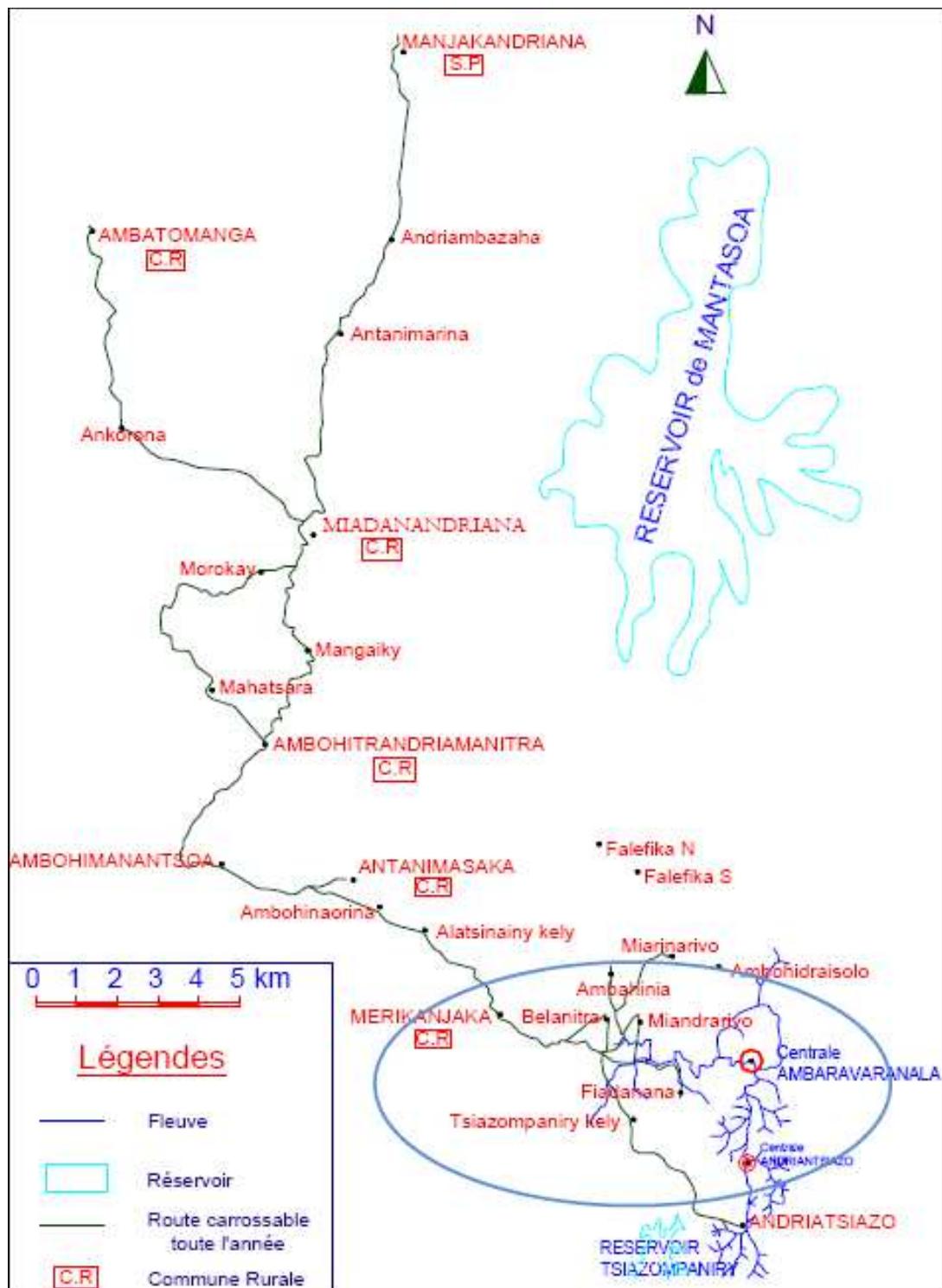


Figure 31 : Localisation du site d'Ambaravarana

III-2-1-2- Données et paramètres pour le dimensionnement

Entrer les données			
NOM DU SITE:	AMBARAVARANALA		
NOM DE LA RIVIERE:	AMBODIRANO		
SITUATION GEOGRAPHIQUE			
Désignation	Unité	Quantité	
Coordonnées du sites:			
Longitude	[°]	47°53'32" E	
Latitude	[°]	19°09'15" S	
Altitude	[m]	1417	
Coordonnées du village:			
Longitude	[°]	47°50'13"	
Latitude	[°]	19°03'13"	
Altitude	[m]	1425	
CARACTERISTIQUE DU BASSIN VERSANT			
Désignation	Unité	Quantité	
Caractéristiques géométriques:			
Aire (A)	[km ²]	43,68	
Périmètre (P)	[km]	34,50	
Caractéristiques topographiques:			
Répartition hypsométrique			
Elévation courbe de niveau	Courbe de niveau	Superficie entre les courbes [km ²]	Distance entre 2 CN [km]
1395 - 1430	1395	6,770	0,630
1430 - 1465	1430	9,129	0,480
1465 - 1500	1465	11,007	0,435
1500 - 1535	1500	6,858	0,112
1535 - 1570	1535	5,067	0,260
1570 - 1605	1570	2,970	0,110
1605 - 1613	1605	1,879	0,290
Altitudes caractéristiques			
Désignation	Unité	Quantité	
Altitude plus fréquente	[m]	1465	
Altitude maximale	[m]	1613	
Altitude minimale	[m]	1395	
Caractéristiques du réseau hydrographique:			
Désignation	Unité	Quantité	
Numéro d'ordre	[-]	5	
Longueur du bassin versant (LCA)	[km]	7,08	
Longueur du cours d'eau (L)	[km]	14,22	
Degré de développement du réseau			
Longueur totale de cours d'eau	[km]	18,58	
Nombre de cours d'eau	[-]	9	

EVALUATION DU POTENTIEL HYDRAULIQUE		
Débits caractéristiques		
Désignation	Unité	Quantité
Débit d'étiage	[s]	0,340
Débit de crue	[m ²]	104,8
Mesure in situ et puissance estimée		
Hauteur de la chute brute	[m]	28
Puissance installée	[kW]	40
PERPECTIVE DE L'AMENAGEMENT		
Barrage		
Désignation	Unité	Quantité
Largeur du barrage	[m]	17
Canal d'amené		
Longueur	[m]	150
Revanche r	[m]	0,10
Coefficient de Strickler	[-]	Bétonné
Déssableur		
Vitesse horizontale U_h	[m/s]	0,3
Vitesse moyenne de sédimentation U_s	[m/s]	0,1
Conduite forcée		
Nombre de conduites	[-]	2
Matériau de la conduite forcée	[-]	Acier soudé
Longueur de la conduite forcée	[m]	24
EQUIPEMENTS ELECTROMECANIQUES		
Turbine		
Désignation	Unité	Quantité
Vitesse de rotation	[tr/mn]	650,00
Turbine Pelton		
Nombre d'injecteurs	[-]	2
Génératrice		
Nombre de pôles	[-]	4
Fréquence	[Hz]	50

Tableau 6 : *Données et paramètres du site d'Ambaravarana*

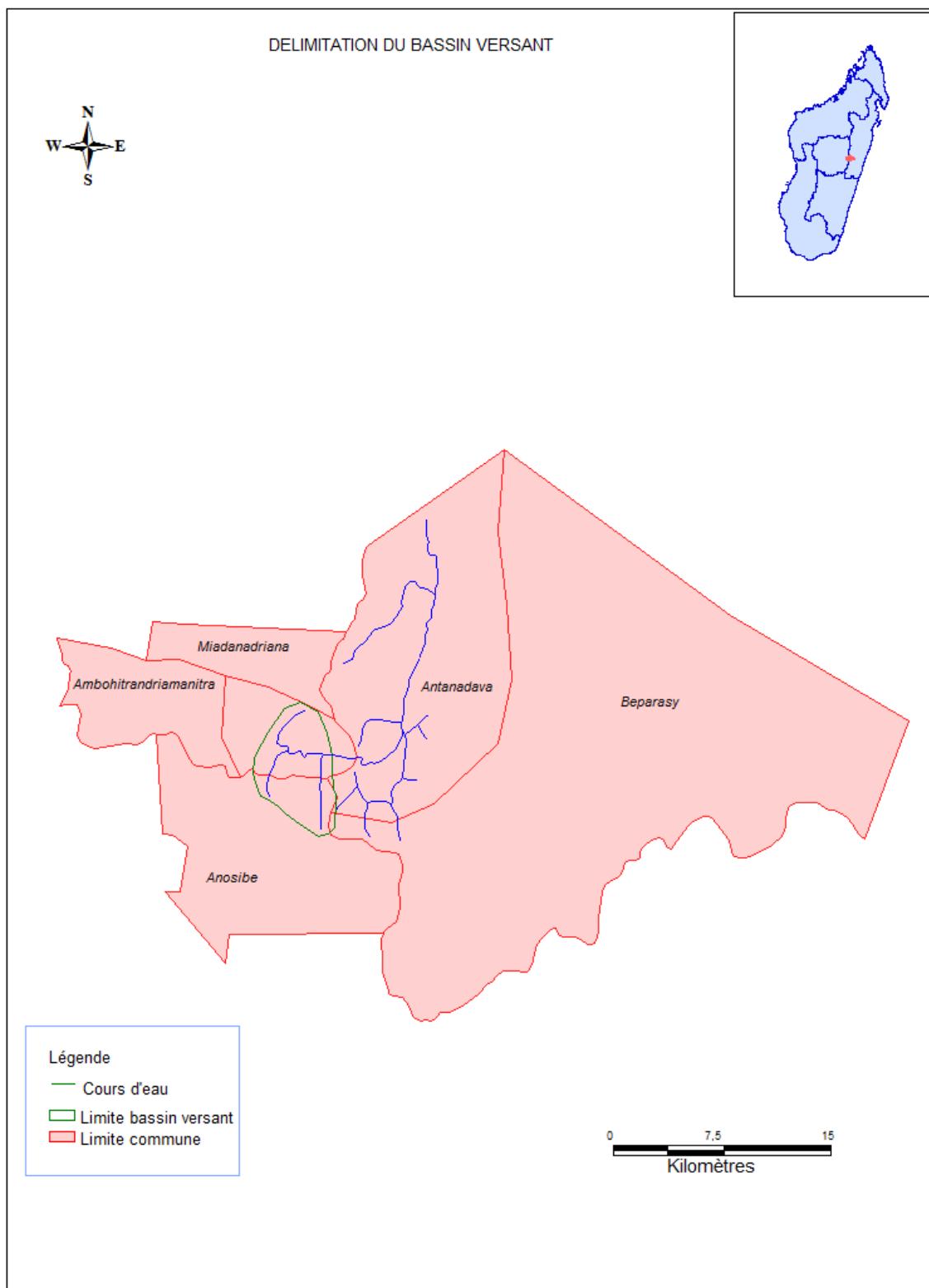


Figure 32 : Délimite du bassin versant de la rivière d'Ambodirano

III-2-1-3- Résultat pour le site d'Ambaravarana

➤ Etude du bassin versant et évaluation du potentiel

CARACTERISTIQUE DU BASSIN VERSANT			
Désignation	Unité	Quantité	
Caractéristiques géométriques:			
Aire (A)	[km ²]	43,68	
Périmètre (P)	[km]	34,5	
Indice de compacité (Kc)	[-]	1,46	
Longueur du rectangle équivalent	[km]	14,17	
Largeur du rectangle équivalent	[km]	3,08	
Caractéristiques topographiques:			
<i>Répartition hypsométrique</i>			
Courbe de niveau [m]	P1	P2	Distance di [km]
1395	15,50	100	0,63
1430	20,90	84,50	1,11
1465	25,20	63,60	1,55
1500	15,70	38,40	1,66
1535	11,60	22,70	1,92
1570	6,80	11,10	2,03
1605	4,30	4,30	2,32
Altitudes caractéristiques			
Désignation	Unité	Quantité	
Altitude moyenne	[m]	1456	
Altitude plus fréquente	[m]	1465	
Altitude maximale	[m]	1613	
Altitude minimale	[m]	1395	
Altitude médiane	[m]	1504	
Pentes			
Pente moyenne	[m/km ou %]	14,619	
Indice de pente	[%]	3,89	
Caractéristiques du réseau hydrographique			
<i>Classification de SCHUMM</i>			
Le bassin versant est d'ordre	5		
<i>Pente caractéristique du réseau</i>			
Désignation	Unité	Quantité	
Pente moyenne d'un cours d'eau	[‰]	15,331	
<i>Degré de développement du réseau</i>			
Densité de drainage	[km/km ²]	0,425	
Densité hydrographique	[km ⁻²]	0,206	
Temps de concentration	[h]	7,61	
EVALUATION DU POTENTIEL HYDRAULIQUE			
Débits caractéristiques			
Désignation	Unité	Quantité	
Débit disponible	[m ³ /s]	0,374	
Débit d'étiage	[m ³ /s]	0,340	

Débit turbiné	[m ³ /s]	0,201
Débit d'équipement	[m ³ /s]	0,181
Débit de crue maximale	[m ³ /s]	104,800
Débit de crue décennale	[m ³ /s]	88,814
Mesure in situ et puissance estimée		
Hauteur de la chute nette	[m]	25,200
Puissance hydraulique	[kW]	44,767
Puissance électrique	[kW]	39,977
Conclusion: Le débit d'étiage est supérieur aux débits voulus. Alors, on garde la puissance installée à		
	40	kW

Tableau 7 : Etude du bassin versant et évaluation du potentiel pour le site d'Ambaravarana

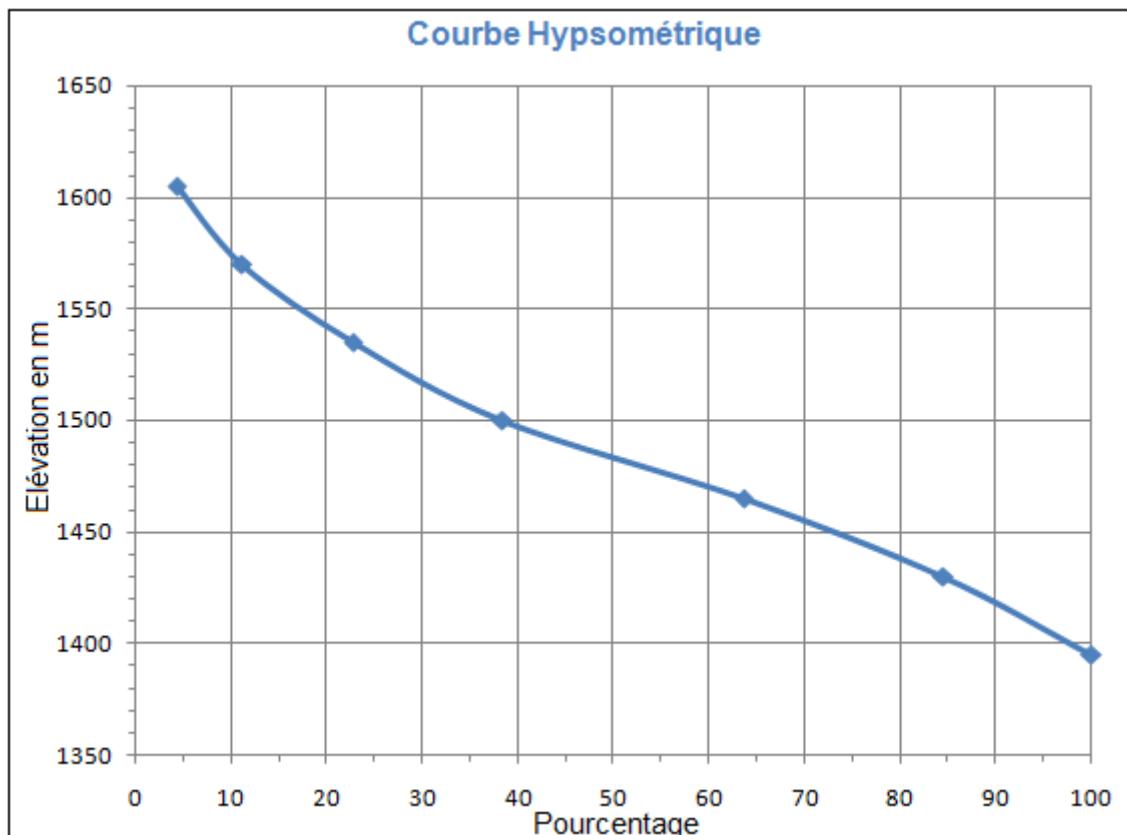


Figure 33 : Courbe hypsométrique d'Ambaravarana

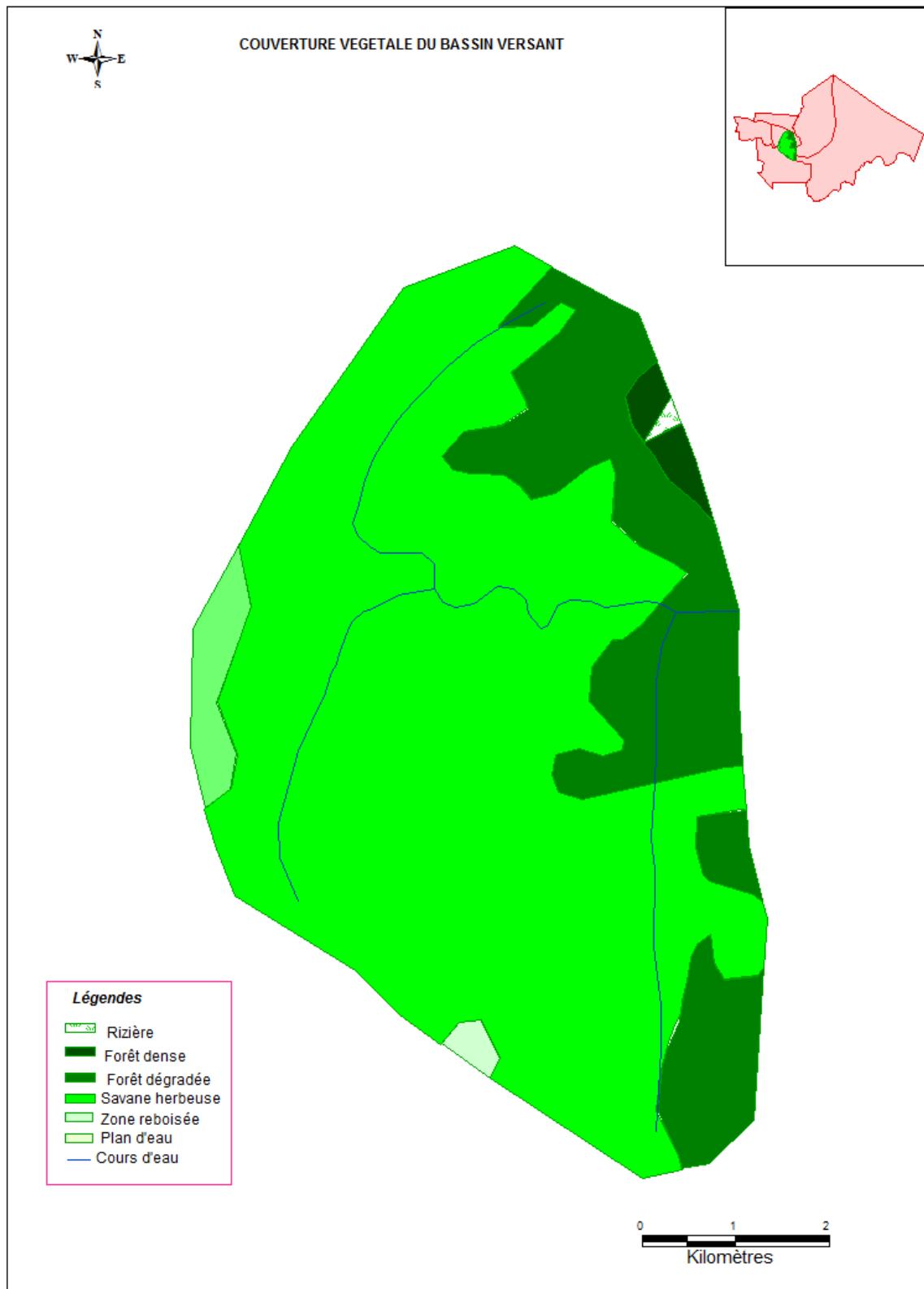


Figure 34 : Couverture végétale du bassin versant d'Ambaravarana

➤ Dimensionnement des ouvrages de génie civil

PERSPECTIVE DE L'AMENAGEMENT				
Barrage				
Dimensions du barrage				
Désignation	Unité	Quantité		
Largeur du barrage	[m]	17,000		
Hauteur du barrage	[m]	0,847		
Hauteur de la lame d'eau	[m]	1,772		
Petite base b	[m]	0,400		
Grande base B	[m]	1,719		
Crête du barrage (a)	[m]	0,300		
Somme des forces horizontales	[daN]	1859,026		
Somme des forces verticales	[daN]	3845,407		
Moment de stabilité M_s	[daNm]	4348,097		
Moment de renversement M_r	[daNm]	1886,257		
Etude de stabilité de l'ouvrage				
Désignation	Unité	Quantité	Interprétation	
Rapport des moments (M_s/M_r)	[\cdot]	2,305	Stable au renversement	
Rapport des forces (F_h/F_v)	[\cdot]	0,483	Stable au glissement	
Contrainte au point A du barrage	[Bar]	0,2537	Stabilité interne vérifiée	
Contrainte au point B du barrage	[Bar]	0,1938		
Mur d'encaissement				
Désignation	Unité	Quantité		
Hauteur du mur	[m]	2,919		
Largeur de la grande base	[m]	1,900		
Poussée des terres	[daN]	1564,175		
Poussée de l'eau	[daN]	4259,736		
Poids propre du mur	[daN]	5472,775		
Moment de stabilité	[daNm]	5913,422		
Moment de renversement	[daNm]	3718,485		
Rapport des moments (M_s/M_r)	[\cdot]	1,590	Stable au renversement	
Prise d'eau				
Désignation	Unité	Quantité		
Lame d'eau déversant (H_{et})	[m]	0,043		
Hauteur d'axe à la prise (H_a)	[m]	0,254		
Charge sur l'axe de l'orifice (ΔH_{ap})	[m]	0,636		
Section de la prise (S_p)	[m^2]	0,113		
Hauteur de la prise (H_p)	[m]	0,325		
Largeur de la prise (l_p)	[m]	0,347		
Perte de charge sur la prise	[m]	0,092		
Canal d'améné				
Largeur du fond b	[m]	0,666		
Epaisseur e	[m]	0,4		
Tirant d'eau h	[m]	0,333		

Rayon hydraulique R_H	[m]	0,166
Vitesse moyenne U	[m/s]	0,908
Pente i	[\cdot]	0,0025
Déssableur		
Tirant d'eau h_d	[m]	0,498
Largeur l_d	[m]	1,346
Longueur L_d	[m]	1,494
Epaisseur e_d	[m]	0,4
Capacité	[m^3]	1,002
Chambre de mise en charge		
Volume utile de la chambre	[m^3]	1,213
Volume de la chambre	[m^3]	3,033
Surface S	[m^2]	0,937
Largeur b_{ch}	[m]	3,108
Longueur L_{ch}	[m]	0,301
Hauteur h_{ch}	[m]	3,237
Epaisseur e	[m]	0,2
Conduite forcée		
Diamètre de la conduite	[mm]	311
Epaisseur de la conduite	[mm]	3
Perte de charge à travers la grille	[m]	0,022
Perte à l'entrer de la conduite	[m]	0,011
Perte de charge par frottement	[m]	0,004
Perte de charge à travers la vanne	[m]	0,043
Perte totale	[m]	0,081
Vitesse de l'onde de choc C	[m/s]	437,480
Temps critique T	[s]	0,410
10 fois le temps Critique	[s]	4,097

Tableau 8 : *Dimensions des ouvrages pour le site d'Ambaravarana*

➤ Dimensionnement des équipements électromécaniques

EQUIPEMENTS ELECTROMECANIQUES			
Dimensionnement de turbines			
Désignation	Unité	Quantité	
Vitesse de rotation	[tr/mn]	800	
Nombre de turbines	[-]	2	
Hauteur de chute nette	[m]	25,200	
Débit de tracé	[m ³ /s]	0,091	
Vitesse spécifique	[-]	0,0634	
Puissance de la turbine	[kW]	20,145	
On ne peut pas utiliser une turbine Pelton			
Nombre d'injecteur	[-]	-	
Diamètre du cercle d'injecteur	[mm]	-	
Largeur de l'auget	[mm]	-	
Diamètre de la tuyère de l'injecteur	[mm]	-	
On peut utiliser une turbine Francis			
Désignation	Unité	Quantité	
Diamètre caractéristique D ₁ de la roue	[mm]	252	
Diamètre caractéristique D ₂ de la roue	[mm]	252	
Diamètre caractéristique D ₃ de la roue	[mm]	248	
On ne peut pas utiliser une turbine Kaplan			
Désignation	Unité	Quantité	
Diamètre extérieur de la roue D _e	[mm]	-	
Diamètre du moyeu de la roue D _i	[mm]	-	
On peut utiliser une turbine Banki			
Désignation	Unité	Quantité	
Diamètre extérieur de la roue D ₁	[mm]	252	
Diamètre intérieur de la roue D ₂	[mm]	166	
Largeur de la roue B	[mm]	84	
Rayon intérieur de l'aube R _i	[mm]	41	
Centre de courbure de l'aube R _c	[mm]	93	
Angle relatif à l'entrée β ₁	[°]	30	
Angle au sommet de l'aube α	[°]	74	
Dimensionnement de la génératrice			
Désignation	Unité	Quantité	
Nombre de génératrices	[-]	2	
Nombre de pôles	[-]	4	
Fréquence	[Hz]	50	
Vitesse de rotation	[tr/mn]	1500	
Puissance électrique	[kW]	19,944	
Multiplicateur de vitesse	[-]	800 / 1500	

Tableau 9 : Dimensions des équipements électromécanique pour la centrale d'Ambaravarana

III-2-1-4- Comparaison des résultats pour le site d'Ambaravarana

Désignation	Résultats du logiciel	Dimensions réelles (APS) [7]
Aménagement hydroélectrique de la chute d'Ambaravarana		
Puissance installée	40 kW	40 kW
Débit d'équipement	2 x 0,135 m ³ /s	2 x 0,135 m ³ /s
Chute brute	28 m	28 m
Hydrologie		
Débit d'étiage	0,340 m ³ /s	0,390 m ³ /s
Crue du projet	104,8 m ³ /s	104,8 m ³ /s
Equipement du site		
Barrage	Hauteur	0,847 m
	Longueur	17 m
Prise	Section	0,113 m ²
Adduction	Dimension	0,666 m x 0,533 m
Dessableur	Hauteur d'eau	0,498 m
	Capacité	1,002 m ³
	Dimension	1,49m x 1,35m x 0,50m
Chambre de mise en charge	Hauteur d'eau	3,237 m
	Capacité	3,033 m ³
	Dimension	0,30m x 3,10m x 3,23m
Conduite forcée	Nombre	2
	Diamètre	311 mm
	Longueur	2 x 35 m
Groupe hydroélectrique		
Turbine	Type	Banki ou Francis
	Nombre	2
	Puissance	20,145 kW
	Vitesse de rotation	800 tr/mn
Générateur	Nombre de pôles	4
	Vitesse de rotation	1500 tr/mn
	Multiplicateur	800/1500 tr/mn

Tableau 10 : Comparaison des résultats pour le site d'Ambaravarana

III-2-2- Cas de Tolongoina

III-2-2-1- Localisation du site de Tolongoina

Le chef-lieu de la commune de Tolongoina se situe au croisement de la RN 14 qui relie Fianarantsoa Ifanadiana à Ikongo et du chemin de fer Fianarantsoa Côte Est (FCE) reliant Fianarantsoa et Manakara.

Il se situe à 40 km au sud est de Fianarantsoa, 70km au nord ouest de Manakara, 30 km au sud de Ifanadiana et 30 km au nord d'Ikongo.

La chute de Mandiazano se situe à 3 km à l'Ouest du bourg de Tolongoina, le long de la voie de chemin de fer FCE.



Figure 35 : Localisation du chute de Mandiazano

III-2-2-2- Données et paramètres pour le dimensionnement

Entrer les données

NOM DU SITE:	TOLONGOINA				
NOM DE LA RIVIERE:	MANDIAZANO				
SITUATION GEOGRAPHIQUE					
Désignation	Unité	Quantité			
Coordonnées du sites:					
Longitude	[°]	49°29'224" E			
Latitude	[°]	21°32'881" S			
Altitude	[m]	536			
Coordonnées du village:					
Longitude	[°]	49°30'924" E			
Latitude	[°]	21°33'569" S			
Altitude	[m]	391			
CARACTERISTIQUE DU BASSIN VERSANT					
Désignation	Unité	Quantité			
Caractéristiques géométriques:					
Aire (A)	[km ²]	6,3			
Périmètre (P)	[km]	10,3			
Caractéristiques topographiques:					
<i>Répartition hypsométrique</i>					
Elévation courbe de niveau	Courbe de niveau	Superficie entre les courbes [km²]	Distance entre 2 CN [km]		
<600	500	0,328	0,400		
600-700	600	0,418	0,270		
700-800	700	0,701	0,720		
800-900	800	0,670	0,500		
900-1000	900	0,671	0,270		
1000-1100	1000	1,548	0,700		
1100-1200	1100	1,915	1,200		
>1200	1200	0,049	0,200		
Altitudes caractéristiques					
Désignation	Unité	Quantité			
Altitude plus fréquente	[m]	1100			
Altitude maximale	[m]	1200			
Altitude minimale	[m]	500			
Caractéristiques du réseau hydrographique:					
Désignation	Unité	Quantité			
Numéro d'ordre	[‐]	1			
Longueur du bassin versant (LCA)	[km]	1,70			
Longueur du cours d'eau (L)	[km]	2,06			
Degré de développement du réseau					
Longueur totale de cours d'eau	[km]	2,06			
Nombre de cours d'eau	[‐]	1			

EVALUATION DU POTENTIEL HYDRAULIQUE		
Débits caractéristiques		
Désignation	Unité	Quantité
Débit d'étiage	[m ³ /s]	0,131
Débit de crue	[m ²]	12
Mesure in situ et puissance estimée		
Hauteur de la chute brute	[m]	152,19
Puissance installée	[kW]	120
PERPECTIVE DE L'AMENAGEMENT		
Barrage		
Désignation	Unité	Quantité
Largeur du barrage	[m]	34
Canal d'amené		
Longueur	[m]	145
Revanche r	[m]	0,10
Coefficient de Strickler	[\cdot]	Bétonné
Dessableur		
Vitesse horizontale U_h	[m/s]	0,3
Vitesse moyenne de sédimentation U_s	[m/s]	0,1
Conduite forcée		
Nombre de conduites	[\cdot]	2
Matériaux de la conduite forcée	[\cdot]	PVC
Longueur de la conduite forcée	[m]	760
EQUIPEMENTS ELECTROMECANIQUES		
Turbine		
Désignation	Unité	Quantité
Vitesse de rotation	[tr/mn]	1250,00
Turbine Pelton		
Nombre d'injecteurs	[\cdot]	1
Générateur		
Nombre de pôles	[\cdot]	4
Fréquence	[Hz]	50

Tableau 11 : *Données et paramètres du site de Tolongoina*

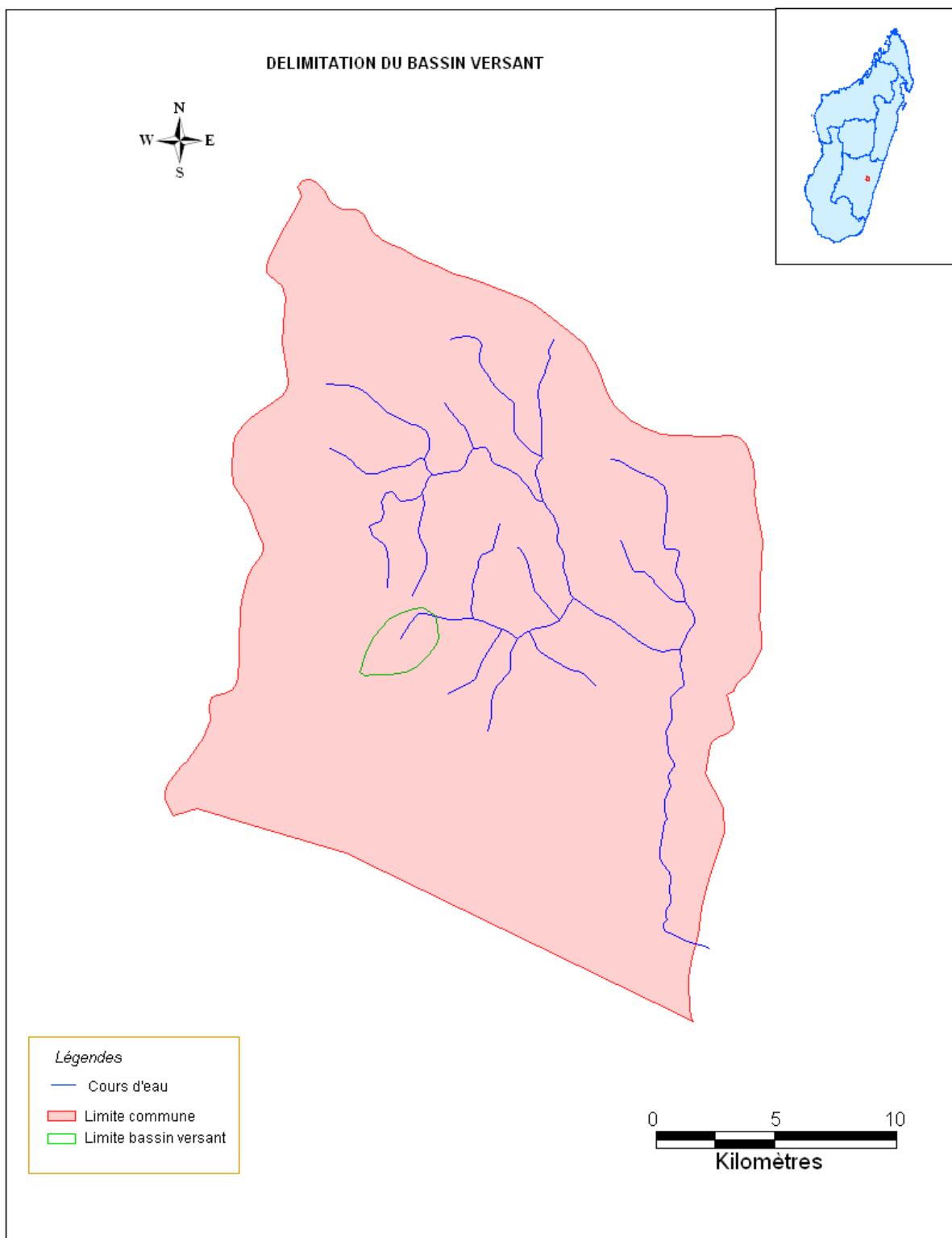


Figure 36 : Délimitation du bassin versant de la rivière de Mandiazano

III-2-2-3- Résultat pour le site de Tolongoina

➤ Etude du bassin versant et évaluation du potentiel

CARACTERISTIQUE DU BASSIN VERSANT			
Désignation	Unité	Quantité	
Caractéristiques géométriques:			
Aire (A)	[km ²]	6,3	
Périmètre (P)	[km]	10,3	
Indice de compacité (Kc)	[⁻]	1,15	
Longueur du rectangle équivalent	[km]	3,15	
Largeur du rectangle équivalent	[km]	2,00	
Caractéristiques topographiques:			
<i>Répartition hypsométrique</i>			
Courbe de niveau [m]	P1	P2	Distance di [km]
500	5,21	100,00	0,40
600	6,63	94,79	0,67
700	11,13	88,16	1,39
800	10,63	77,03	1,89
900	10,65	66,40	2,16
1000	24,57	55,75	2,86
1100	30,40	31,17	4,06
1200	0,78	0,78	4,26
Altitudes caractéristiques			
Désignation	Unité	Quantité	
Altitude moyenne	[m]	959	
Altitude plus fréquente	[m]	1100	
Altitude maximale	[m]	1200	
Altitude minimale	[m]	500	
Altitude médiane	[m]	850	
Pentes			
Pente moyenne	[m/km ou %]	211,111	
Indice de pente	[%]	11,38	
Caractéristiques du réseau hydrographique			
<i>Classification de SCHUMM</i>			
Le bassin versant est d'ordre	1		
<i>Pente caractéristique du réseau</i>			
Désignation	Unité	Quantité	
Pente moyenne d'un cours d'eau	[%]	339,806	
<i>Degré de développement du réseau</i>			
Densité de drainage	[km/km ²]	0,327	
Densité hydrographique	[km ⁻²]	0,159	
Temps de concentration	[h]	0,6	
EVALUATION DU POTENTIEL HYDRAULIQUE			
Débits caractéristiques			
Désignation	Unité	Quantité	
Débit disponible	[m ³ /s]	0,144	
Débit d'étiage	[m ³ /s]	0,131	

Débit turbiné	[m ³ /s]	0,111
Débit d'équipement	[m ³ /s]	0,100
Débit de crue maximale	[m ³ /s]	12,000
Débit de crue décennale	[m ³ /s]	10,169
Mesure in situ et puissance estimée		
Hauteur de la chute nette	[m]	136,971
Puissance hydraulique	[kW]	134,300
Puissance électrique	[kW]	119,930
Conclusion: Le débit d'étiage est supérieur aux débits voulus. Alors, on garde la puissance installée à 120 kW		

Tableau 12 : Etude du bassin versant et évaluation du potentiel pour le site de Tolongoina

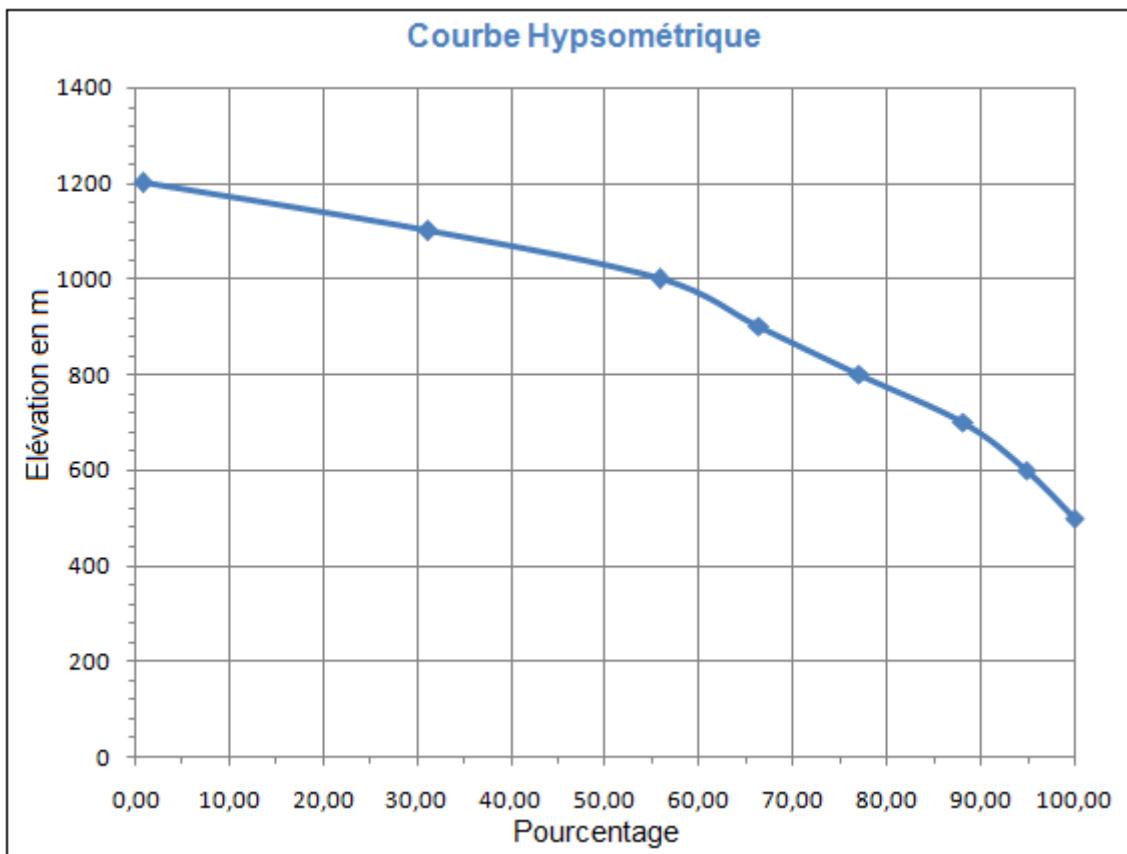


Figure 37: Courbe hypsométrique de Tolongoina

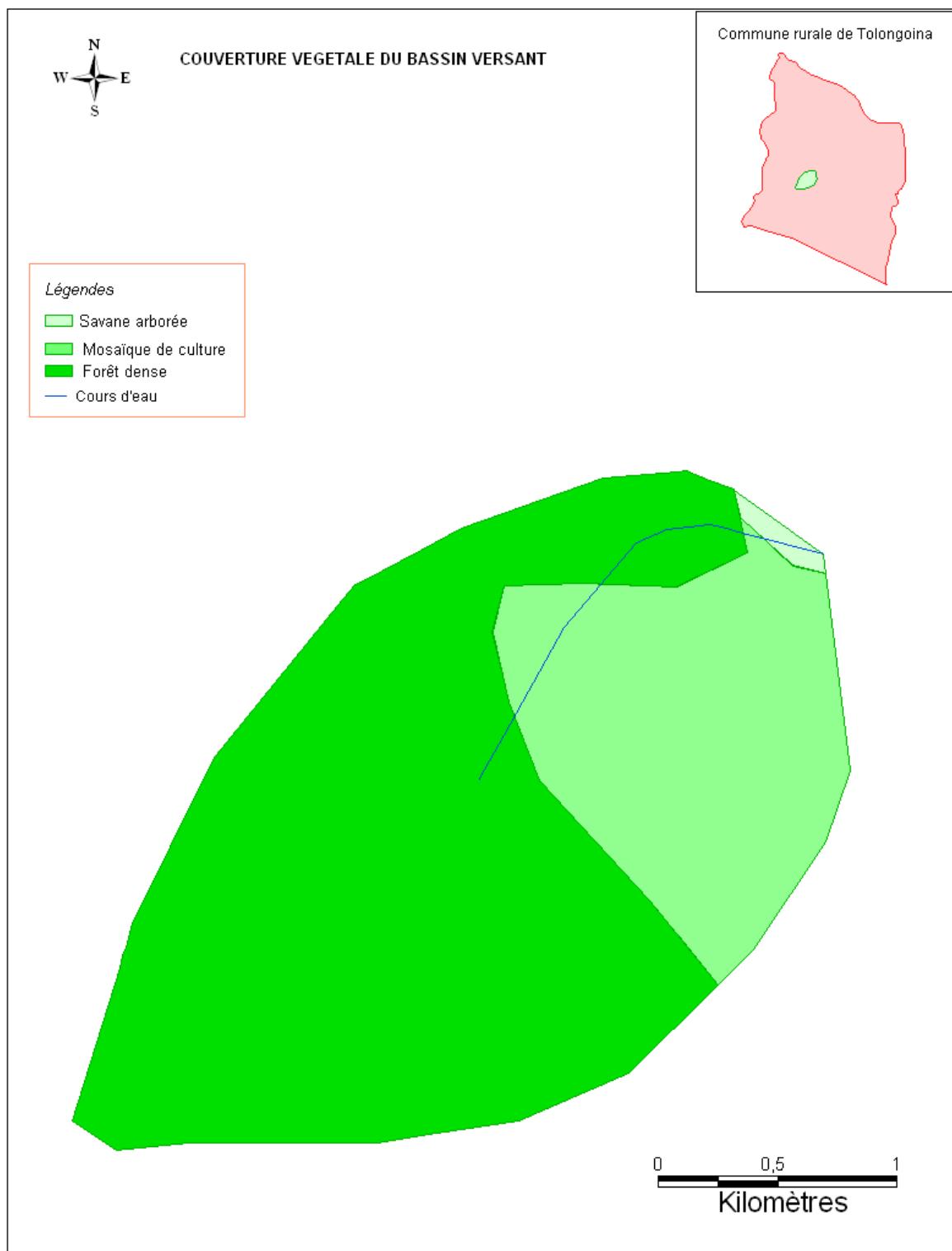


Figure 38 : Couverture végétale du bassin versant de Tolongoina

➤ Dimensionnement des ouvrages de génie civil

PERSPECTIVE DE L'AMENAGEMENT				
Barrage				
Dimensions du barrage				
Désignation	Unité	Quantité		
Largeur du barrage	[m]	34,000		
Hauteur du barrage	[m]	0,681		
Hauteur de la lame d'eau	[m]	0,263		
Petite base b	[m]	0,400		
Grande base B	[m]	1,675		
Crête du barrage (a)	[m]	0,300		
Somme des forces horizontales	[daN]	410,672		
Somme des forces verticales	[daN]	2345,113		
Moment de stabilité M_s	[daNm]	2377,897		
Moment de renversement M_r	[daNm]	573,320		
Etude de stabilité de l'ouvrage				
Désignation	Unité	Quantité	Interprétation	
Rapport des moments (M_s/M_r)	[\cdot]	4,148	Stable au renversement	
Rapport des forces (F_h/F_v)	[\cdot]	0,175	Stable au glissement	
Contrainte au point A du barrage	[Bar]	0,1911	Stabilité interne vérifiée	
Contrainte au point B du barrage	[Bar]	0,0890		
Mur d'encaissement				
Désignation	Unité	Quantité		
Hauteur du mur	[m]	1,244		
Largeur de la grande base	[m]	0,600		
Poussée des terres	[daN]	284,006		
Poussée de l'eau	[daN]	773,437		
Poids propre du mur	[daN]	310,933		
Moment de stabilité	[daNm]	367,408		
Moment de renversement	[daNm]	243,306		
Rapport des moments (M_s/M_r)	[\cdot]	1,510	Stable au renversement	
Prise d'eau				
Désignation	Unité	Quantité		
Lame d'eau déversant (H_{et})	[m]	0,014		
Hauteur d'axe à la prise (H_a)	[m]	0,204		
Charge sur l'axe de l'orifice (ΔH_{ap})	[m]	0,491		
Section de la prise (S_p)	[m^2]	0,071		
Hauteur de la prise (H_p)	[m]	0,258		
Largeur de la prise (l_p)	[m]	0,275		
Perte de charge sur la prise	[m]	0,071		
Canal d'améné				
Largeur du fond b	[m]	0,495		
Epaisseur e	[m]	0,4		
Tirant d'eau h	[m]	0,248		

Rayon hydraulique R_H	[m]	0,124
Vitesse moyenne U	[m/s]	0,906
Pente i	[\cdot]	0,0037
Perte de charge sur la prise	[m]	
Dessableur		
Tirant d'eau h_d	[m]	0,370
Largeur l_d	[m]	1,000
Longueur L_d	[m]	1,110
Epaisseur e_d	[m]	0,4
Capacité	[m^3]	0,411
Chambre de mise en charge		
Volume utile de la chambre	[m^3]	0,670
Volume de la chambre	[m^3]	1,674
Surface S	[m^2]	0,804
Largeur b_{ch}	[m]	1,999
Longueur L_{ch}	[m]	0,402
Hauteur h_{ch}	[m]	2,082
Epaisseur e	[m]	0,2
Conduite forcée		
Diamètre de la conduite	[mm]	200
Epaisseur de la conduite	[mm]	3
Perte de charge à travers la grille	[m]	0,040
Perte à l'entrer de la conduite	[m]	0,020
Perte de charge par frottement	[m]	0,419
Perte de charge à travers la vanne	[m]	0,076
Perte totale	[m]	0,555
Vitesse de l'onde de choc C	[m/s]	511,482
Temps critique T	[s]	2,972
10 fois le temps Critique	[s]	29,718

Tableau 13 : *Dimensions des ouvrages pour le site de Tolongoina*

➤ Dimensionnement des équipements électromécaniques

EQUIPEMENTS ELECTROMECANIQUES			
Dimensionnement de turbines			
Désignation	Unité	Quantité	
Vitesse de rotation	[tr/mn]	1250	
Nombre de turbines	[-]	2	
Hauteur de chute nette	[m]	136,971	
Débit de tracé	[m ³ /s]	0,050	
Vitesse spécifique	[-]	0,0207	
Puissance de la turbine	[kW]	60,44	
On peut utiliser une turbine Pelton			
Nombre d'injecteurs	[-]	1	
Diamètre du cercle d'injecteur	[mm]	337	
Largeur de l'auget	[mm]	43	
Diamètre de la tuyère de l'injecteur	[mm]	62	
On ne peut pas utiliser une turbine Francis			
Désignation	Unité	Quantité	
Diamètre caractéristique D ₁ de la roue	[mm]	-	
Diamètre caractéristique D ₂ de la roue	[mm]	-	
Diamètre caractéristique D ₃ de la roue	[mm]	-	
On ne peut pas utiliser une turbine Kaplan			
Désignation	Unité	Quantité	
Diamètre extérieur de la roue D _e	[mm]	-	
Diamètre du moyeu de la roue D _i	[mm]	-	
On ne peut pas utiliser une turbine Banki			
Désignation	Unité	Quantité	
Diamètre extérieur de la roue D ₁	[mm]	-	
Diamètre intérieur de la roue D ₂	[mm]	-	
Largeur de la roue B	[mm]	-	
Rayon intérieur de l'aube R _i	[mm]	-	
Centre de courbure de l'aube R _c	[mm]	-	
Angle relatif à l'entrée β_1	[°]	-	
Angle au sommet de l'aube α	[°]	-	
Dimensionnement de la génératrice			
Désignation	Unité	Quantité	
Nombre de génératrices	[-]	2	
Nombre de pôles	[-]	4	
Fréquence	[Hz]	50	
Vitesse de rotation	[tr/mn]	1500	
Puissance électrique	[kW]	60	
Multiplicateur de vitesse	[-]	1250 / 1500	

Tableau 14 : Dimensions des équipements électromécaniques pour la centrale de Tolongoina

III-2-2-4- Comparaison des résultats pour le site de Tolongoina

Désignation		Résultats du logiciel	Dimensions réelles (APS) [8]
Aménagement hydroélectrique de la chute d'Ambaravarana			
Puissance installée		120 kW	120 kW
Débit d'équipement		2 x 0,05 m ³ /s	2 x 0,05 m ³ /s
Chute brute		152,19 m	152,19 m
Hydrologie			
Débit d'étiage		0,08 m ³ /s	0,08 m ³ /s
Crue du projet		12 m ³ /s	12 m ³ /s
Equipement du site			
Barrage	Hauteur	0,681 m	0,7 m
	Longueur	34 m	34 m
Prise	Section	0,071 m ²	0,071 m ²
Adduction	Dimension	0,348 m x 0,495 m	0,348m x 0,496m
Dessableur	Hauteur d'eau	0,370 m	0,371 m
	Capacité	0,411 m ³	0,413 m ³
	Dimension	1 m x 1,11 m x 0,47 m	1,002 m x 1,112m x 0,471 m
Chambre de mise en charge	Hauteur d'eau	1,9m	1,9 m
	Capacité	1,674 m ³	1,679 m ³
	Dimension	2 m x 0,4m x 2,082 m	2 m x 0,4m x 2,084 m
Conduite forcée	Nombre	2	2
	Diamètre	200 mm	200 mm
	Longueur	2 x 380 m	2 x 380 m
Groupe hydroélectrique			
Turbine	Type	Pelton	Pelton
	Nombre	2	2
	Puissance	60,44 kW	61 kW
	Vitesse de rotation	1250 tr/mn	1500 tr/mn
Génératerice	Nombre de pôles	4	4
	Vitesse de rotation	1500 tr/mn	1500 tr/mn
	Multiplicateur	1250/1500 tr/mn	1500/1500 tr/mn

Tableau 15 : Comparaison des résultats pour le site de Tolongoina

III-2-3- Conclusion

Les différences entre les résultats du programme et les dimensions de l'aménagement sont relativement minime. Ces marges d'erreurs sont dues au choix des constantes et aux différentes approximations sur les calculs. Pour la théorie, la méthode proposée garde une large gamme de sécurité pour le dimensionnement des différents éléments constitutifs de la centrale.

Pour le dimensionnement des équipements électromécaniques, une augmentation de la vitesse de rotation de la turbine entraîne une diminution du diamètre de la roue. En pratique, le choix dépend du coût des matériaux, de la sécurité et de la dimension réelle existante sur le marché.

CONCLUSION GENERALE

Notre contribution concerne l'étude de l'aménagement d'un bassin versant et la détermination des paramètres de la microcentrale correspondante, en prenant le site d'Ambaravarana et de Tolongoina pour applications.

Le programme de simulation nécessite la maîtrise d'un langage de programmation. Il nous a donc fallu apprendre un langage plus adéquat.

Outre cet obstacle, la recherche des mises à jour des nouvelles technologies à nécessiter un travail de longue haleine.

A l'issue de cette étude, nous avons pu étudier un bassin versant et dimensionner la microcentrale correspondante d'une manière automatique par l'utilisation d'un ordinateur.

L'élaboration du programme automatisant les opérations constitue pour moi une précieuse expérience.

Car elle m'a permis d'améliorer ma connaissance en matière de programmation, et a étendu mon champ de vision sur le domaine d'hydroélectricité.

De plus j'ai pu rencontrer des personnes œuvrant dans ce domaine qui m'ont prodigué de bon conseil.

Ce travail de mémoire me prépare ainsi à ma future vie d'énergéticien.

Le temps imparti à la réalisation de ce mémoire ne m'a pas permis d'approfondir certains points qui me semblent intéressant. Il aurait été opportun d'installer au laboratoire un stand de travaux pratiques pour confronter les résultats obtenus par le programme avec d'autres cas réels.

ANNEXES

Annexe I : Listings du programme

A-I-1- Etude du bassin versant et évaluation du potentiel

```
Private Sub Worksheet_SelectionChange(ByVal Target As Range)
```

'Notation des parameters utilisés

```

h1 = Feuill.Range("C25"): h2 = Feuill.Range("C26"): h3 =
Feuill.Range("C27"): h4 = Feuill.Range("C28"): h5 =
Feuill.Range("C29"): h6 = Feuill.Range("C30"): h7 =
Feuill.Range("C31"): h8 = Feuill.Range("C32"): h9 =
Feuill.Range("C33"): h10 = Feuill.Range("C34"): h11 =
Feuill.Range("C35"): h12 = Feuill.Range("C36"): h13 =
Feuill.Range("C37"): h14 = Feuill.Range("C38"): h15 =
Feuill.Range("C39"): h16 = Feuill.Range("C40"): h17 =
Feuill.Range("C41"): h18 = Feuill.Range("C42"): h19 =
Feuill.Range("C43"): h20 = Feuill.Range("C44"): h21 =
Feuill.Range("D48") =
S = Feuill.Range("D20"): P = Feuill.Range("D21"): S1 =
Feuill.Range("D25"): S2 = Feuill.Range("D26"): S3 =
Feuill.Range("D27"): S4 = Feuill.Range("D28"): S5 =
Feuill.Range("D29"): S6 = Feuill.Range("D30"): S7 =
Feuill.Range("D31"): S8 = Feuill.Range("D32"): S9 =
Feuill.Range("D33"): S10 = Feuill.Range("D34"): S11 =
Feuill.Range("D35"): S12 = Feuill.Range("D36"): S13 =
Feuill.Range("D37"): S14 = Feuill.Range("D38"): S15 =
Feuill.Range("D39"): S16 = Feuill.Range("D40"): S17 =
Feuill.Range("D41"): S18 = Feuill.Range("D42"): S19 =
Feuill.Range("D43"): S20 = Feuill.Range("D44") =
Hp = Feuill.Range("D47"): le1 = Range("D15"): le2 = Range("D16"):
E25 = Feuill.Range("E25"): E26 = Feuill.Range("E26"): E27 =
Feuill.Range("E27"): E28 = Feuill.Range("E28"): E29 =
Feuill.Range("E29"): E30 = Feuill.Range("E30"): E31 =
Feuill.Range("E31"): E32 = Feuill.Range("E32"): E33 =
Feuill.Range("E33"): E34 = Feuill.Range("E34"): E35 =
Feuill.Range("E35"): E36 = Feuill.Range("E36"): E37 =
Feuill.Range("E37"): E38 = Feuill.Range("E38"): E39 =
Feuill.Range("E39"): E40 = Feuill.Range("E40"): E41 =
Feuill.Range("E41"): E42 = Feuill.Range("E42"): E43 =
Feuill.Range("E43"): E44 = Feuill.Range("E44") =
C20 = Range("C20"): C21 = Range("C21"): C22 = Range("C22"): C23 =
Range("C23"): C24 = Range("C24"): C25 = Range("C25"): C26 =
Range("C26"): C27 = Range("C27"): C28 = Range("C28"): C29 =
Range("C29"): C30 = Range("C30"): C31 = Range("C31"): C32 =
Range("C32"): C33 = Range("C33"): C34 = Range("C34"): C35 =
Range("C35"): C36 = Range("C36"): C37 = Range("C37"): C38 =
Range("C38"): C39 = Range("C39")

```

'Caractéristiques géométriques

```

Range( "D12" ) = S: Range( "D13" ) = P: Range( "D14" ) = 0.28 * P / S ^
0.5
Range( "D15" ) = (Range( "D14" ) * S ^ 0.5) / 1.12 * (1 + (1 - (1.12 /
Range( "D14" )) ^ 2) ^ 0.5)
Range( "D16" ) = (Range( "D14" ) * S ^ 0.5) / 1.12 * (1 - (1 - (1.12 /
Range( "D14" )) ^ 2) ^ 0.5)

```

'Caractéristiques topographiques

```

Range( "B20" ) = h1: Range( "B21" ) = h2: Range( "B22" ) = h3:
Range( "B23" ) = h4
Range( "B24" ) = h5: Range( "B25" ) = h6: Range( "B26" ) = h7:
Range( "B27" ) = h8: Range( "B28" ) = h9: Range( "B29" ) = h10
Range( "B30" ) = h11: Range( "B31" ) = h12: Range( "B32" ) = h13:
Range( "B33" ) = h14: Range( "B34" ) = h15: Range( "B35" ) = h16
Range( "B36" ) = h17: Range( "B37" ) = h18: Range( "B38" ) = h19:
Range( "B39" ) = h20

```

'répartition hypsométrique

```

If Range( "B20" ) = "" Then Range( "C20" ) = "" Else Range( "C20" ) = S1 *
100 / S: If Range( "B21" ) = "" Then Range( "C21" ) = "" Else
Range( "C21" ) = S2 * 100 / S
If Range( "B22" ) = "" Then Range( "C22" ) = "" Else Range( "C22" ) = S3 *
100 / S: If Range( "B23" ) = "" Then Range( "C23" ) = "" Else
Range( "C23" ) = S4 * 100 / S
If Range( "B24" ) = "" Then Range( "C24" ) = "" Else Range( "C24" ) = S5 *
100 / S: If Range( "B25" ) = "" Then Range( "C25" ) = "" Else
Range( "C25" ) = S6 * 100 / S
If Range( "B26" ) = "" Then Range( "C26" ) = "" Else Range( "C26" ) = S7 *
100 / S: If Range( "B27" ) = "" Then Range( "C27" ) = "" Else
Range( "C27" ) = S8 * 100 / S
If Range( "B28" ) = "" Then Range( "C28" ) = "" Else Range( "C28" ) = S9 *
100 / S: If Range( "B29" ) = "" Then Range( "C29" ) = "" Else
Range( "C29" ) = S10 * 100 / S
If Range( "B30" ) = "" Then Range( "C30" ) = "" Else Range( "C30" ) = S11
* 100 / S: If Range( "B31" ) = "" Then Range( "C31" ) = "" Else
Range( "C31" ) = S12 * 100 / S
If Range( "B32" ) = "" Then Range( "C32" ) = "" Else Range( "C32" ) = S13
* 100 / S: If Range( "B33" ) = "" Then Range( "C33" ) = "" Else
Range( "C33" ) = S14 * 100 / S
If Range( "B34" ) = "" Then Range( "C34" ) = "" Else Range( "C34" ) = S15
* 100 / S: If Range( "B35" ) = "" Then Range( "C35" ) = "" Else
Range( "C35" ) = S16 * 100 / S

```

```

If Range("B36") = "" Then Range("C36") = "" Else Range("C36") = S17
* 100 / S: If Range("B37") = "" Then Range("C37") = "" Else
Range("C37") = S18 * 100 / S
If Range("B38") = "" Then Range("C38") = "" Else Range("C38") = S19
* 100 / S: If Range("B39") = "" Then Range("C39") = "" Else
Range("C39") = S20 * 100 / S

If Range("C20") = "" Then Range("D20") = "" Else Range("D20") = 100:
If Range("C21") = "" Then Range("D21") = "" Else Range("D21") =
Range("D20") - Range("C20")
If Range("C22") = "" Then Range("D22") = "" Else Range("D22") =
Range("D21") - Range("C21"): If Range("C23") = "" Then Range("D23") =
"" Else Range("D23") = Range("D22") - Range("C22")
If Range("C24") = "" Then Range("D24") = "" Else Range("D24") =
Range("D23") - Range("C23"): If Range("C25") = "" Then Range("D25") =
"" Else Range("D25") = Range("D24") - Range("C24")
If Range("C26") = "" Then Range("D26") = "" Else Range("D26") =
Range("D25") - Range("C25"): If Range("C27") = "" Then Range("D27") =
"" Else Range("D27") = Range("D26") - Range("C26")
If Range("C28") = "" Then Range("D28") = "" Else Range("D28") =
Range("D27") - Range("C27"): If Range("C29") = "" Then Range("D29") =
"" Else Range("D29") = Range("D28") - Range("C28")
If Range("C30") = "" Then Range("D30") = "" Else Range("D30") =
Range("D29") - Range("C29"): If Range("C31") = "" Then Range("D31") =
"" Else Range("D31") = Range("D30") - Range("C30")
If Range("C32") = "" Then Range("D32") = "" Else Range("D32") =
Range("D31") - Range("C31"): If Range("C33") = "" Then Range("D33") =
"" Else Range("D33") = Range("D32") - Range("C32")
If Range("C34") = "" Then Range("D34") = "" Else Range("D34") =
Range("D33") - Range("C33"): If Range("C35") = "" Then Range("D35") =
"" Else Range("D35") = Range("D34") - Range("C34")
If Range("C36") = "" Then Range("D36") = "" Else Range("D36") =
Range("D35") - Range("C35"): If Range("C37") = "" Then Range("D37") =
"" Else Range("D37") = Range("D36") - Range("C36")
If Range("C38") = "" Then Range("D38") = "" Else Range("D38") =
Range("D37") - Range("C37"): If Range("C39") = "" Then Range("D39") =
"" Else Range("D39") = Range("D38") - Range("C38")

If Feuill.Range("E25") = "" Then Range("E20") = "" Else Range("E20") =
E25: If Feuill.Range("E26") = "" Then Range("E21") = "" Else
Range("E21") = E25 + E26
If Feuill.Range("E27") = "" Then Range("E22") = "" Else Range("E22") =
Range("E21") + E27
If Feuill.Range("E28") = "" Then Range("E23") = "" Else Range("E23") =
Range("E22") + E28
If Feuill.Range("E29") = "" Then Range("E24") = "" Else Range("E24") =
Range("E23") + E29

```

```

If Feuill.Range("E30") = "" Then Range("E25") = "" Else Range("E25")
= Range("E24") + E30
If Feuill.Range("E31") = "" Then Range("E26") = "" Else Range("E26")
= Range("E25") + E31
If Feuill.Range("E32") = "" Then Range("E27") = "" Else Range("E27")
= Range("E26") + E32
If Feuill.Range("E33") = "" Then Range("E28") = "" Else Range("E28")
= Range("E27") + E33
If Feuill.Range("E34") = "" Then Range("E29") = "" Else Range("E29")
= Range("E28") + E34
If Feuill.Range("E35") = "" Then Range("E30") = "" Else Range("E30")
= Range("E29") + E35
If Feuill.Range("E36") = "" Then Range("E31") = "" Else Range("E31")
= Range("E30") + E36
If Feuill.Range("E37") = "" Then Range("E32") = "" Else Range("E32")
= Range("E31") + E37
If Feuill.Range("E38") = "" Then Range("E33") = "" Else Range("E33")
= Range("E32") + E38
If Feuill.Range("E39") = "" Then Range("E34") = "" Else Range("E34")
= Range("E33") + E39
If Feuill.Range("E40") = "" Then Range("E35") = "" Else Range("E35")
= Range("E34") + E40
If Feuill.Range("E41") = "" Then Range("E36") = "" Else Range("E36")
= Range("E35") + E41
If Feuill.Range("E42") = "" Then Range("E37") = "" Else Range("E37")
= Range("E36") + E42
If Feuill.Range("E43") = "" Then Range("E38") = "" Else Range("E38")
= Range("E37") + E43
If Feuill.Range("E44") = "" Then Range("E39") = "" Else Range("E39")
= Range("E38") + E44

```

'Altitudes caractéristiques

```

Range("D44") = h21: Range("D43") = Hp: Range("D45") = h1:
Range("D46") = Range("B22") + ((h4 - h3) / (Range("D22") -
Range("D23"))) * (50 - Range("D23"))
Range("D42") = (S1 * (h1 + h2) + S2 * (h3 + h2) + S3 * (h3 + h4) +
S4 * (h5 + h4) + S5 * (h5 + h6) + S6 * (h6 + h7) + S7 * (h7 + h8) +
S8 * (h8 + h9) + S9 * (h9 + h10) + S10 * (h10 + h11) + S11 * (h12 +
h11) + S12 * (h12 + h13) + S13 * (h13 + h14) + S14 * (h14 + h15) +
S15 * (h15 + h16) + S16 * (h16 + h17) + S17 * (h17 + h18) + S18 * (h18 +
h19) + S19 * (h19 + h20) + S20 * (h20 + h21)) / (2 * S)

```

'Pentes

```

Range("D48") = (h21 - h1) / le1: Range("D52") = Feuill.Range("D52")
Range("D49") = (1 / le1 ^ 0.5) * ((C20 * E25) ^ 0.5 + (C21 * E26) ^
0.5 + (C22 * E27) ^ 0.5 + (C23 * E28) ^ 0.5 + (C24 * E29) ^ 0.5 +

```

```

(C25 * E30) ^ 0.5 + (C26 * E31) ^ 0.5 + (C27 * E32) ^ 0.5 + (C28 *
E33) ^ 0.5 + (C29 * E34) ^ 0.5 + (C30 * E35) ^ 0.5 + (C31 * E36) ^
0.5 + (C32 * E37) ^ 0.5 + (C33 * E38) ^ 0.5 + (C34 * E39) ^ 0.5 +
(C35 * E40) ^ 0.5 + (C36 * E41) ^ 0.5 + (C37 * E42) ^ 0.5 + (C38 *
E43) ^ 0.5 + (C39 * E44) ^ 0.5)
Range("D55") = (h21 - h1) / Feuill.Range("D54"): Range("D57") =
Feuill.Range("D56") / S: Range("D58") = Feuill.Range("D57") / S

```

'Débit caractéristique

```

rmin = Feuill.Range("D76") / Feuill.Range("D77"): Range("D64") = (20
* 0.0025 ^ 0.5) * Feuill.Range("D76") * rmin ^ (2 / 3)
Range("D63") = 0.8 * (Feuill.Range("D72") / Feuill.Range("D73")) *
Feuill.Range("D74"): Range("D65") = 0.85 * Range("D64"):
Range("D66") = 0.9 * Range("D65")
rmax = Feuill.Range("D79") / Feuill.Range("D80"): Range("D67") = (20
* 0.025 ^ 0.5) * Feuill.Range("D79") * rmax ^ (2 / 3): Range("D68") =
0.009 * Range("D12") ^ 0.5 * (Range("D48") / 1000) ^ 0.32 *
Feuill.Range("D81") ^ 1.39

```

'Mesure in situ et puissance estimée

```

Range("D70") = 0.9 * Feuill.Range("D83"): Range("D71") = 9.81 * 0.85
* Range("D66") * Range("D70"): Range("D72") = 7 * 0.85 *
Range("D66") * Range("D70")
End Sub

```

A-I-2- Perspective de l'aménagement

```

Private Sub Worksheet_SelectionChange(ByVal Target As Range)
'Dim barrage
Dim L, Hc, Mr, Hb, P, A, Ms, B, Bb, N1, N2, N3, N4, N5, N6, S1,
S2, Kg, Fv, MN1, MN2, MN3, MN4, MN5, MN6, MS1, MS2, MQ, Kr, MMN1,
MMN2, MMN3, MMN4, MMN5, MMN6, MMS1, MMS2, MMQ, N, M, GA, GB
'Dim mur d'encaissement
Dim Hm, Qt, Qe, Pm, Bm, Ym, Mmr, Mms, R, X
'Dim prise d'eau ,canal d'amené et déssableur
Dim Het, Ha, DHap, Sp, Hp, lp, Hgr, Hcc, Hca, Bca, Eca, Uca, i, Ld,
Hd, LLd, Km
'Dim chambre de mise en charge et conduite forcée
Dim Vu, Vch, Dc, Lch, Hch, LLch, Sch, Ec, HHgr, Hec, Hvp, Hcf, C,
Tcr, nnn

```

'Etude du barrage

```

A = 0.4: L = Feuill.Range("D88"): Hb = 0.2 + 2 *
(Feuil2.Range("D65") / (3.14159 * (7 / Feuill.Range("D73")))) ^ 0.5:
X = 0.1

```

```

While Kg > 0.623 Or GB > 1 Or Kr < 2.3 Or GA > 1
X = X + 0.01: B = X * Hb: Bb = 4 * A + B: Hc = (Feuil2.Range("D68"))
/ (0.5 * L * (2 * 9.81) ^ 0.5)) ^ (2 / 3)
'Calcul des forces
N1 = 2500 * Hb * (B - A) * 0.5: N2 = 2500 * Bb * A / 2: N3 = 2500 *
Hb * A: N4 = 1000 * 2 * A * (Hb + Hc): N5 = 2500 * A ^ 2: N6 = 2500
* 0.5 * A ^ 2
S1 = 1000 * Bb * A / 4: S2 = 1000 * Bb * A / 8: Q = 1000 * (Hc + 0.5
* Hb) * Hb: Fv = N1 + N2 + N3 + N4 + N5 + N6 - S1 - S2
'Calcul des moments /B
MN1 = N1 * 2 * (B + 2 * A) / 3: MN2 = N2 * Bb / 2: MN3 = N3 * (3 * A
/ 2 + B): MN4 = N4 * (3 * A + B): MN5 = N5 * (Bb - A / 4): MN6 = N6
* A / 4
MS1 = S1 * Bb / 2: MS2 = S2 * 2 * Bb / 3: MQ = Q * (3 * A / 2 + Hb /
3): Ms = MN1 + MN2 + MN3 + MN4 + MN5 + MN6 - MS1 - MS2: Mr = MQ +
MS1 + MS2
'Calcul des moments /CDG
MMN1 = N1 * (Bb / 2 - (2 * (B + 2 * A) / 3)): MMN3 = N3 * (B + 3 * A
/ 2 - Bb / 2): MMN4 = N4 * (Bb / 2 - A)
MMN5 = N5 * (Bb / 2 - A / 4): MMN6 = N6 * (Bb / 2 - A / 4): MMS2 =
S2 * Bb / 6: MMQ = Q * (A / 2 + Hb / 3)
N = Fv / (Bb * 10000): M = -6 * (MMQ + MMN1 - MMN3 - MMN4 - MMN5 +
MMN6 + MMS2) / (10000 * Bb ^ 2)
'Glissement; Renversement et stabilité interne
Kg = Q / Fv: Kr = Ms / Mr: GA = N + M: GB = N - M
Wend
'Affichage barrage
Range("D6") = L: Range("D7") = Hb: Range("D8") = Hc: Range("D9") =
B: Range("D10") = Bb: Range("D11") = A: Range("D12") = Q
Range("D14") = Ms: Range("D15") = Mr: Range("D18") = Kr:
Range("D13") = Fv: Range("D19") = Kg: Range("D20") = GA:
Range("D21") = GB
If Range("D18") > 1.5 Then Range("E18") = "Stable au renversement"
Else Range("E18") = "Rédéfinir les données"
If Range("D19") < 0.75 Then Range("E19") = "Stable au glissement"
Else Range("E19") = "Rédéfinir les données"
If Range("D20") < 1 Then Range("E20") = "Stabilité interne vérifiée"
Else Range("E20") = "Rédéfinir les données"
'Mur d'encaissement
Hm = Hb + Hc + 0.3: Qt = 0.204 * 900 * Hm ^ 2: Qe = 500 * Hm ^ 2: Bm
= 0.5
While R < 1.5
Bm = Bm + 0.1: Pm = 2500 * Hm * (Bm - A) / 2: Ym = 0.5 * A ^ 2 * Hm
+ (A + 0.5 * (Bm - A) * (Hm * (Bm - A) / 3)) / (A * Hm + (Hm * (Bm -
A) / 3))
Mmr = Qe * (Hb + Hc) / 3: Mms = Pm * Ym + Qt * Hm / 3: R = Mms / Mmr

```

Wend

'Affichage mur d'encaissement

```
Range( "D24" ) = Hm: Range( "D25" ) = Bm: Range( "D26" ) = Qt:
Range( "D27" ) = Qe: Range( "D28" ) = Pm: Range( "D29" ) = Mms:
Range( "D30" ) = Mmr: Range( "D31" ) = R
```

'Prise d'eau

```
Het = (Feuil2.Range( "D64" ) / (0.5 * L * (20) ^ 0.5)) ^ (2 / 3): Ha = 0.3 * Hb: DHap = Hb + Het - Ha: Sp = Feuil2.Range( "D65" ) / (0.5 * (20 * DHap) ^ 0.5)
Hp = (Sp / 1.067) ^ 0.5: lp = Sp / Hp: Hgr = 2.4 * (0.005 / 0.05) ^ (4 / 3) * ((Feuil2.Range( "D65" ) / Sp) ^ 2 / 20) * Sin(45 * 3.14159 / 180)
Hcc = (0.5 * (Feuil2.Range( "D65" ) / Sp) ^ 2) / 20
```

'Affichage prise d'eau

```
Range( "D34" ) = Het: Range( "D35" ) = Ha: Range( "D36" ) = DHap:
Range( "D37" ) = Sp: Range( "D38" ) = Hp: Range( "D39" ) = lp:
Range( "D40" ) = Hgr + Hcc
```

'Canal d'améné

```
Select Case Feuill1.Range( "D92" )
Case "Betonné": Km = 60: Case "Maçonné": Km = 45: Case "En terre":
Km = 35: End Select
i = 0.0001
While Uca < 0.9
i = i + 0.0001: Hca = ((Feuil2.Range( "D65" ) ^ 3) / (2 * Km ^ 3 * i ^ (3 / 2))) ^ (1 / 8): Bca = 2 * Hca: Eca = A: Uca = Feuil2.Range( "D65" ) / (2 * Hca ^ 2)
Wend
'Affichage canal d'améné
Range( "D42" ) = Bca: Range( "D43" ) = Eca: Range( "D44" ) = Hca:
Range( "D45" ) = 0.5 * Hca: Range( "D46" ) = Uca: Range( "D47" ) = i
```

'Canal et déssableur

```
Ld = (Feuil2.Range( "D65" ) / (0.37 * Feuill1.Range( "D94" ))) ^ 0.5: Hd = 0.37 * Ld: LLd = Feuil2.Range( "D65" ) / (Ld * Feuill1.Range( "D95" ))
```

'Affichage déssableur

```
Range( "D51" ) = Ld: Range( "D50" ) = Hd: Range( "D52" ) = LLd:
Range( "D53" ) = A: Range( "D54" ) = Hd * LLd * Ld
```

'Chambre de mise en charge et conduite forcée

```
Select Case Feuill1.Range( "D98" )
Case "Acier soudé": nnn = 0.012: Case "Polyéthylène": nnn = 0.009:
Case "PVC": nnn = 0.009: Case "Ciment amiante": nnn = 0.011
```

```

Case "Fonte": nnn = 0.014: Case "Fonte ductile": nnn = 0.013: End
Select
Vu = 6.7 * Feuil2.Range("D66"): Vch = 2.5 * Vu: Dc = (2.69 * (nnn ^
2 * Feuil2.Range("D66")) ^ 2 * Feuill.Range("D99")) /
Feuill.Range("D83")) ^ 0.1875) / Feuill.Range("D97")
Lch = 5 * Dc * Feuill.Range("D97"): Hch = Lch / 0.96: LLch = Vch /
(Lch * Hch): Sch = Lch * LLch: Ec = 2.5 * Dc + 2.4: Hec = 0.04 *
((Feuil2.Range("D66")) / (3.1415 * Dc ^ 2 / 4)) ^ 2 / 20
HHgr = 2.4 * (0.005 / 0.05) ^ (4 / 3) * ((Feuil2.Range("D66")) /
(3.1415 * Dc ^ 2 / 4)) ^ 2 / 20) * Sin(45 * 3.14159 / 180)
Hvp = 0.6 * ((Feuil2.Range("D66")) / Feuill.Range("D97")) / (3.1415
* Dc ^ 2 / 4)) ^ 2 / 20)
Hcf = 10.3 * (0.002 ^ 2 * (Feuil2.Range("D66")) /
Feuill.Range("D97")) ^ 2) * Feuill.Range("D99") / (Dc ^ 5.333)
C = (((2.1 * 10 ^ 9) / 1000) / (1 + (2.1 * 10 ^ 9) * Dc / (Ec * 20.6
* 10 ^ 6))) ^ 0.5: Tcr = 2 * Feuill.Range("D99") / C
'Affichage Chambre de mise en charge et conduite forcée
Range("D56") = Vu: Range("D57") = Vch: Range("D58") = Sch:
Range("D59") = Lch: Range("D61") = Hch: Range("D60") = LLch:
Range("D62") = A / 2
Range("D64") = 1000 * Dc
Range("D65") = Ec: Range("D66") = HHgr: Range("D67") = Hec:
Range("D69") = Hvp: Range("D68") = Hcf: Range("D70") = HHgr + Hec +
Hvp + Hcf
Range("D71") = C: Select Case Tcr: Case 1.0001 To 10000000:
Range("D72") = Tcr: Case -100000 To 1: Range("D72") = Tcr + 0.3: End
Select: Range("D73") = 10 * Range("D72")
'Range("D75") = (2.69 * (0.012 ^ 2 * 3.12 ^ 2 * 950 / 155) ^ 0.1875)
End Sub

```

A-I-3- Equipements électromécaniques

```

Private Sub Worksheet_SelectionChange(ByVal Target As Range)
Dim N, Hn, nt, Qt, nQ, npi, Dp1, Bp2, Dpe, Df1, Df2, Df3, Dke, Dki,
Pt, Pel
Dim kv, alfa1, delta, betal, beta2, pi, Dbext, Dbint, Bb, Rbi, Rbc,
alfa, betald, alfad
pi = 3.1416: kv = 0.98: alfa1 = 16 * pi / 180: beta2 = 90 * pi /
180: delta = 80.5 * pi / 180
'Vitesse spécifique
N = Range("D5") / 60: Hn = Feuil2.Range("D70"): nt =
Feuill.Range("D97"): Qt = 0.85 * Feuil2.Range("D66") / nt
nQ = (N * (Qt) ^ 0.5) / (10 * Hn) ^ (3 / 4): Pt = 9.81 * Qt * Hn
Range("D7") = Hn: Range("D8") = Qt: Range("D6") = nt: Range("D9") =
nQ: Range("D10") = Pt
'Turbine Pelton
Select Case nQ

```

```

Case 0 To 0.00499: Range("B11") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Pelton"
Range("D12") = "-": Range("D13") = "-": Range("D14") = "-":
Range("D15") = "-"
Case 0.005 To 0.047: Range("B11") = "On peut utiliser une turbine
Pelton"
npi = Feuill.Range("D103"): Range("D12") = npi: Dp1 = 1000 * (0.6 *
Hn ^ 0.5) / (N * npi ^ 0.5)
Bp2 = 1000 * 1.178 * (Qt / (Range("D12") * (10 * Hn) ^ 0.5)) ^ 0.5:
Dpe = 1000 * 1.68 * (Qt / (npi * (10 * Hn) ^ 0.5)) ^ 0.5
Range("D13") = Dp1: Range("D14") = Bp2: Range("D15") = Dpe
Case 0.04701 To 1000: Range("B11") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Pelton"
Range("D12") = "-": Range("D13") = "-": Range("D14") = "-":
Range("D15") = "-"
End Select
'Turbine Francis
Select Case nQ
Case 0 To 0.0499: Range("B16") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Francis"
Range("D18") = "-": Range("D19") = "-": Range("D20") = "-"
Case 0.05 To 0.63: Range("B16") = "On peut utiliser une turbine
Francis"
Df3 = 1000 * (84.5 * (0.31 + 2.488 * nQ) * Hn ^ 0.5) / (60 * N): Df2
= Df3 / (0.96 + 0.3781 * nQ)
Select Case nQ: Case 0.05 To 0.164: Df1 = Df2
Case 0.16401 To 0.63: Df1 = (0.4 + 0.095 / nQ) * Df3: End Select
Range("D18") = Df1: Range("D19") = Df2: Range("D20") = Df3
Case 0.6301 To 1000: Range("B16") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Francis"
Range("D18") = "-": Range("D19") = "-": Range("D20") = "-"
End Select
'Turbine Kaplan
Select Case nQ
Case 0 To 0.1899: Range("B21") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Kaplan"
Range("D23") = "-": Range("D24") = "-"
Case 0.19 To 1.55: Range("B21") = "On peut utiliser une turbine
Kaplan"
Dke = 1000 * (84.5 * (0.79 + 1.602 * nQ) * Hn ^ 0.5) / (60 * N): Dki
= (0.25 + 0.095 / nQ) * Dke
Range("D23") = Dke: Range("D24") = Dki
Case 1.5501 To 1000: Range("B21") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Kaplan"
Range("D23") = "-": Range("D24") = "-"
End Select
'Turbine Banki
Select Case nQ

```

```

Case 0 To 0.0599: Range("B25") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Banki"
Range("D27") = "-": Range("D28") = "-": Range("D29") = "-":
Range("D30") = "-": Range("D31") = "-"
Range("D32") = "-": Range("D33") = "-"
Case 0.06 To 1.57: Range("B25") = "On peut utiliser une turbine
Banki"
Dbext = 30 * Sqr(20 * Hn) * kv * Cos(alfa1) * 1000 / (pi * 60 * N)
Dbint = Dbext * Sqr(2 * Sin(alfa1) / (1 + Sin(alfa1)))
Bb = 2 * Qt * 1000000 / (delta * Dbext * kv * Sin(alfa1) * Sqr(20 *
Hn))
beta1 = Atn(2 * Tan(alfa1))
Rbi = (Dbext ^ 2 - Dbint ^ 2) / (4 * (Dbext * Cos(beta1) - Dbint *
Cos(beta2)))
Rbc = Sqr(Dbint ^ 2 / 4 + Rbi ^ 2 - Dbint * Rbi * Cos(pi - beta2))
Range("D27") = Dbext: Range("D28") = Dbint: Range("D29") = Bb:
Range("D30") = Rbi: Range("D31") = Rbc
beta1 = Atn(2 * Tan(alfa1)): alfa = 2 * Atn(Cos(beta1) / (Dbint /
Dbext + Sin(beta1))): betald = beta1 * 180 / pi: alfad = alfa * 180
/ pi
Range("D32") = betald: Range("D33") = alfad
Case 1.5701 To 1000: Range("B25") = "On ne peut pas utiliser une
turbine Banki"
Range("D27") = "-": Range("D28") = "-": Range("D29") = "-":
Range("D30") = "-": Range("D31") = "-"
Range("D32") = "-": Range("D33") = "-"
End Select
'Génératrice
Range("D36") = nt: Range("D37") = Feuill.Range("D105"): Range("D38") =
Feuill.Range("D106")
Select Case Feuill.Range("D105") * Feuill.Range("D106") +
Feuill.Range("D106")
'Fréquence 50Hz
Case 150: Range("D39") = 3000: Case 250: Range("D39") = 1500: Case
350: Range("D39") = 1000: Case 450: Range("D39") = 750
Case 550: Range("D39") = 600: Case 650: Range("D39") = 500: Case
750: Range("D39") = 428: Case 850: Range("D39") = 375
Case 950: Range("D39") = 333: Case 1050: Range("D39") = 300: Case
1150: Range("D39") = 272: Case 1250: Range("D39") = 250
Case 1350: Range("D39") = 231: Case 1450: Range("D39") = 214
'Fréquence 60Hz
Case 180: Range("D39") = 3600: Case 300: Range("D39") = 1800: Case
420: Range("D39") = 1200: Case 540: Range("D39") = 900
Case 660: Range("D39") = 720: Case 780: Range("D39") = 600: Case
900: Range("D39") = 540: Case 1020: Range("D39") = 450
Case 1140: Range("D39") = 400: Case 1260: Range("D39") = 360: Case
1380: Range("D39") = 327: Case 1500: Range("D39") = 300
Case 1620: Range("D39") = 277: Case 1740: Range("D39") = 257

```

```

End Select
Pel = 7 * Qt * Hn: Range( "D40" ) = Pel: Range( "D41" ) = Range( "D5" ):
Range( "F41" ) = Range( "D39" )
End Sub

```

Annexe II : Impact de l'aménagement sur l'environnement

Comme toutes les ouvrages dans le génie civil, l'installation d'une microcentrale hydroélectrique engendre plusieurs impacts dans des divers domaines (humaniste et écologique) qui peuvent être touchés depuis la phase de construction, l'implantation jusqu'à l'exploitation de nouvelle aménagement.

Le tableau ci-dessous illustre les impacts positifs et négatifs ainsi que les mesures d'accompagnement correspondantes :

Impacts positifs	Impacts négatifs
<p>Milieu humain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la condition de vie - Freine l'exode rural qui favorise parfois le banditisme dans la grande ville - Création d'une nouvelle ressource d'emploi au sein des populations local comme les industries artisanales - Développement du secteur commercial <p>Milieu écologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Canalisation des eaux sauvages qui empêche le ravissement des terres dans le canal d'amenée - Régénération de la faune aquatique et développement de la flore aquatique par l'existence des eaux retenues - L'énergie hydroélectrique est non polluante. Elle n'émet aucune chaleur, ni aucun gaz nocif. 	<p>Milieu humain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Croissance rapide au point de vue démographique qui n'est pas proportionnel à l'énergie disponible - Perturbation par les bruits de turboalternateurs. - Submersion des villages qui doivent être déplacés <p>Milieu écologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abattages des arbres - Diminution ou suppression des certaines espèces de poisson - Changement de niveau de la nappe phréatique - Perturbation de l'équilibre écologique

Tableau annexe 1 : Illustrer des impacts de l'aménagement sur l'environnement

Annexe III : Classification d'un bassin versant

CATEGORIE	DESCRIPTION
R1	Pentes extrêmement faibles, inférieures à 0,1 à 0,2%
R2	Pentes extrêmement faibles, inférieures à 0,5% : bassins de plaine.
R3	Pentes modérées entre 0,5 et 1% : terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulations de terrain.
R4	Pentes assez fortes : pentes longitudinales comprises entre 1 et 2%, pentes transversales supérieures à 2%. Zones des ondulations de terrain.
R5	Pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 2 et 5%, pentes transversales comprises entre 8 et 20%. Régions des collines.
R6	Pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 5%, pentes transversales supérieures à 20%. Régions de montagne.

Tableau annexe 2 : *Classification du relief selon AUVRAY et RODIER (ORSTOM)*

CATEGORIE	DESCRIPTION
P1	Bassins rigoureusement imperméables. Bassins entièrement rocheux ou argileux.
P2	Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméable.
P3	Bassins assez imperméables comportant des zones perméables d'étendue notable ou bassins homogènes assez peu perméables.
P4	Bassins assez peu perméables tels qu'on en rencontre en zone de décomposition granitique avec abondance d'arènes.
P5	Bassins perméables : sables ou carapace latéritique très fissurée.

Tableau annexe 3 : *Classification géomorphologique selon AUVRAY et RODIER (ORSTOM)*

Annexe IV : Coefficients et paramètres pour l'étude d'un bassin versant

Nature de la couverture végétale	Petits bassins de 0 à 10ha et présentant une pente de				Petits bassins de 10 à 40ha et présentant une pente de			
	<5 %	5 à 10%	10 à 30%	>30 %	<5%	5 à 10%	10 à 30%	>30 %
Plates-formes et chaussées de routes, cours	0,95							
Terrains dénudés ou végétation non couvrante	0,80							
Terrains déjà attaqués par l'érosion								
Labours frais								
Cultures couvrantes, céréales hautes	0,75							
Terrains de parcours, chiendent ras		0,80	0,90	0,95	0,70	0,75	0,80	0,85
Petite brousse clairsemée								
Prairies	0,70							
Brousse dense. Savane à sous-bois		0,75	0,80	0,85	0,90	0,52	0,60	0,72
Forêt ordinaire en futaie	0,30							
Sous-bois touffus		0,50	0,60	0,70	0,13	0,20	0,25	0,30
Grande forêt primaire	0,20	0,25	0,30	0,440	0,15	0,18	0,22	0,25

Tableau annexe 4 : Coefficient de ruissellement moyen dans la méthode rationnelle

R _i	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
R ₁	16,9	16,7	17,1	9,7	5,7	4,1	3,7	3,4	2,6	2,4	4,8	12,9
R ₂	17,9	18,2	20,5	8,8	4,8	3,7	3,1	2,8	2,2	2,0	4,4	11,6
R ₃	13,4	14,8	15,8	9,9	6,9	5,7	5,8	6,0	4,4	3,6	4,5	9,2
R ₄	23,8	19,0	17,2	6,8	3,8	2,7	2,4	2,1	1,6	1,5	3,3	15,8

Tableau annexe 5 : Coefficient de répartition régionale R_i

R1 = Hautes terres centrales

R2 = Grands bassins sortie Nord-Ouest des Hautes terres

R3 = Bordure orientale des hautes terres

R4 = Bassin du centre Sud, Centre Ouest et petits bassins de la bordure occidentale des hautes terres

Stations hydrométriques	B
Ikopa à Bevomanga	49
Andromba à Tsinjony	50
Ikopa à Antsatrana	47
Betsiboka à Ambodiroka	46
Mangoro à Mangoro	47
Mania à Fasimena	45
Vohitra à Rogez	42
Namorona à Vohiparara	63
Manamantanana à Iarintsena	50
Zomandao à Ankaramena	49
Ihosy à Ihosy	47
Matsiatra à Malakialina	46
Mangoky à Banian	49
Mandrare à Amboasary	47
Mananara Sud à Bevia	54
Sambirano à Ambanja	36

Tableau annexe 6 : Valeurs du paramètre régional B

Station pluviométrique	b
Tananarive météo	0,14
Arivonimamo	0,28
Ivato aéroport	0,26
Fianarantsoa	0,26
Tuléar	0,24
Majunga	0,35
Tamatave	0,40
Diego Suarez	0,39
Andapa	0,29

Tableau annexe 7 : Valeurs du paramètre régional b

	Etats des berges et du fond			
	Parfait	Bon	Assez bon	Mauvais
<i>A. Canaux artificiels</i>				
Canaux et fossés en terre, droit et uniforme	59	50	44	40
Canaux et fossés avec pierres, lisses et uniformes	40	33	30	29
Canaux et fossés avec pierres, rugueux et irréguliers	29	25	22	-
Canaux en terre à larges méandres	44	40	36	33
Canaux en terre dragués	40	36	33	30
Canaux avec lit de pierres rugueuses, herbes sur les rives de terre	40	33	29	25
Canaux à fond en terre, côtés avec pierres	36	33	30	29
<i>B. Cours d'eau naturelle</i>				
1) Propres, rives en ligne droite, l'eau au niveau le plus haut, sans gué ou fosse profonde	40	36	33	30
2) Le même que 1) mais avec quelques herbes et pierres	33	30	29	25
3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres	29	25	22	20
4) Le même que 3), l'eau à l'étiage, pentes et section plus faibles	25	22	20	18
5) Le même que 3) avec quelques herbes et pierres	30	29	25	22
6) Le même que 4) avec pierres	22	20	18	17
7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes	20	17	14	13
8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes	13	10	8	7

Tableau annexe 8 : Valeurs du coefficient de rugosité K_m de la formule de Manning Strickler

Annexe V- Description et fonction des éléments d'une centrale

A-V-1- Ouvrages de génie civil

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

A-V-1-1- Prise d'eau [4]

Fonction

La prise d'eau répond à trois fonctions principales :

- dériver une partie du débit de la rivière dans un canal ;
- limiter le débit maximal dérivable dans le canal ;
- retenir les plus gros débris flottants charriés par la rivière avant l'entrée de l'eau dans le canal.

Elle doit être installée en amont le plus près possible de la forte déclivité naturelle du cours d'eau. En effet la longueur des ouvrages d'aménée doit être limitée pour minimiser le coût et les pertes d'énergie.

Description

La prise d'eau comprend dans tous les cas:

- Un barrage : sa hauteur limite le débit maximal retenu, il doit laisser un débit minimal dans le cours normal de la rivière. Ce débit est appelé débit réservé, et le débit minimal requis pour le débit réservé est défini sur base de considérations écologiques. Son dimensionnement doit tenir compte des trois types de critères repris ci-dessus. Il peut parfois tirer parti des faciès naturels.
- Une entrée dans le canal : elle doit pouvoir limiter les blocages par sédimentation et éviter le risque d'obstruction en période de crue lorsque l'entrée d'eau n'est pas accessible.
- Un dégrilleur : il s'agit d'une grille placée au niveau de l'entrée dans le canal. Elle retient les débris flottants. Les barreaux de la grille doivent être suffisamment espacés que pour éviter l'obstruction lors des crues.

Souvent, il contient en plus :

- une échelle à poisson : cours d'eau de contournement du barrage qui permet la migration des poissons ;
- un évacuateur de crue : permet concentrer le passage des débris de crue à un endroit du barrage.

A-V-1-2- Conduite d'eau

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

➤ Le canal d'amenée

Fonction

Etant donnés le coût et les pertes de charge plus élevées dans la conduite forcée, il faut optimiser le compromis entre la section de la conduite, sa longueur et son inclinaison. C'est la fonction du canal d'amenée. Ceci s'obtient par le positionnement de la prise d'eau, le tracé du canal et sa section.

Le canal d'amenée doit également assurer les fonctions suivantes :

- contrôle du débit maximal en cas d'inondation ;
- contrôle de la sédimentation : les particules solides en suspension dans l'eau doivent être déposées avant l'entrée dans la conduite forcée mais ne peuvent pas s'amonceler dans le canal.

Une partie de l'eau du canal peut également être prélevée pour de l'irrigation.

Description

Une vanne à l'entrée du canal limite le débit d'eau, c'est une sécurité en prévision des crues de la rivière. Elle permet également d'isoler le canal. Cette vanne est généralement précédée d'un déversoir pour guider le surplus d'eau et éviter une inondation. Le déversoir rejoint la rivière.

Le tracé tient compte de la stabilité des terrains et assure une pente douce constante le long du canal. Il existe de nombreuses géométries possibles pour un canal d'amenée. Le choix de la combinaison pente-géométrie doit tenir compte des contraintes de vitesse de l'eau énoncées ci-dessus.

D'autre part, le canal d'amenée doit faire face à certaines caractéristiques du terrain : risque de glissement de terrain, crevasses.

D'un point de vue sécurité, la micro hydraulique n'offre pas de danger notable. En effet, la largeur et la profondeur du canal sont celles d'une petite rivière sans turbulence. Les débordements potentiels du canal sont dus aux précipitations et doivent être canalisés comme nous l'avons dit par des déversoirs.

➤ Le dessableur

Fonction

L'eau déviée par la prise dans le canal de dérivation transporte avec elle des matières en suspension (boues) et des sédiments (sable, gravier) qui doivent être éliminées dans un dessableur.

Sans cela, ces matériaux se déposeront dans le canal qu'il faudra nettoyer périodiquement à grands frais. Ils provoqueront également une usure rapide de la turbine et des vannes qui devront être réparés ou remplacés prématurément.

Description

Le dessableur est un bassin plus large que le canal et dans lequel la vitesse de l'eau est suffisamment ralentie pour que les particules solides s'y déposent.

Les sédiments seront évacués périodiquement à la rivière par vidange et rinçage du bassin. Dans certains types de dessableurs le nettoyage s'effectue automatiquement en continu pendant les crues à l'aide d'un astucieux système de purge.

➤ **La chambre de mise en charge**

Fonction

La chambre de mise en charge relie le canal d'amenée et la conduite forcée. Elle doit assurer toutes les fonctions permettant de conditionner parfaitement l'eau pour son entrée en conduite puis en turbine. A savoir :

- assurer la propreté intégrale de l'eau à son entrée en conduite
- prévoir l'inondation maximale en cas d'arrêt de la turbine

Description

La chambre de mise en charge comporte un bassin de décantation pour les particules solides en suspension, et une grille qui retient les déchets flottants charriés par le cours d'eau. L'espacement entre les barreaux de la grille est dimensionné pour retenir les déchets que ne peut supporter la turbine. Elle contient également un déversoir par lequel s'écoule l'eau qui n'est pas consommée par la turbine. Il doit être dimensionné pour le débit maximum de l'installation en cas d'arrêt de la turbine.

Une vanne permet le nettoyage du bassin de décantation qui récolte sable et gravillons. Lorsque cette vanne est ouverte la centrale ne produit pas d'énergie, car le niveau d'eau est trop faible. Généralement l'opération de vidange se fait lorsque la vanne d'entrée du canal est fermée, de façon à faciliter le travail.

➤ **La conduite forcée**

Fonction

La conduite forcée guide l'eau de la chambre de mise en charge jusqu'à l'entrée en turbine. Elle donne à l'eau son énergie récupérable, d'après les lois de la mécanique des fluides.

Description

La conduite forcée consiste en une succession de tuyaux raccordés par des joints de raccord, ou soudés. Elle doit limiter les courbures, les changements de section, les discontinuités, la corrosion des parois internes et externes. Lorsqu'elle n'est pas enterrée, elle est maintenue au sol par des blocs de béton l'empêchant de se déformer.

Dans la majeure partie des sites, une vanne permet d'isoler la turbine et la conduite. Elle est placée à la sortie de la conduite. Le choix de la vanne dépend du coût, de la disponibilité et de la pression maximale supportable par la vanne. La vanne papillon est très utilisée.

➤ **Le canal de fuite**

Un canal de fuite, qui transporte l'eau de la sortie de la turbine jusqu'à la rivière. Ce canal est en général excavé, muni de vanne en bois qui permettent les opérations d'entretien.

A-V-1-3- Centrale

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

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

A-V-2- Equipements de production

Les équipements de production regroupent les équipements hydrauliques et les équipements électriques

A-V-2-1- Equipements hydrauliques [1]

➤ **Turbines hydrauliques**

Les turbines hydrauliques sont utilisées dans les installations hydroélectriques pour entraîner les générateurs qui produisent le courant électrique. Les pales sont parfois orientables afin d'obtenir le rendement maximal selon la hauteur de la chute d'eau. Certaines turbines sont maintenant aussi adaptées à l'usage des particuliers ayant une petite hauteur de chute et/ou un petit débit.

Les fonctions sont remplies de manière parfois très différente suivant les turbines. C'est précisément cela qui permet d'obtenir des propriétés et donc des domaines d'utilisation distincts de chaque modèle.

Il existe deux familles distinctes de turbines, selon que cette dernière exploite d'avantage l'énergie de l'eau par le choc de l'eau sur les aubages (turbine à action) ou par les forces hydrodynamiques dues à la courbure des aubages (turbine à réaction). On retrouvera par exemple dans la première catégorie les turbines Cross Flow et Pelton et dans la deuxième les turbines Francis et Kaplan.

Ces dernières sont quatre turbines couramment utilisées en micro hydro.

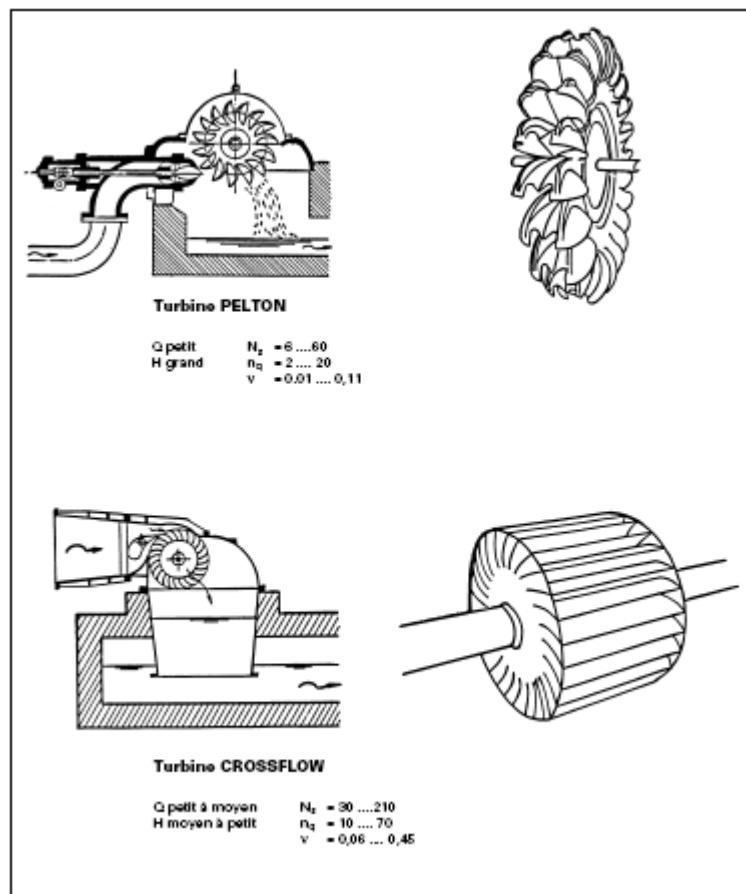


Figure annexe 1: Turbine à action

Principe de fonctionnement

Un jet libre agit sur des augets ou des aubes profilées placées sur la périphérie d'une roue (action).

Ce jet exerce une force sur l'auget en mouvement de rotation, qui est transformée en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine.

La turbine à action est caractérisée par le fait que l'énergie à disposition de l'aubage est entièrement sous forme d'énergie cinétique. L'échange d'énergie entre l'eau et l'aubage a lieu à pression constante, généralement la pression atmosphérique. La roue de la turbine est dénoyée et tourne dans l'air.

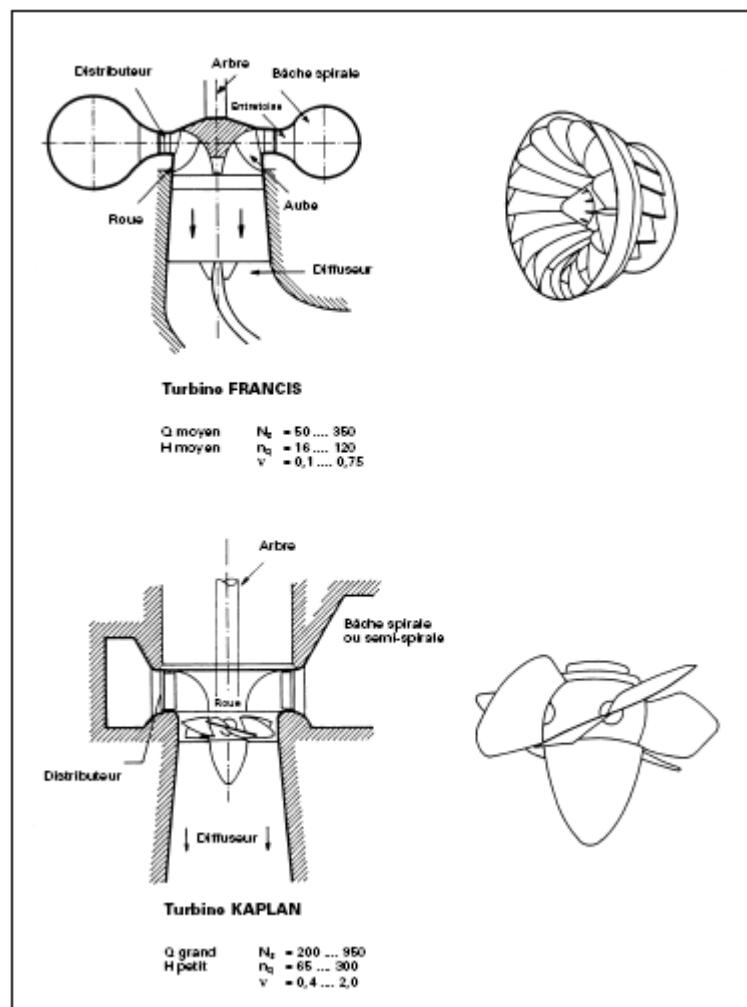


Figure annexe 2: *Turbine à réaction*

Principe de fonctionnement

Une turbine à réaction est une machine fermée (noyée) qui utilise à la fois la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et une différence de pression.

Deux principes sont à la base de son fonctionnement :

1. la création d'un tourbillon au moyen d'une bâche spirale, d'aubages directeurs, ou les deux à la fois ;
2. la récupération du mouvement circulaire du tourbillon 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.

Ces aubages se comportent comme une aile d'avion : 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.

Comme pour une aile d'avion, la force portante résulte d'une différence de pression entre les deux faces du profil (intrados et extrados).

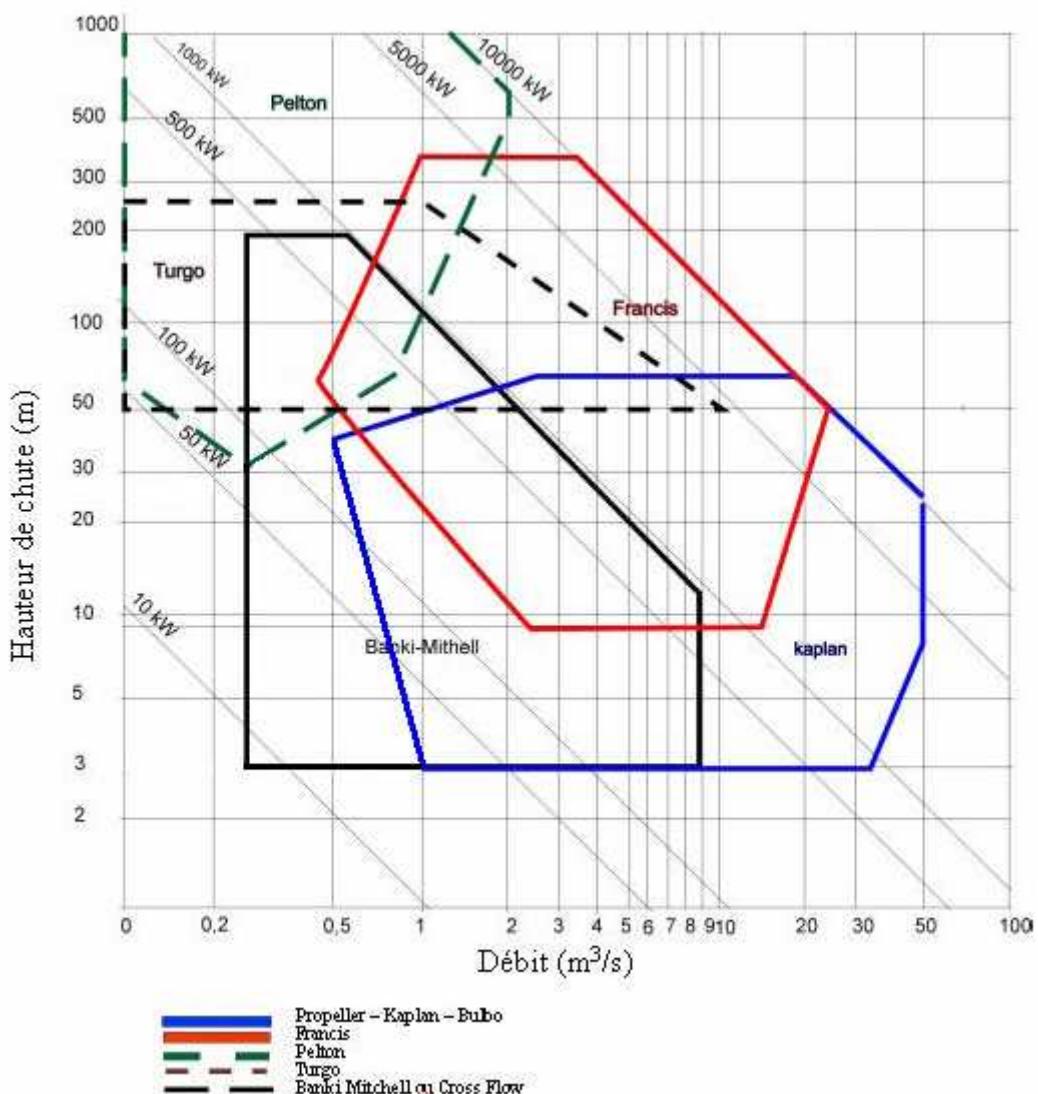


Figure annexe 3 : Domaine d'utilisation des différents types de micro turbines

➤ **Aspirateur diffuseur**

Il s'agit d'un tube cylindrique ou évasé qui recueille l'eau en aval de la turbine et la conduit jusqu'au canal de fuite. Son rôle est de récupérer la hauteur d'eau entre la turbine et le canal de fuite, en provoquant une dépression en sortie de la turbine. Il n'est pas utilisé pour tous les types de turbines, certaines d'entre elles n'étant pas conçues pour pouvoir exploiter la dépression.

L'utilisation d'un aspirateur diffuseur augmente inévitablement le risque de cavitation dans la turbine. Pour rappel, la cavitation apparaît dans un fluide lorsque la pression du fluide devient inférieure à la pression de vaporisation du fluide. Lorsque ce phénomène se produit en un point d'un fluide, une bulle de fluide vaporisé se forme. Elle implose par recondensation dès qu'elle retrouve une zone de pression plus élevée. Ce phénomène peut endommager très sérieusement la roue de la turbine, et dans tous les cas, conduit à l'usure prématuée de la roue.

Afin de contrôler la dépression, la longueur d'un aspirateur diffuseur est donc limitée dans le cas des turbines à action.

L'eau doit être rejetée au point le plus bas. Le canal est établi soit à l'air libre, soit en galerie dans le cas où la centrale est souterraine.

A-V-2-2- Equipements électriques [5]

➤ Génératrices

La puissance mécanique est transformée en puissance électrique par un générateur de courant. Il est mis en rotation par la turbine ; en général par un accouplement direct ou par un système de transmission. Il existe deux types de générateurs:

- ✓ asynchrone: généralement utilisé en parallèle avec le réseau;
- ✓ synchrone: généralement utilisé en îlot.

➤ Autres composants électriques de la centrale

Les autres composants constituant une centrale hydraulique sont les suivants :

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

➤ Pylônes

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

Les pylônes en bois :

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

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

Cependant, le bois peut également pourrir ou subir des attaques par les insectes. Pour éviter ce genre de désagrément, il peut être traité en conséquence. Mais cela nécessite la

mise en œuvre de technologies plus complexes, qui ne sont pas forcément disponibles localement.

Les pylônes en béton armé :

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

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

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

Les pylônes en acier :

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

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

➤ Lignes de transport

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

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

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

A- BIBLIOGRAPHIE

- [1] – ANDRE.L, JAUMOTTE, DECOCK.P, VERDURAND.G (2000) : Turbines hydrauliques, Bruxelles (Document pdf : www.codeart.org)
- [2] - Pierre Chaperon, Joël Danloux et Luc Ferry, ORSTOM (1993) : Fleuves et Rivières de Madagascar
- [3] - Louis DURET - Université de Madagascar, ORSTOM-MRS (1976) : Estimation des débits de crues à Madagascar »
- [4] - MAUCOR J. P - Ministère de la coopération, G.R.E.T (1980) : Les microcentrales hydrauliques, Français. Genève, Nations Unies
- [5] - ELECTRICITE DE France, Les microcentrales hydroélectriques. Principe et pratique (Document pdf)
- [6] - André L-Jaumotte et Pierre Decock : Aménagements hydroélectriques (Document pdf)
- [7] - APD – Par l'association AIDER (2009) : Etudes de la pico centrale hydroélectrique d'AMBARAVARANALA MERIKANJAKA
- [8] - APS – Par ASE/rHYviere (2009) : Etude du réseau hydroélectrique de Tolongoina
- [9] - Technique d'ingénieur - Document PDF (2006) : Le bassin versant et son complexe

B- WEBOGRAPHIE

- ☞ <http://www.bankitur.htm>
- ☞ <http://www.retscreen.net>
- ☞ <http://www.EDF.com>
- ☞ <http://www.swisstop.htm>
- ☞ <http://www.esha.be>

Titre : ETUDE DE L'AMENAGEMENT D'UN BASSIN VERSANT ET DETERMINATION DES PARAMETRES DE LA MICROCENTRALE CORRESPONDANTE. APPLICATION A QUELQUES VILLAGES DE MADAGASCAR

RESUME

Le présent document constitue une étude complète sur l'aménagement d'un bassin versant et la détermination des paramètres de la micro hydroélectricité correspondante. Il s'agit du calcul des dimensions principaux à l'étude technique d'un infrastructure hydroélectrique.

Cette étude nécessite la connaissance de quelques notions sur le domaine hydroélectrique. On a alors effectué, au début du travail, une approche théorique, l'intérêt étant de voir toutes les relations de base permettant le dimensionnement.

D'une façon générale, les calculs présentent une partie spécifique et une partie standard à tous les cas, mais n'empêche que la procédure est toujours assez longue. C'est ainsi qu'on a créé le logiciel dans le but de pouvoir obtenir automatiquement les données nécessaires pour le dimensionnement. L'étude se termine par des applications pour quelques villages de Madagascar.

Mots clés : hydraulique, hydroélectrique, dimensionnement, turbine, bassin versant

ABSTRACT

This document constitutes a study supplements on the installation of a catchment area and the determination of the parameters of the corresponding micro-hydropower. It is about the calculation of dimensions principal being studied technical of a hydroelectric infrastructure.

This study requiring some knowledge of concepts on the hydroelectric field, we carried out at the beginning of this work a theoretical approach. The interest of this approach is to find out all the basic relations allowing dimensioning.

Generally, calculations present a part of specific and standard part to all the cases, but the fact remains that the procedure is always rather long. Thus we created the software with an aim of being able automatically to obtain the data necessary for dimensioning. The study ends in applications for some villages of Madagascar.

Keywords: hydraulic, hydroelectric, dimensioning, turbine, catchment area

ENCADREUR :

Mr RAKOTOMALALA Minoson
Professeur Titulaire

IMPETRANT :

RANDRIANARIVONY Lovasoa
Lot IVK 85 I Anosivavaka Ambohimanarina
Antananarivo 101- Madagascar
E-mail: ranarylova@gmail.com
Téléphone:+261 32 40 072 55/+261 33 04 019 35