

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU



Faculté de Génie Electrique et de l'Informatique
Département d'Electrotechnique

MEMOIRE

DE FIN D'ETUDES
en vue de l'obtention du Diplôme
d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique

Option: Réseaux électrique

Thème

Etude de l'implantation d'une mini
centrale hydroélectrique sur le réseau
d'eau potable à Tizi Ouzou

Proposé et dirigé par :

Mr_ A .MIOUAT

Réalisé par :

M^{elle} : AIT HAMOU Yamina
BOUNOUAR Taous
BEN HAMOU Fatiha

Promotion: 2010/2011

Remerciements

Remerciements

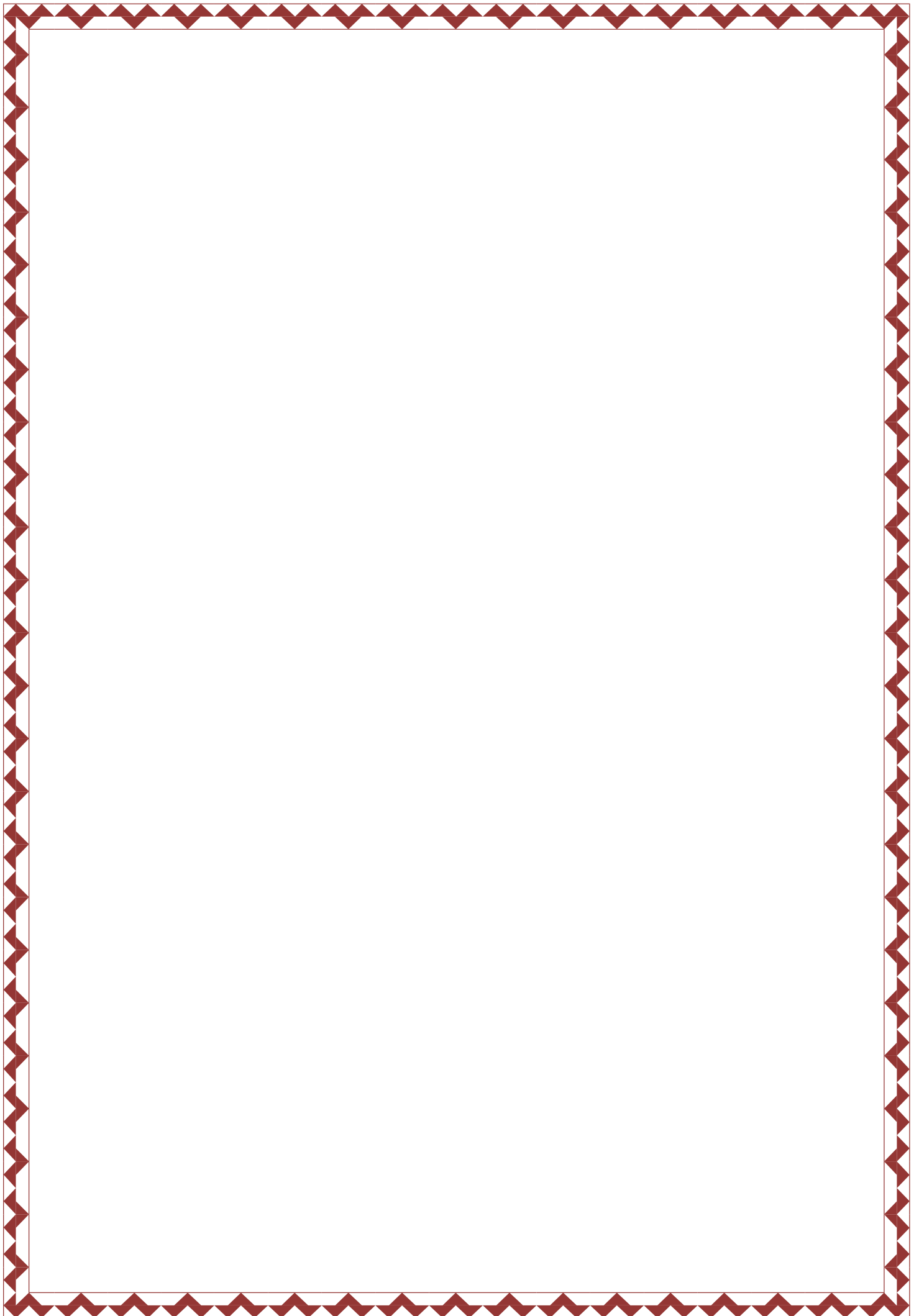
Aux termes d'un semestre de travail, nous sommes heureux de pouvoir exprimer toute notre gratitude envers notre promoteur

Mr. A.MIOUAT, Maître assistant en Electrotechnique à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour son encadrement, pour son soutien et ses précieux conseils qui furent une aide précieuse. Nous n'aurions certainement pas entrepris ce Mémoire s'il ne nous avait pas fait découvrir et proposer ce sujet passionnant. Nous lui sommes reconnaissant de nous avoir bénéficié de ses connaissances, de sa compétence ainsi que pour toute la documentation qu'il a mise à notre disposition. Qu'il soit assuré de notre entière gratitude

Notre profonde gratitude envers **Mr. OTMANE CHERIF** Maître de conférence A(Tizi- Ouzou) pour sa disponibilité

On tient également à remercier le service de l'AIE de la Wilaya de TIZI-OUZOU pour leur accueil lors de nos différentes séminaires

Nos remerciements vont également à l'adresse des membres du jury pour l'honneur qu'il nous ferons en acceptant d'examiner notre travail.



Dédicaces :
Je dédie ce modeste travail à :
La mémoire de mon père
Ma mère,
Mes frères : Farid, Aziz, Ali, Samir, Amar
Ma sœur chafia
Toute la famille AITHAMOU
Dada Mansour
Tous mes amis
Tous mes proches, Toute la promotion 2011
d'Electrotechnique,
Tous ceux qui me sont chers.

Yamina

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers
parents qui ont sacrifié les plus belles années
d'eux-mêmes pour m'élever et évoluer en tous
confort et sécurité, mes frères et mes sœurs ainsi
mon adore fiançai Zouheir et sa famille, tous mes
amis et tous personne ayant contribué a ma
formation. Tous mes remerciements pour M^{lle} AIT
HAMOU Yamina et BOUNOUAR Taous.
Je dédie ce modeste travail à mes très chers*

Fatiha

Dédicaces :
Je dédie ce modeste travail à mes très chers
parents qui ont sacrifié les plus belles années
d'eux-mêmes pour m'élever et évoluer en tous
confort et sécurité, mes frères, ma sœur, ma tante,
mes amis
et toute la promotion 2011 d'Electrotechnique.

Taous

SOMMAIRE

Introduction générale	1
I. Les mini centrales hydroélectriques	
Introduction	3
I.1 Définition et classification des petites centrales	3
I.2 Choix de lieu d'une centrale.....	4
I.3 Principe de fonctionnement	4
I.3.1 Récupération d'énergie	5
I.4 Définition d'une mini centrale hydroélectrique.....	6
I.5 Constitution	7
I.5.1 Les ouvrages de génie civil.....	7
I.5.1.1 La prise d'eau.....	7
I.5.1.2 Le dessableur.....	8
I.5.1.3 La chambre de mise en charge.....	8
I.5.1.4 Les conduites d'eau.....	9
I.5.1.5 La centrale.....	10
I.5.2 Les équipement électromécanique.....	10
I.5.2.1 bay-pass.....	10
I.5.2.2 Les turbines.....	11
I.5.2.2.a Turbine Pelton.....	11
I.5.2.2.b Turbine Crossflow.....	13
I.5.2.3 système de régulation.....	14
I.5.2.3.a régulation vitesse débit.....	14
I.5.2.3.b Régulation charge fréquence.....	16
I.5.2.4 Les équipements électriques.....	17
I.5.2.4.1 La génératrice	17
I.5.2.4.1.a La génératrice synchrone triphasé.....	17
I.5.2.4.1.b La génératrice asynchrone triphasée	18
I.5.2.4.2 autre composants électrique.	20
I.5.2.4.3 Les pylônes	20

I.5.2.4.3.a Les pylônes en bois.....	20
I .5.2.4.3.b Les pylônes en béton armé.....	21
I .5.2.4.3.c Les pylônes en acier	22
I .5.2.4.4 Les lignes de transport.....	22
I.6 Les implantations possible sur un réseau d'eau potable.....	23
I.7 Principe de raccordement au réseau	24
Conclusion.....	25

II. Turbinage de l'eau potable

Introduction.....	26
II.1 Constitution d'un réseau d'eau potable	
II.2 Normes et prescriptions	26
II.2.1 Exigences légales.....	27
II.2.2 Exigence technique.....	27
II.2.3 Labels de qualité.....	27
II.3 Calcul hydraulique du réseau.....	27
II.3.1 Calcul de débit.....	28
II.3.1.a Le choix débit nominal d'équipement.....	28
II.3.1.b Régulateur de débit.....	30
II.3.2 La hauteur de chute brute H_B	30
II.3.3 La chute nette H_N	30
II.3.4 Les pertes de charge.....	31
II.3.4.a Définition des pertes de charge.....	31
II.3.4.b La problématique de la perte de charge.....	31
II.3.4.c Calcul des pertes de charge.....	31
II.3.4.d Influence de différent paramètre sur les pertes de charge.....	32
II.3.4.e Influence de la perte de charge sur la conduite.....	36
II.3.5 Les pertes charges dans les différents types de réseaux.....	37
II.3.5.a Réseau série	37
II.3.5 .b Réseau ramifié	37
II.3.5.c Réseau maille.....	38
II.4 Calcul du potentiel énergétique.....	39

II.4.1 Localisation du site.....	41
II.4.2 Puissance électrique.....	41
II.4.3 Production d'électricité annuelle	41
II Conclusion	42
	43

III. Etude du potentiel et choix des sites sur le réseau d'eau potable

a Tizi - Ouzou

III.1 Introduction	44
III .1 L'étude du potentiel	44
III.2 Identification des sites	45
III.2.1 Exemples de chaînes écartées.....	46
III .2.2 L'étude du potentiel de la chaîne AEP Iferhounene.....	48
III.2.3 Description du site	50
III.2.3.a La prise d'eau.....	50
III.2.3.b La conduite	51
III.2.3.c Réservoir d'arrivée.....	51
III.3 L'étude du potentiel dans la zone d'Iferhounene.....	53
III.3.1 Mesure de la hauteur de chut.....	53
III.3.1.a La hauteur brute H_B	53
III.3.1.b La hauteur nette H_N	53
III.3.2 Calcul de débit	54
III.3.3 Estimation de la puissance.....	55
III.3.4 Production d'énergie annuelle.....	55
III.4 Intérêt de la mini centrale hydroélectrique.....	58
III.5 Etude économique.....	59
III.5.1 Le coût des études.....	59
III.5.2 Le coût d'entretien et charges d'exploitation	59
III.5.3 Le coût de la construction.....	60
III.5.3.a Le coût de renouvellement de la conduite.....	60
III.5.3.b Le coût du groupe turbo-alternateur.....	61
III.5.3.c transformateur.....	61

III.5.3.d La télémaintenance	61
III.5.3.e Cellule de coupure.....	61
Conclusion.....	62
Conclusion générale.....	64

Résumé :

Produire de l'énergie, c'est puisé dans les ressources naturelles de la terre. Mais le recours au combustible fossiles (gaz naturel, pétrole....) Provoque des déséquilibres de l'écosystème dont l'espèce humaine paiera un jour les conséquences. Face à ce dilemme, il s'avère nécessaire de faire appel à des sources d'énergie nouvelles qui seront sans conséquence pour l'homme et l'environnement parmi ces énergies on peut cité :

- * L'ensoleillement : panneaux photovoltaïques, chauffe-eau solaire,
- * Le vent : éoliennes,
- * L'eau : centrale hydroélectrique, énergie des vagues,
- * Les matières organiques : biomasse,
- * La chaleur des entrailles de la terre : géothermie.

Parmi ces sources d'énergies, les petites centrales hydroélectriques courantes dans les zones montagneuses représentent un potentiel assez important (La centrale la plus grande au monde produit 240MW) non pas pour remplacer les énergies existantes mais pour palier à l'amortissement de la demande de plus en plus galopante, et préserver l'environnement.

C'est dans ce cadre que notre présent mémoire décrit une étude sur la possibilité d'implantation de mini centrales hydroélectriques sur un réseaux d'eau potable en Algérie plus particulièrement dans la grande Kabylie du fait qu'elle est une région pleine de montagnes et de dénivelés, et cela dans le but de valoriser le potentiel énergétique existant dans cette région.

Mots clés :

Centrale hydroélectrique, l'eau potable, ADE, AEP(adduction d'eau potable), turbine, conduite, réservoir,générateur.

Introduction générale

Produire de l'énergie, c'est puisé dans les ressources naturelles de la terre. Cependant, toutes les énergies ne sont pas égales vis-à-vis de l'impact sur l'environnement. Non seulement cet impact a un coût économique souvent négligé mais il provoque surtout des déséquilibres de l'écosystème dont l'espèce humaine paiera un jour les conséquences. Par exemple, les analyses climatiques mettent en évidence la corrélation existant entre la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et les températures moyennes enregistrées au cours des âges. Le recours aux combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) induit une présence accrue du CO₂ dans l'atmosphère qui, par renforcement de l'effet de serre, peut entraîner à plus ou moins long terme, de graves désordres climatiques.

Face à ce dilemme, il s'avère nécessaire de faire appel à des sources d'énergie nouvelles qui seront sans conséquence pour l'homme et l'environnement. C'est ainsi que les pays industrialisés se sont lancés dans le développement et l'utilisation des sources d'énergie renouvelables comme :

- * L'ensoleillement : panneaux photovoltaïques, chauffe-eau solaire,
- * Le vent : éoliennes,
- * L'eau : centrale hydroélectrique, énergie des vagues,
- * Les matières organiques : biomasse,
- * La chaleur des entrailles de la terre : géothermie.

Parmi ces sources d'énergies, les petites centrales hydroélectriques courantes dans les zones montagneuses représentent un potentiel assez important (La centrale la plus grande au monde produit 240MW) non pas pour remplacer les énergies existantes mais pour palier à l'amortissement de la demande de plus en plus galopante, et préserver l'environnement.

C'est dans ce cadre que notre présent mémoire décrit une étude sur la possibilité d'implantation de mini centrales hydroélectriques sur un réseaux d'eau potable en Algérie plus particulièrement dans la grande Kabylie du fait qu'elle est une région pleine de montagnes et de dénivelés, et cela dans le but de valoriser le potentiel énergétique existant dans cette région.

Notre projet se compose principalement de trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la description de la mini centrale hydroélectrique à travers la définition, le principe de fonctionnement ainsi que les différents équipements constituant la mini centrale dont le génie civil et l'électromécanique. On a introduit dans ce

même chapitre les différentes implantations possibles de la mini centrale sur un réseau d'eau potable. .

Le second chapitre présente l'aspect technique du turbinage de l'eau potable, où on va citer les normes et les prescriptions que doit avoir une mini centrale hydroélectrique. Ainsi que les concepts théoriques de calcul hydraulique et de calcul du potentiel énergétique.

Dans le dernier chapitre l'étude est basée sur le réseau d'eau potable de la wilaya de Tizi Ouzou où on a choisis les sites gravitaires pour faire l'étude du potentiel énergétique qui va nous permettre d'implanter une mini centrale hydroélectrique. Parmi tous les sites choisis, on va étudier celui de Ifferhounene à cause de sa configuration géographique qui permet d'avoir un potentiel important dont la hauteur de chute qui est importante et un débit considérable. Ce chapitre se termine par une petite étude économique sur ce type de projet.

On termine notre étude par une conclusion générale.

I .Les mini Centrales hydroélectriques

Introduction

L'hydraulique est la deuxième source d'énergie renouvelable dans le monde. Nombre de cours d'eau sont équipés de turbines qui utilisent la force motrice des chutes d'eau pour fabriquer de l'électricité. Depuis une dizaine d'années, le nombre d'installations de centrales évolue très peu car les gisements sont largement exploités. Toutefois, l'énergie hydraulique dispose encore d'un potentiel important de développement : la valorisation des réseaux d'eau existants ou à créer (eau potable, usée, d'irrigation) qui représente une ressource actuellement peu exploitée. [1]

Dans ce chapitre nous allons présenter les petites centrales hydrauliques en se basant sur la mini centrale qui sont de plus en plus utilisés.

I.1 Définition et classification des petites centrales

Une petite centrale hydroélectrique se définit comme une installation de production d'énergie, d'une puissance inférieure à 10MW. D'après l'UNIPED (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Électrique)

On classe les petites centrales hydroélectriques en fonction de la puissance installée et on parle de :

- Petite centrale pour une puissance comprise entre 2000KW et 10000KW.
- Mini centrale pour une puissance comprise entre 500KW et 2000KW.
- Micro centrale pour une puissance comprise entre 20KW et 500KW.
- Pico centrale pour une puissance inférieure à 20KW [8].

Celles-ci peuvent être classées aussi en trois catégories distinctes selon la hauteur de chute d'eau :

- Centrale à haute chute : 120 m et plus
- Centrale à moyenne chute : 30-120 m
- Centrale à basse chute : 2-30 m

Cette classification permet de définir la catégorie des sites.

Les applications sont :

- ✓ Les centrales au fil de l'eau
- ✓ Les centrales avec barrage
- ✓ Les centrales intégrées dans un canal ou un réseau d'eau potable

I.2 Choix du lieu d'une centrale

Les emplacements des usines hydrauliques sont imposés par des conditions de pluviosité et de configuration des terrains et se trouvent de ce fait pour l'Algérie en petites Kabylie, ou les cites sont les plus favorables.

Les principaux éléments qui caractérisent une centrale hydraulique sont constitués par :

- La hauteur de chute d'eau.
- Le débit d'étiage qui donne la puissance minimum sur laquelle on peut compter. la quantité d'eau qui l'alimentent annuellement et qui dépend du régime pluvial, glaciaire et du volume d'eau que peut retenir le barrage.

Selon la hauteur de chute d'eau, les centrales hydrauliques peuvent être classées en trois groupes [2]:

-Les usines de haute chute : Les centrales de haute chute ont des hauteurs de chute supérieure à 120 m; elles utilisent les turbines Pelton. Ces centrales se trouvent dans les régions montagneuses .la capacité du réservoir est relativement faible.

-Les usines de moyenne chute : Les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30 et 120 m ; elles utilisent des turbines Francis. Ces centrales sont alimentées par l'eau retenue derrière un barrage construit dans le lit d'une rivière de région montagneuse .Elle comportent un réservoir de grande capacité.

-Les usines de basse chute : Les centrales de basse chute ont des hauteurs de chute inférieure à 30 m; elles utilisent les turbines Kaplan ou Francis. Ces centrales sont établies sur les fleuves ou les rivières à fort débit.

I.3 Principe de fonctionnement

Un principe fondamental exprime que tout corps soumis à la gravité terrestre tombant fournit de l'énergie ; il en est ainsi pour les chutes d'eau. Ainsi, quelque soit sa destination, de l'eau qui coule est une source potentielle d'énergie. Ce principe s'applique surtout aux canalisations des zones montagneuses puisque tout pays de montagne possède de nombreux

réseaux d'adduction (eau potable et irrigation), et d'assainissements (eau usée) dans lesquels la dénivellation entre l'amont et l'aval est importante.

Cette différence d'altitude génère une pression souvent trop élevée pour être supportée par les canalisations ; il est alors nécessaire de la dissiper, du moins partiellement, pour assurer la pérennité des réseaux. La méthode traditionnelle consiste à installer des réducteurs de pression sur les réseaux. Ces réducteurs de pression sont destinés à abaisser la pression de l'eau en dessous d'un certain seuil de contrainte. Or une pression est une énergie potentielle. Plutôt que de la dissiper à l'aide de ces réducteurs de pression et donc de perdre cette énergie, il est possible de la transformer en électricité par l'intégration de turbines hydrauliques sur le réseau d'eau. L'énergie exploitable est donc proportionnelle à la chute d'eau (corps soumis à la gravitation), mais elle est également fonction de la masse (donc du débit) du volume d'eau. Ces deux données fondamentales vont déterminer la puissance de chaque installation. Le principe utilisé dans ce type de centrales est la conversion de l'énergie provenant d'une chute d'une masse d'eau en énergie mécanique à travers une turbine hydraulique, cette dernière entraîne un alternateur ou bien une génératrice dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique. [1]

I.3.1 Récupération de l'énergie

L'eau est amenée par une conduite forcée provenant d'un piquage sur une canalisation existante ou à mettre en place. Du fait de la dénivellation, l'eau dans la canalisation est considérée comme une chute d'eau. Celle-ci fournit de l'énergie qui correspond à l'énergie hydraulique : c'est l'énergie potentielle de l'eau.

Une turbine hydraulique, comme une roue à aube d'un moulin, installée sur de tels réseaux, va être mise en rotation par l'énergie de l'eau, sous forme d'énergie de pression ou d'énergie cinétique. L'énergie hydraulique est alors transformée en énergie mécanique directement utilisable sur un arbre en rotation. L'eau poursuit ensuite son chemin dans la canalisation.

Une fois mise en mouvement, la turbine entraîne un générateur de courant qui va transformer l'énergie mécanique, disponible sur l'arbre, en énergie électrique.

Le courant produit à la sortie du générateur doit ensuite être évacué et transporté jusqu'au point de livraison. Lorsque la production d'énergie électrique est injectée au réseau local

d'électricité, il faut que la valeur de la tension produite (en général 380 V) soit égale à la valeur des lignes de transport de l'électricité (par exemple 20 K V). Cette action est réalisée par un transformateur qui permet d'élever la tension, et l'électricité va alors pouvoir être transportée sur de longues distances entre les zones de production et les zones de consommation, car grâce à cette élévation de la tension, les pertes d'énergie sont minimisées.

La figure ci-dessous représente schématiquement la récupération de l'énergie.

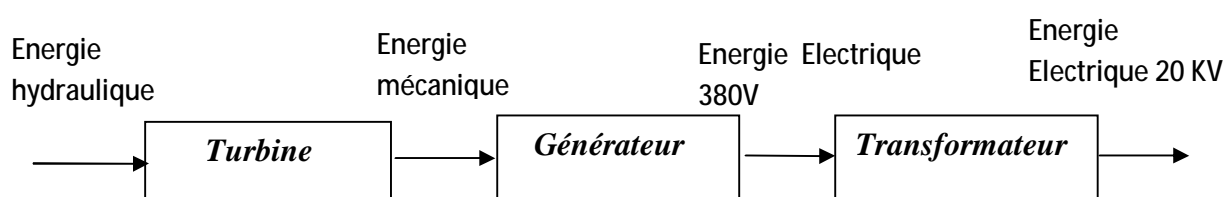


Figure I.1 Récupération de l'énergie

L'énergie produite peut également être autoconsommée pour les besoins de la station d'épuration ou de la station de potabilisation par exemple : besoins énergétiques des différents procédés de traitement. Dans ce cas là, elle est stockée dans des batteries. [1]

Dans ce qui suit on se base sur la microcentrale hydroélectrique implantée sur un réseau d'eau potable

I.4 Définition d'une mini centrale hydroélectrique

Une mini centrale hydroélectrique est une installation de production d'énergie électrique de faible puissance (500KW à 2000KW), elle convertit l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique à partir de l'énergie mécanique récupérée d'une chute d'eau. Ce type de centrale est utilisé pour assuré :

- L'éclairage et l'audio- visuel et de toute l'infrastructure.
- L'alimentation en électricité de la petite unité artisanale ou industrielle.
- L'alimentation d'un réseau interconnecté a d'autres centrales similaires. [3]

I.5 Constitution

On distingue trois types de travaux pour la réalisation d'une mini centrale hydroélectrique : Les ouvrages de génie civil, les équipements hydrauliques et les équipements électriques

La figure ci-dessous détaille les différents éléments d'une centrale avec conduite forcée

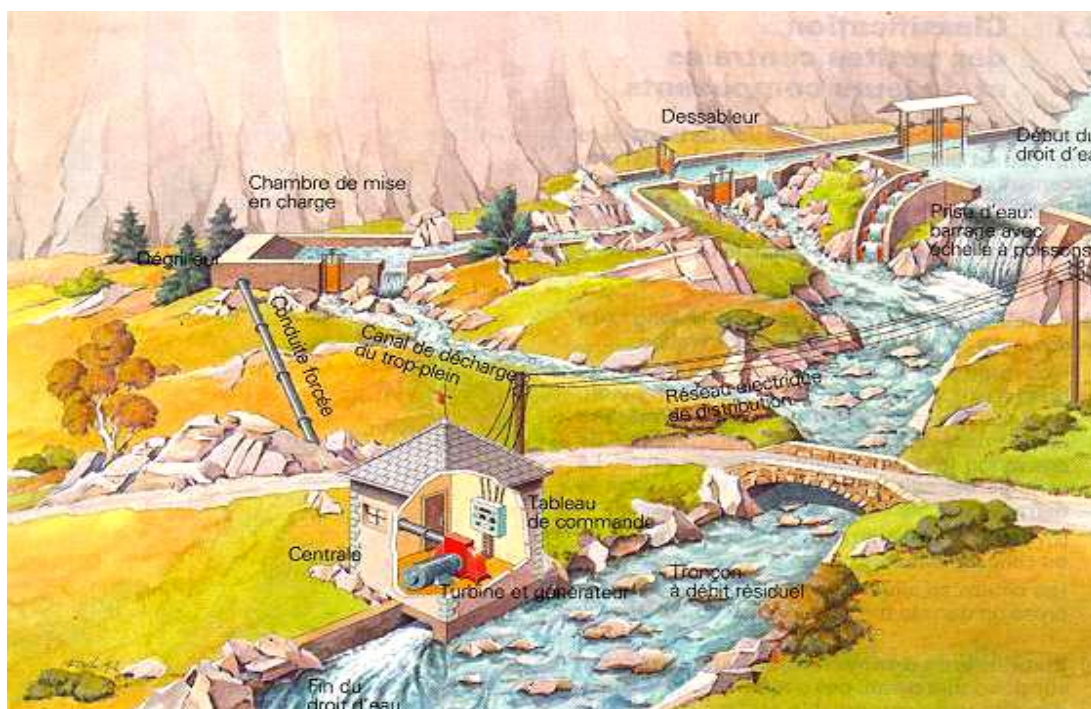


Figure. I.2 Différents composants d'une microcentrale hydroélectrique [3]

I.5.1 Les ouvrages de génie civil

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

I.5.1.1 La prise d'eau

La prise d'eau est en général constituée des barrages de retenue sont établis en travers du lit de rivière, ils servent à concentrer les chutes près des usines et à former des réservoirs

d'emmagasinage. On peut ainsi créer des réserves d'eau pour compenser l'insuffisance de débit pendant les périodes de sécheresse et assurer à l'usine une alimentation en eau plus uniforme.

Les barrages peuvent être en béton, enrochement ou en terre. Les barrages de type poids sont les plus utilisés, ils s'opposent à la poussée des eaux par leur masse même.

Les déversoirs (ou évacuation de crue) installés près des barrages sont destinés à laisser passer l'eau lorsque son niveau dépasse une certaine hauteur. Ils permettent d'évacuer sans dégâts les débits considérables résultants de la neige ou provoqués par des pluies de longue durée.

La charge d'un réseau varie considérablement au cours d'une journée. Elle est très faible la nuit. Il en résulte que, durant la période des fortes crues du printemps le débit d'une rivière ne peut être entièrement employé pour produire l'énergie à certaine heure du jour car la demande est trop basse. Si le bassin d'emmagasinage du barrage est insuffisant ou encore à peu près inexistant (cas des centrales au fil d'eau), on est obligé de laisser passer l'eau par – dessus de déversoir, sans l'utiliser. [2]

La prise d'eau peut également être installée sur un canal d'irrigation ou sur une adduction d'eau potable.

I.5.1.2 Le dessableur

L'eau déviée dans le canal par la prise peut transporter des quantités importantes de matières en suspension (boues) et de sédiments (sable, gravier) qui doivent être éliminés, sans quoi, ils encombreraient le canal et endommageraient rapidement les vannes et la turbine. Le dessableur est un bassin plus large que le canal qui permet de ralentir l'écoulement et de laisser ainsi les particules solides s'y déposer. [4]

I.5.1.3 La chambre de mise en charge

C'est un petit bassin qui permet de garantir que la conduite forcée est en tout temps en eau. Elle fonctionne comme tampon entre la prise d'eau et la conduite. En général, le contrôle du niveau utile à la régulation du débit de la turbine se situe sur la chambre de mise en charge. Ce bassin est également muni d'une grille qui retient les différents débris. Dans la perspective de rendre l'installation plus autonome, certains aménagements sont pourvus d'un dé grilleur qui débarrasse automatiquement la grille de ses débris. [4]

I.5.1.4 Les conduites d'eau

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

- Une entrée d'eau munie d'une grille crapaudine alimentant un canal, suivit du bassin de mise en charge et de la conduite forcée. L'entrée est généralement en béton armé, la grille en acier et la vanne en bois ou en acier.
- La conduite forcée : Réalisée en matière synthétique pour les faibles chutes, en métal pour les hautes pressions ou en inox pour l'eau potable, la conduite a pour but d'acheminer l'eau, en écoulement forcé, de la chambre de mise en charge à la centrale. Elle doit faire l'objet d'un dimensionnement particulièrement rigoureux afin d'éviter une perte de charge incompatible avec le turbinage optimal.



Figure. I.3 Conduite forcé et une centrale

A la sortie de la conduite forcée des aménagements à moyenne et à basse chute, l'eau arrive dans la chambre de mise en charge d'où elle est distribuée aux différentes turbines. Une couronne fixe (bâche spirale) entoure chaque turbine et assure une répartition uniforme de l'eau sur son porteur. Une série de porte ou de vannes mobile, disposée permettent de réglée l'admission de l'eau dans celle-ci. Ces vannes sont actionnées par des vérins hydrauliques commandés par le régulateur de vitesse.

- L'entrée et la sortie de la turbine, qui inclut les soupapes et les vannes nécessaires pour arrêter l'arrivée d'eau lors de la fermeture pour l'entretien. Ces composants sont généralement en acier.
- Un canal de fuite (conduite d'échappement) 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. [6]

I.5.1.5 La centrale

De taille réduite, la centrale regroupe l'ensemble des équipements électromécaniques de l'installation, à savoir

- La vanne de garde à l'entrée de la centrale
- La turbine
- L'alternateur
- Le transformateur éventuel
- La connexion au réseau électrique
- Les organes de contrôle et de commande de l'installation [6]

I .5.2 Les équipements électromécaniques

I .5.2.1 By-pass

L'alimentation en eau étant la fonction principale du réseau, on doit installer un système de by-pass automatique qui assurera la continuité de celle-ci lors de travaux d'entretien, de débit insuffisant ou autres. Il fonctionne également comme organe de régulation de débit, asservi au niveau de la chambre de mise en charge ou du réservoir amont [9].

La figure suivante montre un exemple de by-pass connecté à réseau d'eau potable

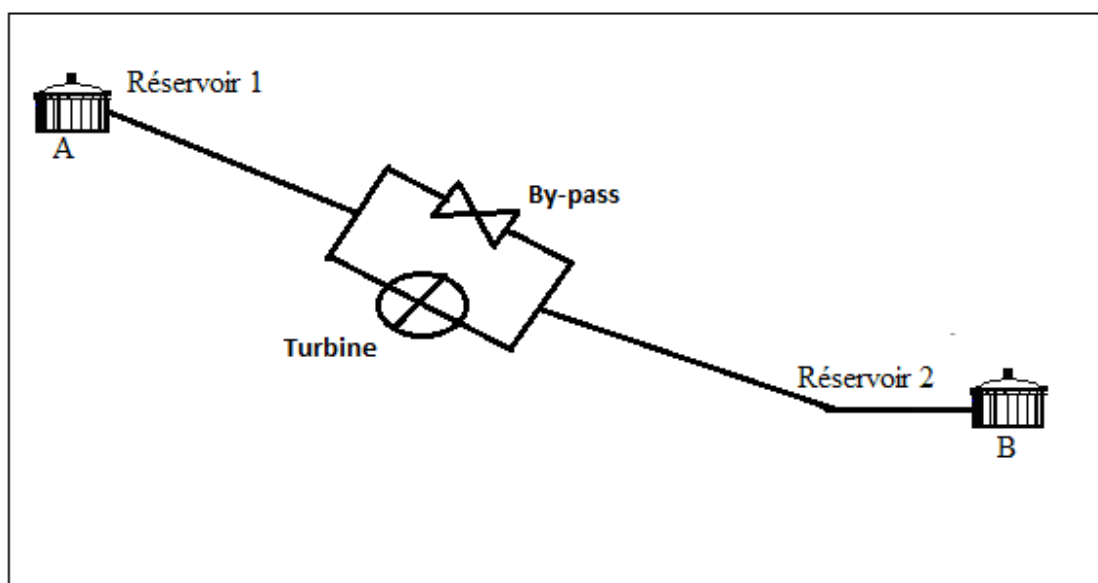


Figure .I.4 by-pass connecté à un réseau d'adduction d'eau potable

I .5.2.2 Les turbines

Pour des raisons de rendement et de facilité de conception. Les deux types de turbine recommandés en mini centrale hydraulique sont la turbine Pelton et la turbine Crossflow, Elles font chacune l'objet d'une fiche technique descriptive

I .5.2.2.a Turbine Pelton

La turbine Pelton est une turbine à action dont la pression de l'eau est entièrement convertie en énergie cinétique avant d'entrer en contact avec la roue et de lui transmettre son énergie .la turbine Pelton est constituée d'une roue à augets sur lesquels un ou plusieurs injecteurs acheminent l'eau. Chaque injecteur est constitué d'une tuyère permettant de former un jet d'eau à haute vitesse, et d'un pointeau mobile permettant de contrôler le débit. Le réglage des pointeaux se fait par un asservissement hydraulique ou électrique. Pour les installations d'eau potable on préférera un asservissement électrique.

Les figures ci dessous représentent la turbine Pelton et une coupe d'un injecteur.

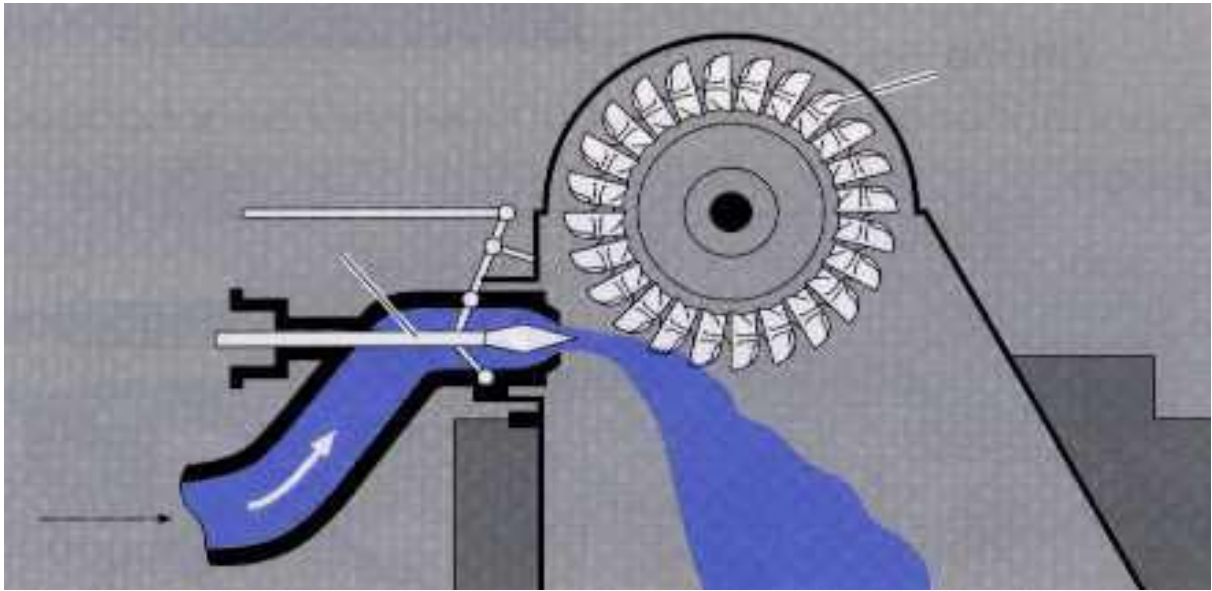


Figure.I.5 Turbine Pelton [3]

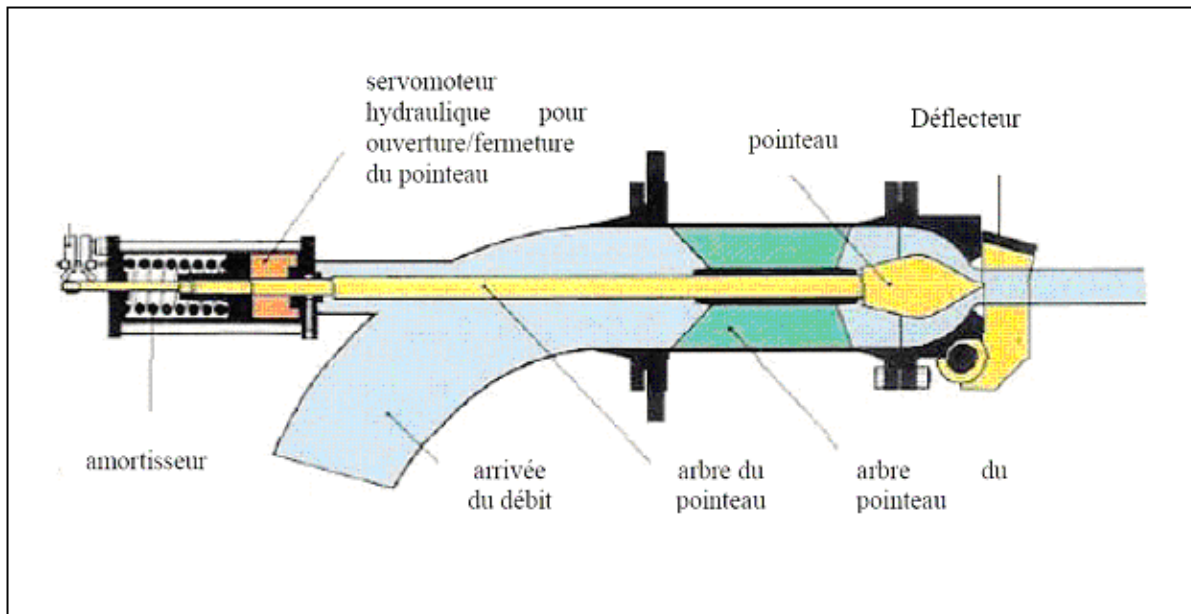


Figure.I.6 Coupe d'un injecteur avec déflecteur

Les axes des injecteurs sont situés dans le plan de la roue. En cas d'arrêt d'urgence de la turbine, le jet est dévié par un déflecteur, afin qu'il n'atteigne pas les augets et que la turbine

ne puisse pas atteindre sa vitesse d'emballement. Cette action permet de fermer l'injecteur en manoeuvrant très lentement le pointeau, évitant ainsi de générer un coup de bélier inacceptable dans la conduite [5]

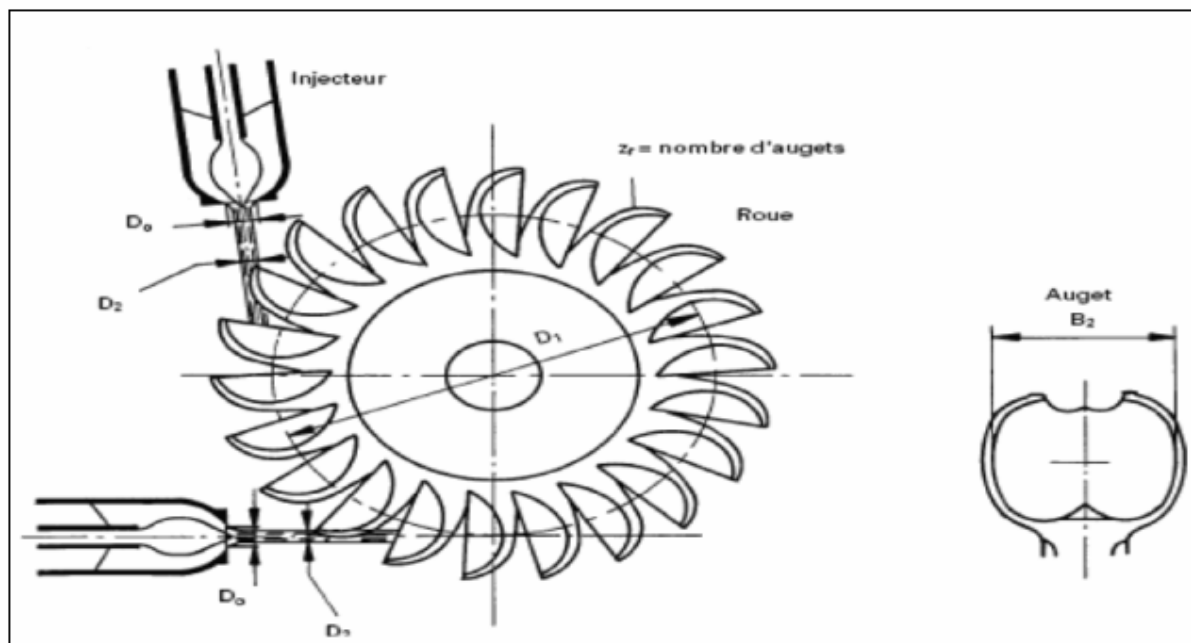


Figure I.7 Pelton à deux jets et paramètres principaux [5]

Avec :

- D_0 = diamètre de la buse [m]
- D_1 = diamètre sur lequel agit le jet [m]
- D_2 = diamètre du jet [m]
- Z_r = nombre d'augets

I .5.2.2.b Turbine à flux traversant ou Crossflow

La turbine à flux traversant est une turbine à action de construction simple et robuste. Elle est constituée de trois parties :

- Un injecteur de section rectangulaire
- Une roue composée d'aubes profilées
- Un bâti dans lequel se trouve la roue

Une particularité de la turbine à flux traversant est que l'eau traverse deux fois la roue. Elle est utilisée pour les moyennes chutes de 2 à 200m. Son rendement est inférieur aux autres turbines. [5]

La turbine Crossflow est schématisée sur la figure I.8

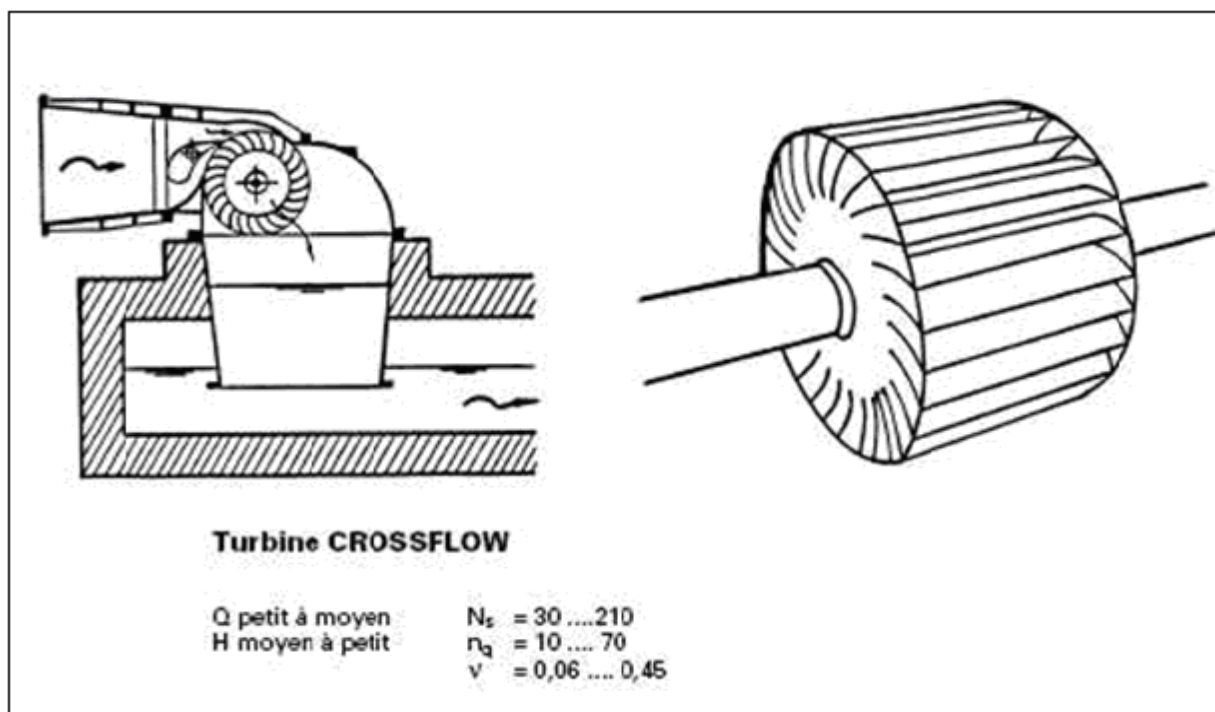


Figure I.8 Turbine de Crossflow [5]

I .5.2.3 Système de régulation [6]

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

Il existe deux types de régulation :

I .5.2.3.a Régulation « vitesse débit »

Elle consiste à adapter le débit de l'eau afin de réguler la vitesse de rotation. En général, le contrôle des vannes se fait par l'intermédiaire de vérins qui sont commandés sur le principe

de la rétroaction. La vitesse de rotation en sortie de turbine est mesurée à l'aide d'un capteur ou de la fréquence de réseau, l'information étant ensuite transmise à un microcontrôleur qui calcule la course à donner aux vérins pour adapter le débit. Les meilleures régulations sont de type PID (Proportionnelle Intégrale Différentielle) qui assure une correction à la fois précise et rapide.

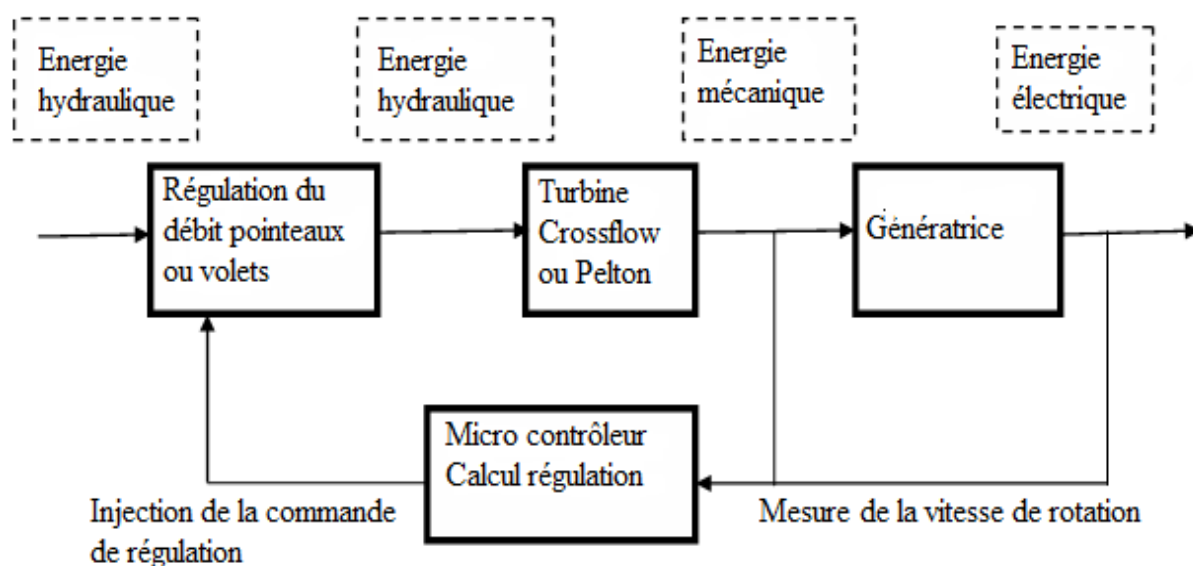


Figure I.9 Principe de régulation « vitesse débit »

Lorsqu'une retenue d'eau est présente, la régulation « vitesse débit » présente l'avantage de consommer l'eau de façon intelligente. En effet, quand la demande du réseau est faible, cette méthode permet d'économiser de l'énergie et de la stocker sous forme d'énergie potentielle hydraulique. Cependant, c'est un système relativement complexe à mettre en œuvre, puisqu'il nécessite la programmation d'un micro contrôleur, l'implantation de capteur et l'intervention d'un système de conversion numérique analogique. Ce système est malheureusement obligatoire pour des turbines d'une puissance supérieure à 100 kW. Cependant, le micro contrôleur peut être remplacé par opérateur qui ajuste de façon manuelle le débit en fonction de la fréquence du réseau. Le technicien peut également effectuer la maintenance quotidienne de l'installation en parallèle.

I.5.2.3.b Régulation «charge fréquence »

Elle agit afin de garder constante la charge électrique du réseau, sans système de contrôle du débit. La régulation s'effectue par dissipation du surplus d'énergie dans des charges résistives. Toute l'énergie non consommée est redirigée dans une batterie de résistance.

La centrale tourne donc toujours au maximum de sa capacité, produisant sa puissance nominale

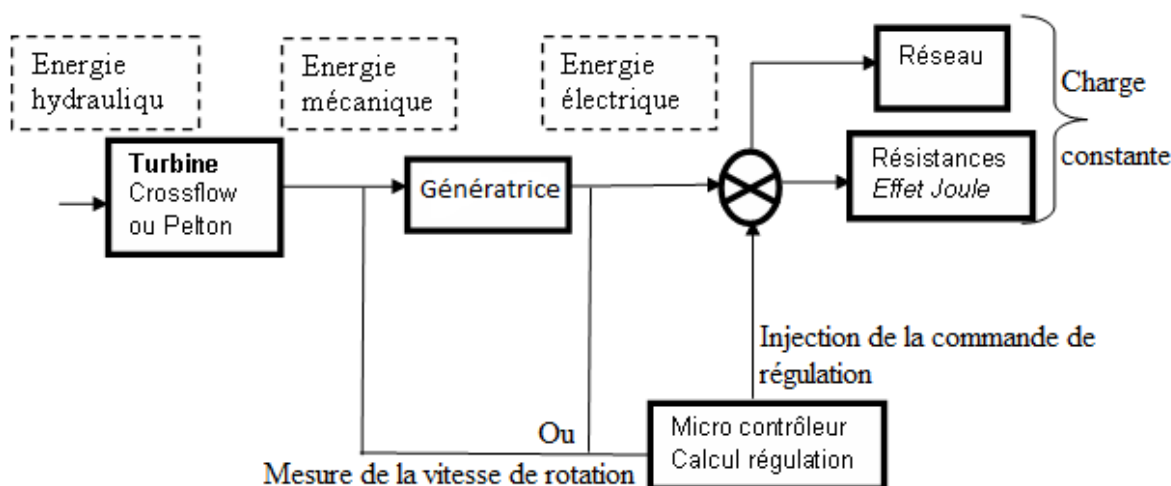


Figure .I.10 Principe de régulation « charge fréquence »

De la même manière que pour la régulation « débit vitesse », le délestage de l'énergie excédentaire peut s'effectuer de manière automatique ou de façon manuelle. Lorsque la fréquence du réseau augmente, on connecte des charges résistives qui dissipe une partie de l'énergie sous forme d'effet joule. On augmente du même coup le couple mécanique de la génératrice et on réduit donc la vitesse de rotation de la turbine. Inversement, en déconnectant des résistances, on réduit la charge du réseau, le couple dans la génératrice devient moins important et la vitesse de rotation de la turbine augmente.

Lorsque la connexion des charges se fait de manière automatique, il est nécessaire qu'un régulateur contrôle la vitesse de rotation de la turbine. En cas de rupture du circuit électrique, les charges résistives s'annulent et la vitesse de rotation de la turbine s'accélère puisque la charge hydraulique demeure inchangée. La turbine va donc s'emballer et une vitesse trop importante risque d'être fatale aux équipements. La présence d'une alimentation électrique de secours est donc obligatoire afin de limiter tout phénomène d'emballement.

De plus, la régulation « charge fréquence » s'adapte mal pour des centrales ayant une puissance nominale supérieure à 100 kW, l'énergie à dissiper étant trop importante.

I .5.2.4 L'équipement électrique

I .5.2.4.1 La génératrice

I .5.2.4.1.a La génératrice synchrone triphasée

La machine synchrone est très répandue en tant que génératrice d'électricité. Une machine synchrone est constituée de deux éléments principaux: le rotor (inducteur) parcouru par un courant continu ou muni d'aimants permanents, et le stator (induit) parcouru par des courants alternatifs. Le stator triphasé est composé de trois groupes de conducteurs, logés dans des encoches. Afin de former trois enroulements identiques, un par phase, et décalés d'un angle électrique de 120° . Ils créent un champ tournant exciteur. Le rotor a pour rôle de créer un champ magnétique tournant, nécessaire à engendrer la tension induite alternative aux bornes du stator. Les rotors avec bobinage d'excitation permettent de faire varier le flux magnétique (tension induite) à l'aide d'un courant continu injecté dans la bobine, c'est le courant d'excitation [5].

La figure ci contre montre la machine synchrone.

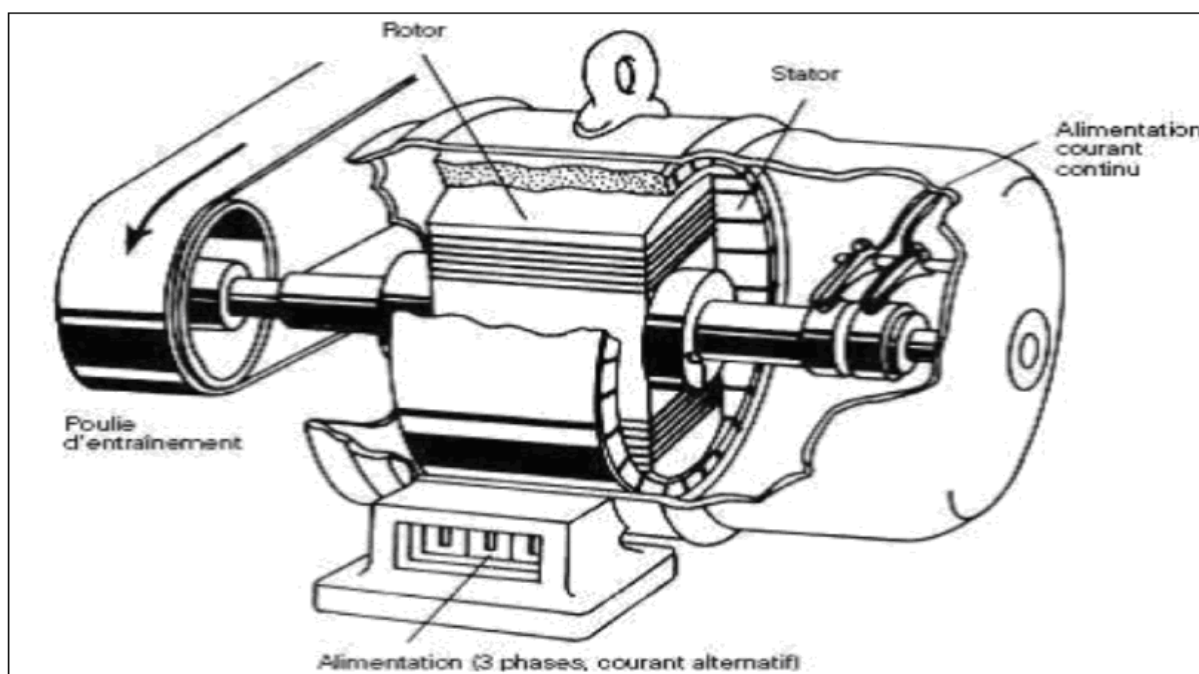


Figure. I.10 Machine synchrone [5]

I.5.2.4.1.b La génératrice asynchrone triphasée

La machine asynchrone, appelée aussi machine à induction, ces avantages sont une construction mécanique simple et robuste et le rotor n'est raccordé à aucune source extérieure de tension sauf pour une utilisation particulière avec rotor bobiné.

Par ailleurs, leurs inconvénients se trouvent au niveau de la consommation d'énergie réactive, qu'elles tirent soit du réseau, soit elles sont compensées par une batterie de condensateurs d'où la possibilité de fonctionnement autonome. Il existe deux types de machine asynchrone : la machine asynchrone à cage d'écureuil et la machine asynchrone à rotor bobiné.

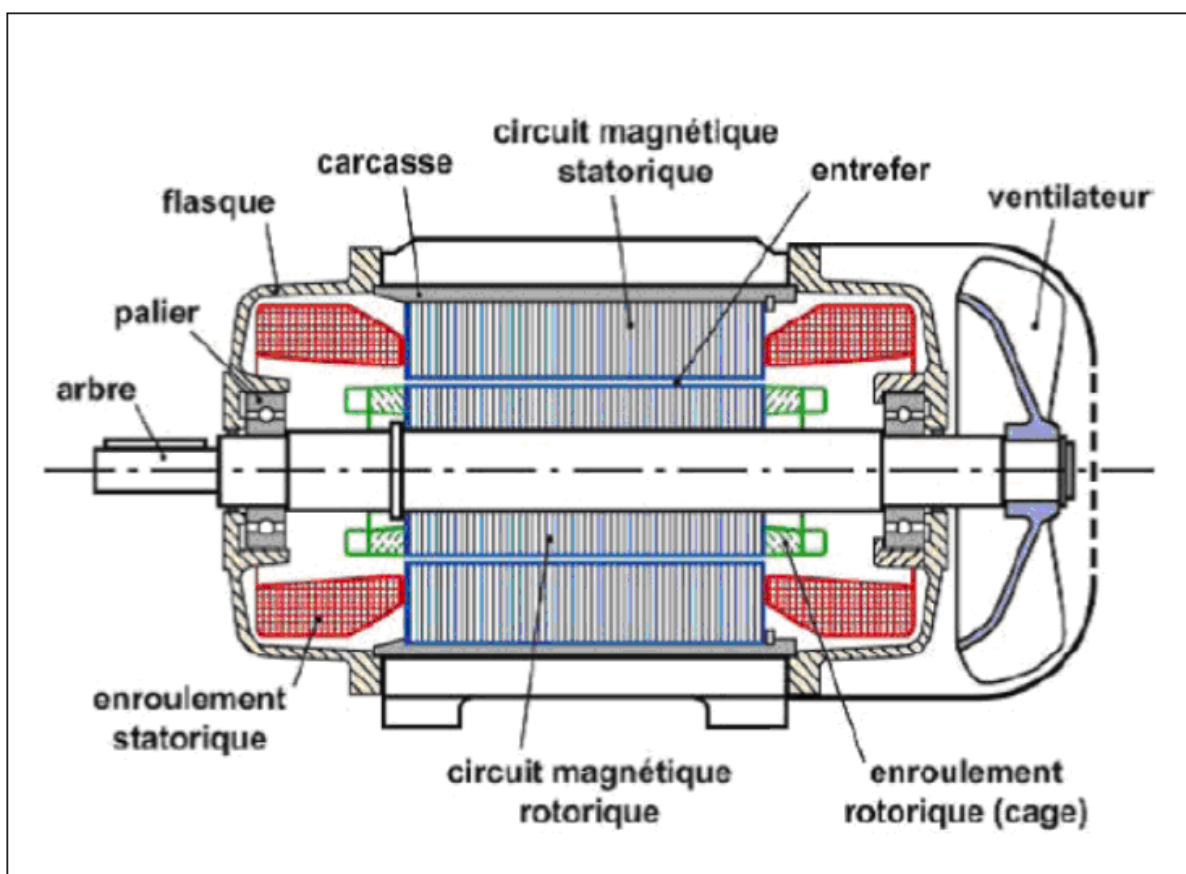


Figure. I.11 Machine asynchrone [4]

La machine asynchrone fonctionne en génératrice, si le rotor tourne dans le sens du champ tournant à une vitesse supérieure à la vitesse de synchronisme (vitesse du champ tournant) exprimée par l'équation suivante :

$$\Omega_s = \frac{60f}{p} \quad (\text{I.1})$$

Avec :

f : fréquence du champ tournant.

p : nombre de paires de pôles.

Le rotor développe ainsi son propre champ magnétique. Lorsque cette génératrice est connectée au réseau, il se met à tourner à une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de rotation du champ magnétique dans le stator (fonctionnement de type « moteur »).

Si la vitesse de rotation du rotor devient égale (synchrone) à celle du champ magnétique, aucune induction n'apparaît dans le rotor, et donc aucune interaction avec le stator. Enfin, si la vitesse de rotation du rotor est légèrement supérieure à celle du champ magnétique du stator, il se développe alors une force électromagnétique similaire à celle obtenue avec un générateur synchrone. La différence entre la vitesse de rotation du rotor et la vitesse de rotation du champ magnétique est appelée glissement, sa valeur ne dépassant pas en pratique quelques pour-cent. Pour une augmentation limitée de la vitesse de rotation de la turbine le couple et donc la puissance fournie sont proportionnels au glissement exprimé par cette équation [7] :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad (\text{I.2})$$

Ω_r : vitesse de rotation du rotor.

Les génératrices à induction d'une capacité inférieure à 500 kW sont généralement préférées pour les petites centrales hydroélectriques qui fournissent l'électricité à un important réseau de distribution existant. [6]

Le démarrage de la machine asynchrone diffère selon les types de réseau :

- **Dans un réseau interconnecté**

Il s'agit de faire démarrer le groupe au moyen de la turbine jusqu'à la vitesse synchrone ; Enclencher le disjoncteur ou le contacteur permettant de coupler la génératrice asynchrone au réseau. Une pointe de courant apparaîtra au moment de l'enclenchement. La machine asynchrone est capable de supporter cette surintensité temporaire.

Cependant, les protections doivent être prévues en conséquence. Enclencher la batterie de condensateurs, s'il y a compensation du facteur de puissance. Pour augmenter la charge active fournie au réseau, augmenter le débit d'eau dans la turbine [8].

- **Dans un réseau îlot (isolé)**

Démarrer le groupe au moyen de la turbine jusqu'à la vitesse synchrone. Enclencher les capacités. Il se produit alors la montée en tension aux bornes du stator par le phénomène d'amorçage et auto-excitation. Enclencher le disjoncteur sur les consommateurs.

I .5.2.4.2 Autres composants électriques de la centrale [6]

Les autres composants constituant la centrale 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.

I .5.2.4.3 Les pylônes [6]

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.

I .5.2.4.3.a 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 disponible localement.

La figure ci-dessous montre un exemple de pylône en bois.



Figure. I.12 Poteau en bois artisanne

I .5.2.4.3.b 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.

I .5.2.4.3.c Les pylônes en acier

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

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

I .5.2.4.4 Les lignes de transport [6]

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 la ligne basse tension (BT).

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

-Les lignes SWER

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

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

Cependant, ce système peut poser certain problème au niveau du contrôle de la tension.

I.6 Les implantations possibles sur les réseaux d'eau potable [5]

L'eau potable est souvent fournie à une agglomération en transportant l'eau par une conduite en charge depuis un réservoir d'eau amont. Lorsque la différence d'altitude entre la source et un réservoir, ou une usine de traitement, est importante, la pression excédentaire est habituellement dissipée dans des vannes de réduction de pression ou des chambres dites brise énergie.

L'installation d'une turbine à l'extrémité de la conduite permet de valoriser cette énergie potentielle en la transformant en électricité. La turbine remplace alors la fonction de brise énergie.

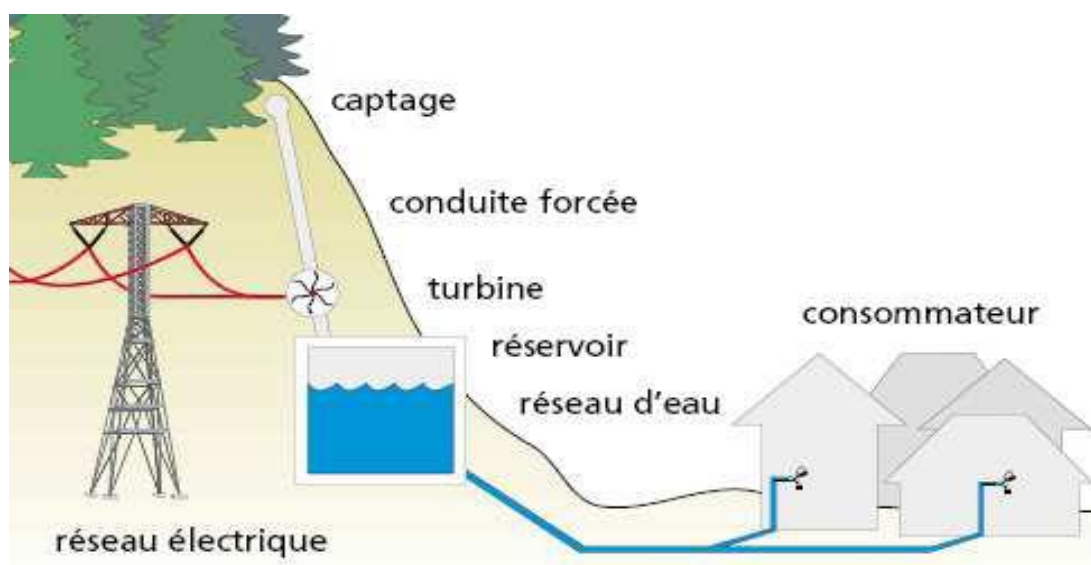


Figure I. 13 Turbine disposée à l'entrée d'un réservoir

Les différents emplacements possibles pour le turbinage des eaux potables sont :

- Turbinage sur la conduite entre deux réservoirs
- Turbinage sur la conduite d'amenée de l'eau de source vers un réservoir
- Turbinage entre deux zones de pression
- Turbinage du trop plein d'un réservoir

Le schéma suivant présente les différentes possibilités de turbinage sur un réseau.

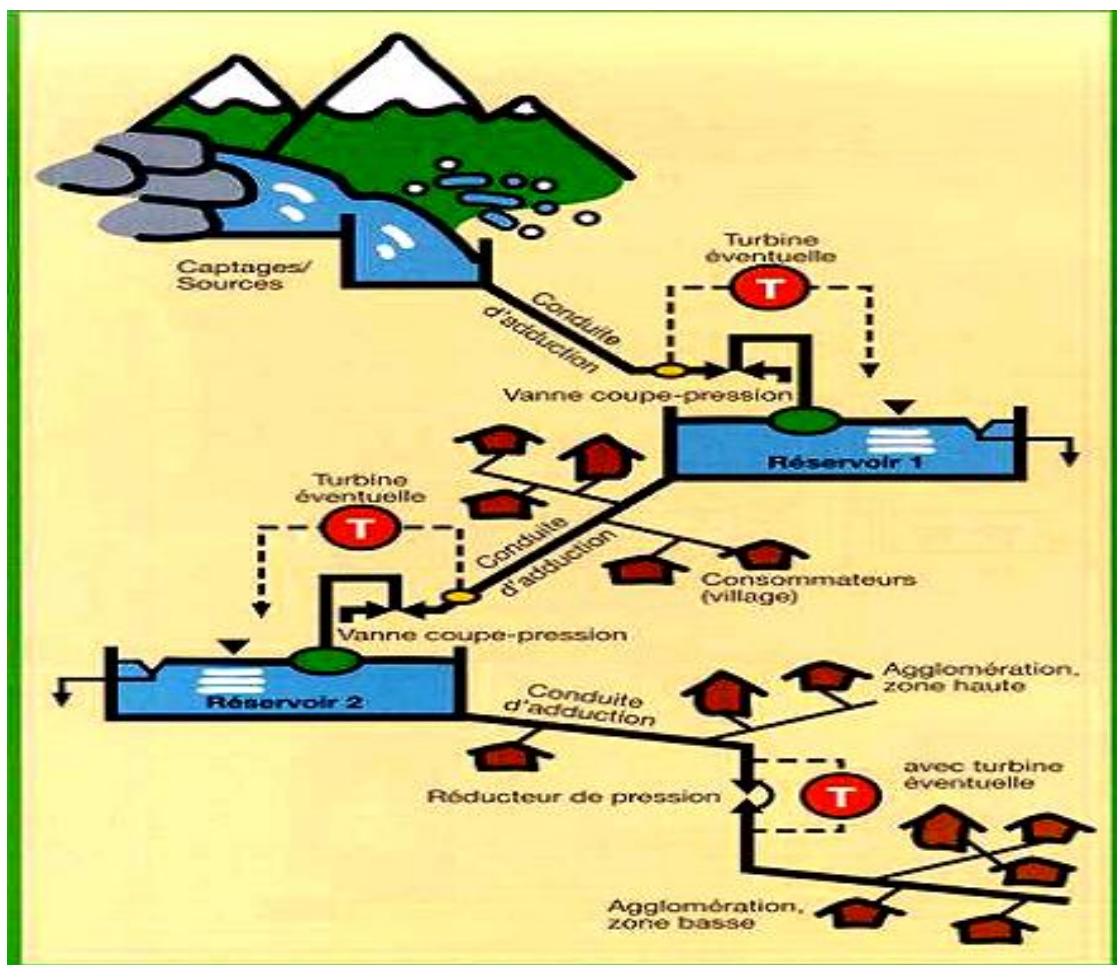


Figure I. 14 vue d'ensemble schématique d'un réseau d'eau potable avec possibilités d'installation de turbines de récupération

I.7 Principe de raccordement eau réseau

Dans tous les cas, un système de protection appelé protection réseau est imposé à la mini centrale hydroélectrique. Les relais imposés mesurent les tensions des trois phases ; ils contrôlés et plombés par l'organisme chargé de la gestion du réseau.

Il faut également installer des dispositifs de comptage des énergies fournies par la centrale et consommées par elle. Ces dispositifs doivent permettre de séparer la production des heures creuses et des heures pleines, et des heures de pointes, d'hiver et d'été [8].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu que le terme mini centrale s'emploie pour toutes les installations hydroélectriques d'une puissance de 500 KW à 2000 KW. Dans une mini centrale on peut distinguer quatre composantes principales à savoir, les ouvrages de prise d'eau, les ouvrages d'amenée ou de mise en charge, les ouvrages de productions et les ouvrages restitution. Dans les équipements de production on trouve notamment la turbine, le générateur et le système de régulation.

Dans le chapitre suivant nous allons étudier les méthodes de calcul hydraulique et du potentiel nécessaire pour le turbinage sur un réseau d'eau potable.

II. Turbinage d'eau potable

Introduction

Dans un projet de turbinage sur réseau d'eau, l'équipement existant d'adduction d'eau potable ne subit généralement pas de modification supplémentaire. En ce qui concerne l'infrastructure hydraulique, il existe cependant certains cas où, lors de la construction ou de la rénovation de réseaux, et en vue d'une valorisation énergétique plus efficace, il est parfois nécessaire de renforcer les canalisations. Dans ce chapitre nous allons présenter les aspects théoriques de turbinage sur un réseau d'eau potable.

II.1 Constitution d'un réseau d'eau potable[1]

le réseau d'eau peut être divisé en trois parties distinctes :

- Le captage de source allant jusqu'à la chambre de réunion.
- L'adduction (canalisation) transportant l'eau jusqu'au réservoir.
- La distribution d'eau dans le réseau de distribution.

Les installations hydroélectriques sont principalement situées sur les adductions d'eau, là où il est nécessaire de limiter la pression de l'eau : soit en remplacement de brise charge soit en entrée de réservoir, soit enfin en entrée d'unités de production d'eau potable.

Le schéma suivant décrit une installation type de turbinage sur adduction d'eau potable :

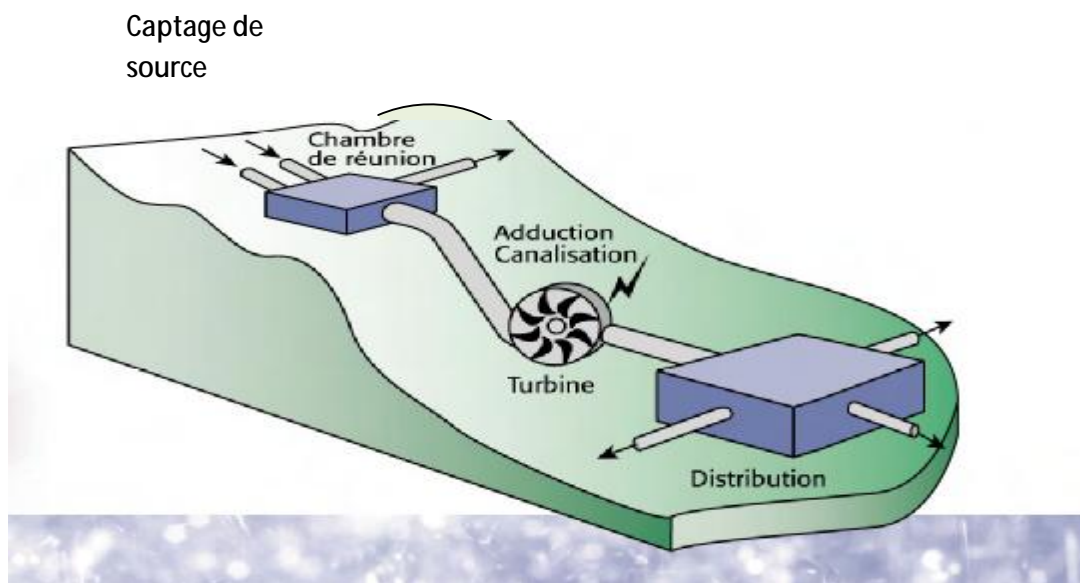


Figure II .1 Installation type de turbinage sur adduction d'eau potable

II.2 Normes et prescriptions [5]

Les normes décrivent plus particulièrement le choix du matériel et la sécurité des installations. La sécurité comprend la protection des personnes et du matériel

Les installations électriques doivent être établies, modifiées, entretenues et contrôlées selon les règles techniques reconnues. Elles ne doivent mettre en danger ni les personnes ni les choses lorsque leur exploitation et leur utilisation sont correctes et si possibles aussi lorsque les règles à ce sujet sont enfreintes de manière prévisible, ou encore en cas de dérangement prévisible.

II.2.1 Exigences légales

Une installation de turbinage doit respecter aussi bien les exigences liées au réseau d'eau que celles liées à l'utilisation de la force hydraulique. Elles doivent faire l'objet d'une autorisation du laboratoire concernée ainsi que d'une autorisation de construire de la part de la commune concernée si la construction d'un bâtiment est nécessaire.

II.2.2 Exigence technique

Les conduites, coudes et autres accessoires devront pouvoir supporter d'éventuels phénomènes de coup de bélier. Afin de limiter les variations de pression les manoeuvres d'ouverture et fermeture de vannes devront s'effectuer assez lentement.

- **Sécurité d'alimentation**

L'alimentation en eau étant la fonction principale du réseau, on doit installer un système de by-pass automatique qui assurera la continuité de celle-ci lors de travaux d'entretien, de débit insuffisant ou autres. Il fonctionne également comme organe de régulation de débit, asservi au niveau de la chambre de mise en charge ou du réservoir amont.

II.2.3 Labels de qualité

Dans des pays comme la Suisse et la France les centrales de turbinage de l'eau potable bénéficient de simplifications dans les procédures d'audit pour l'obtention de labels. Les labels permettent de négocier des prix de rachat plus élevés que le tarif des distributeurs d'électricité.

II.3 Calcul hydraulique du réseau

Le calcul hydraulique du réseau a pour objectif de définir la capacité des conduites et les pertes de charge produites par un écoulement en régime permanent. Pour réaliser ce calcul, il est nécessaire de faire un équilibrage du système en tenant compte des débits en chaque point et de la capacité maximale de chaque conduite. L'équilibrage des charges exige le calcul itératif de la charge hydraulique disponible et des pertes de charge. Ce processus repose sur l'application de deux principes, qui doivent être respectés dans chaque nœud et sur chaque tronçon de conduite [9] :

- Principe de conservation de la masse (continuité du débit) ;
- Principe de conservation de l'énergie

Ainsi, pour chaque tronçon de conduite, délimité par deux nœuds N_1 et N_2 (nœuds aux extrémités amont et aval du tronçon considéré), les étapes de calcul à chaque itération sont les suivantes :

- Le débit d'équipement
- La hauteur de chute
- Les pertes de charges
- Le rendement de la conduite
- La puissance de l'aménagement
- L'énergie électrique produite

II.3.1 Calcul débit

Le débit d'eau est le volume (débit volumique) ou la masse (débit massique) de l'eau traversant une section donnée d'une canalisation pendant l'unité de temps choisi (heure, minute, seconde ...). Les unités pourront donc être: $m^3 \cdot h^{-1}$, $m^3 \cdot s^{-1}$, $kg \cdot s^{-1}$...

Par suite de la conservation de la matière entre deux points N_1 et N_2 d'un écoulement, les débits massiques sont identiques entre les deux points. En ajoutant l'hypothèse de fluide incompressible, on montre donc que les débits volumiques sont constants le long de l'écoulement.

$$\sum Q_{mi} = 0 \quad (II.1)$$

Donc :

$$Q_{mN_1} = Q_{mN_2} \quad \Leftrightarrow \quad r_{N_1} Q_{VN_1} = r_{N_2} Q_{VN_2} \quad \Rightarrow \quad Q_{VN_1} = Q_{VN_2} \quad \text{Car} \quad r_{N_1} = r_{N_2}$$

Le débit Q_{Vi} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), la vitesse moyenne du liquide V_{mi} ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) et la section S_i (m^2) de la canalisation sont reliés par la relation suivante:

$$Q_{Vi} = V_{mi} S_i \quad (\text{II.2})$$

On retient ce résultat général:

Le débit volumique (ou massique) de l'eau est identique en tous points d'une canalisation où l'eau circule. La canalisation peut présenter des différences de diamètres, le débit volumique sera toujours identique. Seule la vitesse du liquide va varier: elle augmente quand la section de canalisation diminue et inversement, Comme le montre la figure II.1

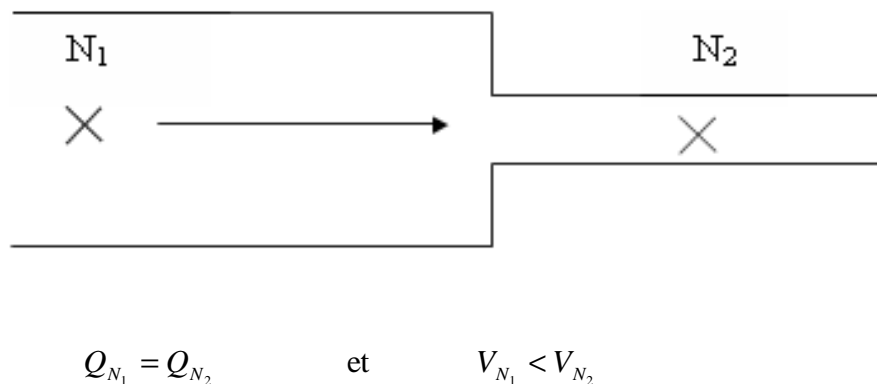


Figure. II.2 Débit et vitesse d'une canalisation à différents diamètres

La vitesse du liquide au contact de la paroi est nulle; la vitesse atteint son maximum sur l'axe de la canalisation [9].

II.3.1.a Le choix du débit nominal d'équipement

Le choix du débit nominal d'équipement se fait selon le domaine de fonctionnement de la centrale et le critère économique. Il est déterminé à l'aide d'une courbe de débits classés

La courbe de débits classés est obtenue en organisant, dans l'ordre décroissant, les débits chronologiques.

Il existe deux domaines de fonctionnement:

- Réseau isolé ou en îlot
- Réseau interconnecté (parallèle au réseau)

En fonctionnement en réseau isolé la centrale doit toujours fournir la puissance nécessaire aux consommateurs

Une centrale interconnectée au réseau électrique doit produire le plus d'énergie possible. Le débit nominal dépend donc de la forme de la courbe des débits classés.

II.3.1.b Régulateur de débit

Cet élément permet de contrôler le débit circulant dans une conduite, par l'introduction d'une perte de charge additionnelle. Dans les réseaux d'approvisionnement habituels, les régulateurs sont utilisés pour éviter des surpressions. Il est pourtant plus intéressant d'exploiter la charge excédentaire en turbinant l'eau [8].

II.3.2 La hauteur de chute brute H_B

La chute brute représente l'énergie totale à disposition entre l'entrée et la sortie de l'aménagement [5]

$$H_B = \Delta Z + \frac{P}{r.g} + \frac{V^2}{2.g} + \sum H_L \quad [\text{m}] \quad (\text{II.3})$$

Avec :

ΔZ : Hauteur (énergie potentielle), en [m]

$\frac{P}{rg}$: Hauteur de pression, en [m] (p est la pression relative, sur ou sous pression, mesurée par rapport à la pression atmosphérique)

$\frac{V^2}{2g}$: Hauteur de vitesse (énergie cinétique), en [m]

g : Accélération due à la pesanteur = 9.81 [m/s²]

r : Masse volumique de l'eau = 1000 [Kg/m³]

H_L : Pertes de charge, en [m]

II.3.3 La chute nette H_N

La chute nette représente l'énergie effective à la disposition de la turbine, mesurée entre l'entrée et la sortie de la machine.

Elle se calcule en déduisant de la chute brute, les pertes de charge à l'amont et à l'aval de la turbine [5].

$$H_N = H_B - \sum H_L - \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$\frac{V^2}{2 \cdot g}$ est l'énergie cinétique résiduelle qui est perdue à la sortie de la turbine.

La perte de l'énergie cinétique résiduelle est négligée, ce qui donne la formule suivante

$$H_N = H_B - \sum H_L \quad [\text{m}] \quad (\text{II.5})$$

II.3.4 Les pertes de charge

II.3.4.a Définition des pertes de charge

Lorsqu'une certaine quantité d'eau circule à travers une installation cela provoque un frottement .les molécules d'eau frottent contre la paroi intérieur de la conduite en fonction de la rugosité de cette dernière .Lors du passage dans les coudes, le fluide subit un changement de direction; dans les réductions, la même quantité de fluide doit passer dans un diamètre inférieur,...etc.

L'ensemble de ces frottements est appelée : Les pertes de charge ou pertes de pression [10].

II.3.4.b La problématique de la perte de charge

Une perte de charge due par exemple au frottement de l'eau contre les parois d'une conduite, engendre une perte de pression. La pression disponible est donc moins importante, il

ne sera alors plus nécessaire de la dissiper. Toutefois, plus la dissipation de la pression est importante, et moins l'énergie récupérée sera élevée. Cette perte de pression entraîne donc une perte d'énergie ; et si l'énergie récupérée est faible, la production le sera aussi : la perte d'énergie équivaut à une perte de production [1].

Comme l'explique la figure ci-dessous

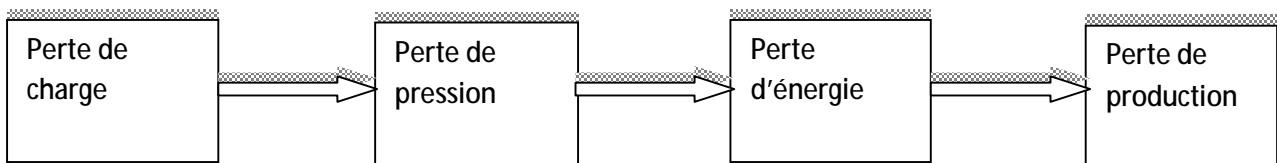


Figure. II.3 Problématique de la perte de charge

II.3.4.c Calcul des pertes de charge

Si un écoulement se produit sans frottement (viscosité du fluide négligeable); la charge du fluide se conserve entre deux sections de la même conduite et nous avons : $\Delta H_L = 0$ (théorème de Bernoulli)

En réalité il existe des frottements à la paroi et au sein même du fluide, qui engendrent des déperditions énergétiques se traduisant par une chute de pression entre l'entrée et la sortie de la même conduite.

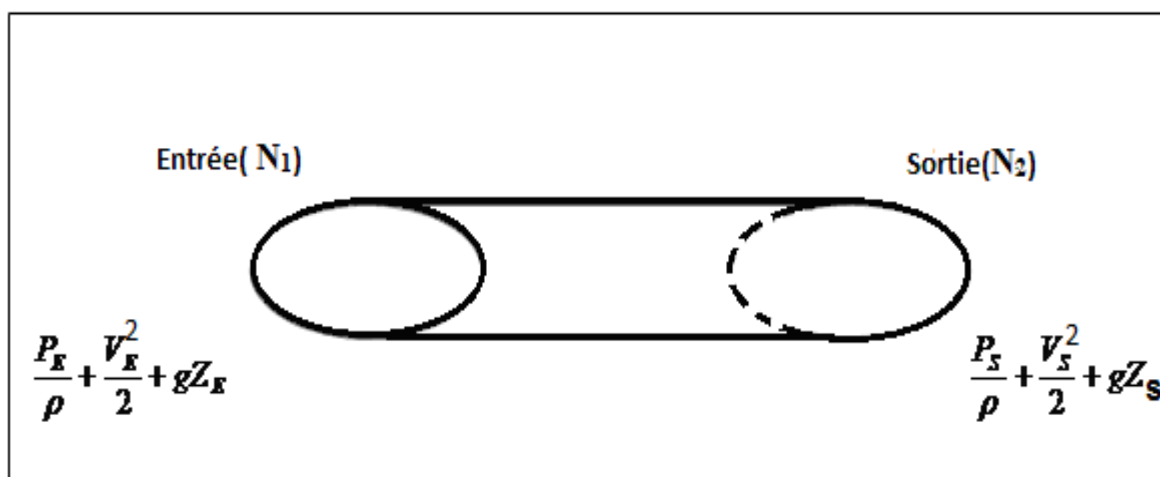


Figure II.4 Bilan énergétique d'une canalisation

L'équation de Bernoulli s'écrit donc pour une canalisation correspondante au schéma précédent [10] :

$$\frac{P_S - P_E}{r} + \frac{V_S^2 - V_E^2}{2} + g.(Z_S - Z_E) = \Delta H_L \quad (\text{II.6})$$

Avec :

P : pression (Pa)

V : vitesse d'écoulement (m/s)

r : Masse volumique de l'eau = 1000 [kg/m³]

g : Accélération due à la pesanteur = 9.81 [m/s²]

Les pertes de charge sont calculées en fonction de la géométrie des ouvrages et des matériaux utilisés. Elles varient en fonction du débit turbiné.

Elles sont de deux types :

- Les pertes locales ou singulières H_{LS}
- Les pertes réparties ou linéaires H_{Lf}

$$\Delta H_L = H_{LS} + H_{Lf} \quad [\text{m}] \quad (\text{II.7})$$

La figure ci dessous représente les pertes de charges dans une conduite

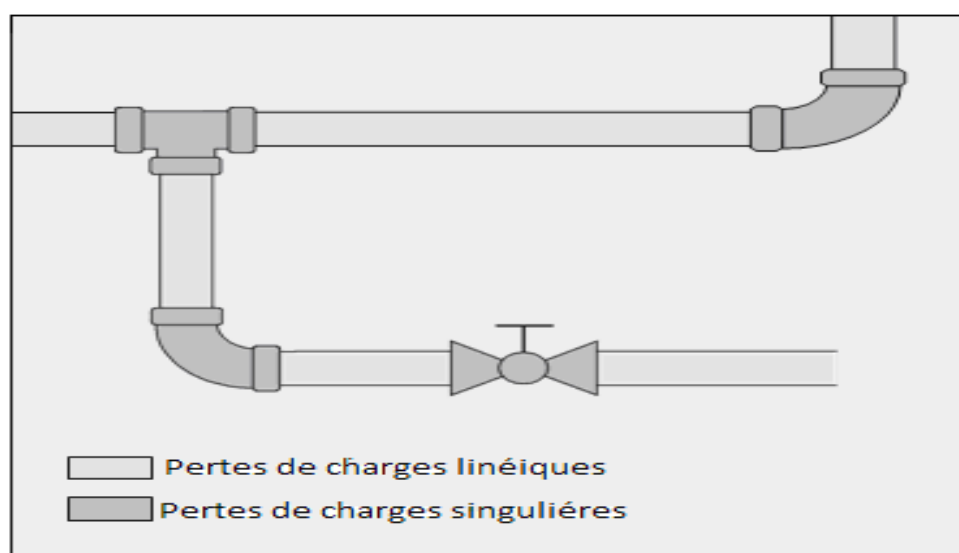


Figure. II.5 pertes charges dans les conduites d'eau [11]

§ Les pertes singulières

Les pertes singulières H_{Lf} sont dues aux entrées, sorties, grilles, rétrécissements, élargissements, coudes, vannes ...etc. Elles varient avec le carré de la vitesse et dépendent de la géométrie de la singularité.

On peut calculer les pertes singulières avec l'une des méthodes suivantes :

- **méthode directe** : elle utilise des coefficients qui varient avec la forme et les dimensions des pièces spéciales.
- **méthode du débit nominal** : elle utilise, pour chaque pièce spéciale, la valeur de son débit nominal, c'est à dire le débit qui correspond à une perte de pression unitaire prédéfinie (par exemple 1 bar).
- **méthode des longueurs équivalentes** : elle remplace chaque pièce spéciale par un segment de tube linéaire susceptible de générer les mêmes pertes de charge. [10]

On utilise généralement la méthode directe, suffisamment précise et simple pour le dimensionnement des tubes et des pompes.

Cette méthode donne les pertes de charge singulières avec la formule [11] :

$$H_{LS} = K \frac{V^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (\text{II.8})$$

Avec :

H_{LS} : Pertes singulières, en [m]

K : coefficient de pertes de charge, sans unité, dépend du type de singularité et de sa géométrie.

v : vitesse de l'écoulement, en [m/s], à l'amont de la singularité

g : accélération due à la pesanteur, en [m/s²]

§ Les pertes linéaires

Les pertes linéaires H_{Lf} sont les pertes par frottement entre l'eau et les parois. Elles ont lieu dans les canaux, conduites d'amenée d'eau et conduites forcées. Elles varient avec le

carré de la vitesse et dépendent de la géométrie de la section, de la longueur de la conduite ainsi que du matériau formant les parois.

Une des méthodes pour déterminer les pertes de charge linéaire est la formule de Darcy-Weissbach [11] :

$$H_{L_f} = \frac{V^2}{2.g} \frac{f}{D} \quad [\text{m}] \quad (\text{II.9})$$

Avec :

H_{L_f} : perte de charge linéaire [m] ;

V : vitesse de l'écoulement [m/s],

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

f : coefficient de frottement [-]

D : diamètre de la conduite [m]

L : longueur de la conduite [m].

Le coefficient de frottement f se calcule selon la formule de Colebrook-White :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right) \quad (\text{II.10})$$

Avec :

k : rugosité de la conduite [m].

D : diamètre de la conduite [m].

R : nombre de Reynolds [-], calculé comme suit

$$R = \frac{V.D}{\nu} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

ν : La viscosité cinématique de l'eau à 20° (106 m²/s).

Si :

$$0.00008 < k < 0.0125$$

Alors la formule suivante sert à déterminer f [5]

$$f = 0.1 \left(1.46 \bar{k} + 100 \frac{\nu}{R} \right)^{1/4} \quad (\text{II.12})$$

Avec

$$\bar{k} = \frac{k}{D} \quad (\text{II.13})$$

II.3.4.d Influence des différents paramètres sur les pertes de charge

- **longueur de la canalisation:** la perte de charge est logiquement directement proportionnelle à la longueur de la canalisation: elle augmente quand la longueur de canalisation augmente.
- **viscosité du liquide:** plus le liquide est visqueux, plus les frottements donc la perte de charge augmente.
- **diamètre intérieur:** quand le diamètre diminue, la perte de charge augmente considérablement. Le liquide a plus de difficultés à s'écouler donc les frottements augmentent pour un débit identique.
- **débit:** plus le débit augmente, plus les forces de frottement augmentent pour un diamètre identique.
- **rugosité de la canalisation:** la rugosité correspond à la notion habituelle de présence plus ou moins importante d'aspérités sur une surface. On constate ici que lorsque la rugosité d'une canalisation augmente les frottements seront plus nombreux donc la perte de charge augmentera. La perte de charge est donc fonction du matériau de la canalisation [12].

II.3.4.e Influence de la perte de charge sur la conduite

En fait, la perte de charge diminue lorsque le diamètre de la conduite augmente. Par exemple, si le diamètre de la conduite augmente de 20 %, alors il y a une réduction de la perte de charge de 60 %. Ce facteur est déterminant pour le dimensionnement des conduites d'eau potable ou d'irrigation.

En effet, une conduite utilisée pour l'alimentation du réseau va être dimensionnée de façon à avoir la plus grande perte de pression possible, afin d'éviter, au maximum, la mise en place supplémentaire d'un dispositif construit pour réduire la pression excédentaire. Le diamètre de la conduite sera alors choisit le plus petit possible.

Ce cas de figure présente aussi l'avantage d'un coût de génie civil minimum, puisque le prix du génie civil augmente avec le diamètre de la conduite.

Au contraire, si la conduite est dimensionnée pour le turbinage, il faut qu'il y ait le moins de pertes de pression possible pour avoir une récupération d'énergie maximale. Pour cela, un grand diamètre nécessaire. Le surcoût engendré par le génie civil de la conduite sera compensé par le gain de production : production d'énergie plus importante, et donc bénéfices plus élevés. [1]

- **Rendement de la conduite**

Le rendement énergétique de la conduite peut être déterminé comme suit [5] :

$$h_c = 1 - m \frac{L}{g \cdot \Delta Z} \quad (\text{II} . 14)$$

Avec :

$$m = 0.8106 \times f \times D^{-5} \times Q^2 \text{ [J/kg/m]}$$

f : Coefficient de frottement de la conduite

ΔZ : dénivellation [m]

II.2.5 Les pertes charges dans les différents types de réseaux [10]

II.2.5.a Réseau série

Il s'agit du cas simple où tous les éléments sont placés en série donc parcourus dans le même sens par un même débit Q .

Entre la charge H_E à l'entrée et celle H_S à la sortie du réseau en admettant le principe de l'additivité des pertes (ou gain) de charge, la relation suivante :

$$H_E - H_S = H_L = \sum H_{Lf} + \sum H_{LS} + \sum H_m \quad [m] \quad (\text{II.15})$$

Avec :

H_m : perte de charge dus aux machines (pompes, turbine,)

La figure ci-dessous montre un exemple de réseau série

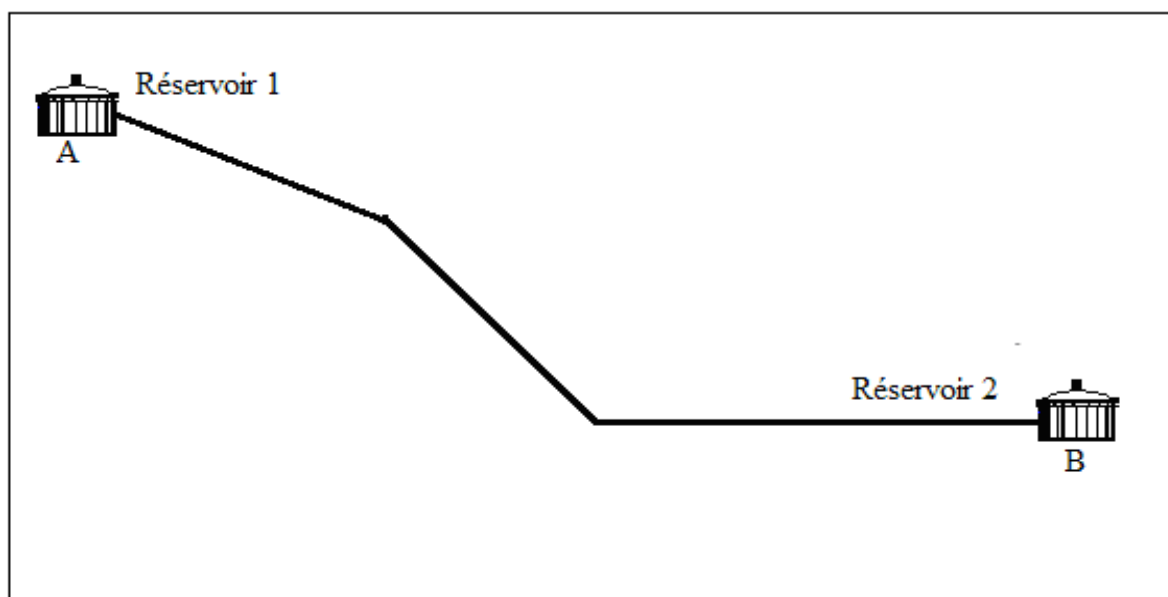


Figure.II.7 Exemple de réseau série

II.3.5 .b Réseau ramifié

Un tel réseau a la structure indiquée ci-dessous, c'est-à-dire un ensemble de conduites ne formant pas de boucle fermée,

Le problème qui se pose ici est la détermination des débits et éventuellement, des charges pour chaque tronçon de conduite .pour cela, on est amenée à résoudre un système de relation obtenue en écrivant :

-que les sommes des débits en chaque nœud du réseau sont nulles.

-que le long de chaque ensemble de conduite placée en série ; ABC par exemple une même relation que celle vue pour les réseaux série est satisfaite.

On obtient ainsi un système d'équation qui compte tenue des conditions aux frontière du réseau (points A.C.E.F ...) ou les débits (ou charges) sont supposée connus ; la seule difficulté est que certaines de ces relations sont non linéaires ; on peut alors soit procéder numériquement par approximations successives, soit graphiquement dans les cas simple.

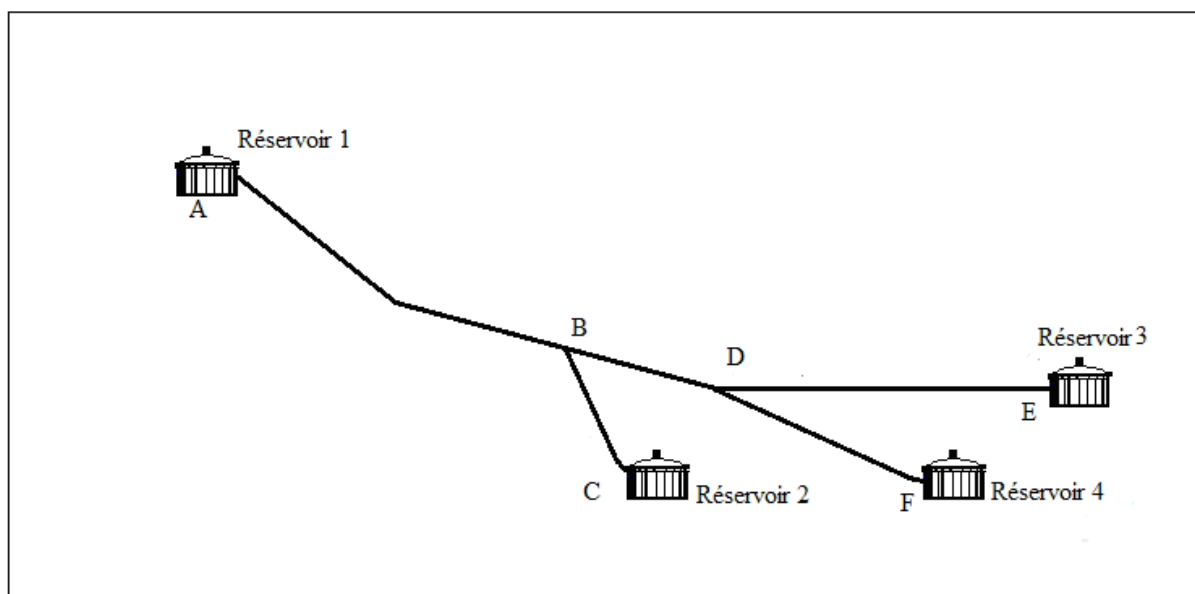


Figure.II.8 Exemple d'un réseau ramifié

II.3.5.c Réseau maille

Dans un tel réseau, les tronçons de conduite forment, comme indiqué sur le schéma ci-contre, des boucles fermées appelées mailles

Dans ce schéma les flèches (↗) figurent les débits en route qui correspondent à l'alimentation de certaines zones, tel que par exemple immeuble, bouches d'incendie...etc. Ces débits sont supposés connus.

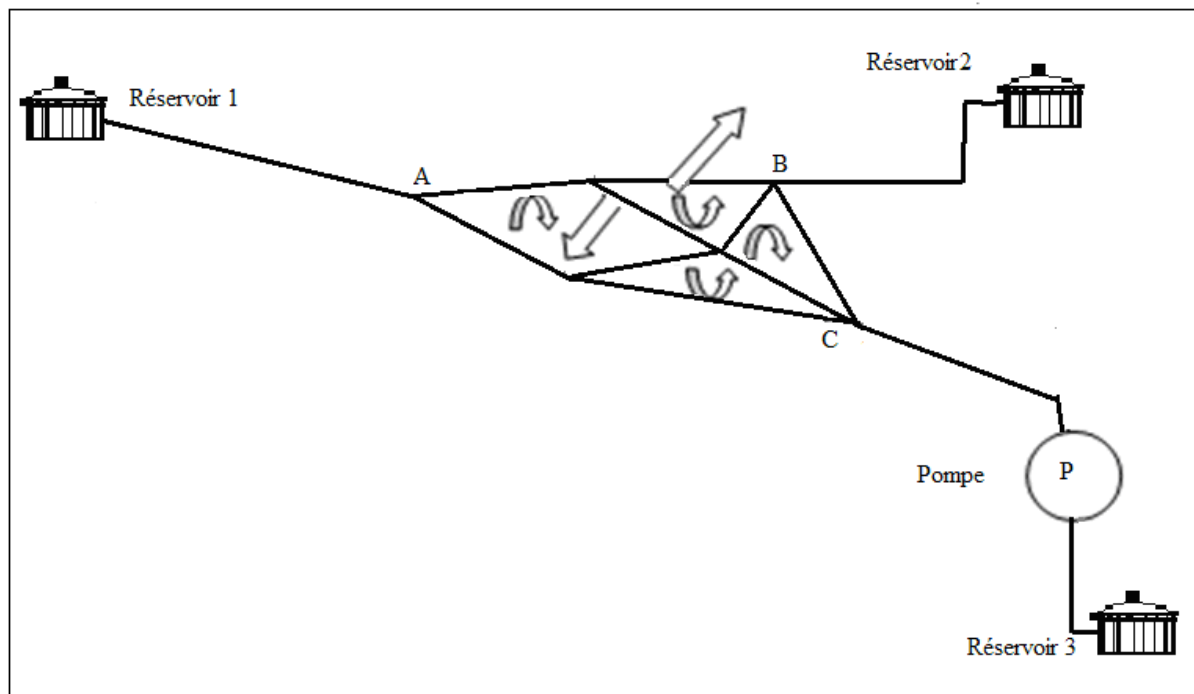


Figure .II.9 Exemple de réseau maillé

Le problème qui se pose ici est la détermination des débits Q_i dans chacun des tronçons de conduite, les charges s'en déduisant immédiatement.

-En chaque nœud la somme des débits est nulle (sachant l'équation II.1).

-Pour chaque maille fermée, la somme des différences de charge sur les tronçons d'une même maille est nulle

$$\sum \Delta H_{Li} = 0 \quad (\text{II.16})$$

-Toutefois, lorsque le nombre de mailles est élevé la résolution du système d'équation peut s'avérer très complexe et on utilise alors des méthodes d'approximation successives.

II.4 Calcul du potentiel énergétique

L'étude du potentiel d'énergie micro hydraulique a entre autre pour but de déterminer la localisation du site d'exploitation de cette énergie. Mais l'objectif principal de cette phase est le calcul de la puissance et du productible espéré.

II.4.1 Localisation du site

La localisation du site susceptible de présenter un potentiel d'énergie mini hydraulique se fait tout d'abord par l'observation de la configuration des réseaux.

Pour les réseaux installés en zone montagneuse, le potentiel se situe à l'emplacement des réducteurs de pressions.

Pour les réseaux en projet d'installation, le potentiel se situera à l'entrée des réservoirs, avant le réseau de distribution, en entrée de station de potabilisation, ou encore en entrée ou sortie de STEP [1].

Ces observations seront ensuite corroborées par la détermination de la puissance électrique et du productible énergétique.

II.4.2 Puissance électrique

D'une façon générale la puissance que l'on peut tirer d'une chute d'eau dépend non seulement de la hauteur de la chute mais aussi du débit du cours d'eau. à ces deux données principales, et indispensables pour le calcul de la puissance électrique, il faut rajouter un coefficient de performance comprenant les divers rendements des machines (turbine, générateur, transformateur) ainsi que le rendement tenant compte de la perte de charge dans la conduite forcée. Le choix de l'emplacement d'une centrale hydroélectrique dépend donc de ces facteurs.

La puissance hydraulique à disposition de la turbine est donnée par [5]:

$$P_h = 10^{-3} r \cdot Q \cdot g \cdot H_B \cdot h_c \quad [\text{KW}] \quad (\text{II.17})$$

Avec :

r : Masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

Q : débit [m³/s]

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

H_B : chute brute [m]

h_C : Rendement de la conduite [-]

La puissance mécanique fournie par la turbine est donnée par :

$$P_{mec} = P_h h_T \quad \text{[KW]} \quad \text{(II.18)}$$

Avec :

h_T : Rendement de turbine [-]

Ce qui nous donne la puissance électrique

$$P_{elec} = 10^{-3} r Q g H_B h_C h_T h_G \quad \text{[KW]} \quad \text{(II.19)}$$

Avec

h_G : Rendement du générateur [-]

Enfin, la puissance électrique, s'exprimera en kW, est donnée par la formule suivante :

$$p_e = 10^{-3} r Q g H_N h \quad \text{[KW]} \quad \text{(II.20)}$$

η : rendement hydroélectrique de l'installation à pleine charge

Avec :

$$h = h_T h_G \quad \text{(II.21)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h = 0 \\ h = 72.5 + 9.5 * \ln \left(4 \frac{Q}{Q_{eq}} \right) \\ h = (72.5 + 9.5 * \ln 4) * \left(1 - \frac{0.05}{0.4} \frac{Q}{Q_{eq}} + \frac{0.05}{0.4} \right) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{si } \frac{Q}{Q_{eq}} < 0.05 \\ \text{si } 0.05 \leq \frac{Q}{Q_{eq}} \leq 1 \\ \text{si } \frac{Q}{Q_{eq}} \leq 1.4 \end{array} \quad \text{(II.22)}$$

II.4.3 Production d'électricité annuelle

Une fois la puissance électrique est calculée, il est intéressant de déterminer la production annuelle d'énergie électrique. Il s'agit en fait de la période de temps pendant laquelle l'électricité est produite.

En effet, la production d'électricité annuelle s'exprime en kWh et peut être calculée grâce à l'expression suivante [1] :

$$E = \Delta t \cdot Q \cdot g \cdot H_N \cdot h \quad [\text{KWh}] \quad (\text{II.23})$$

Avec :

Δt : Durée de fonctionnement de l'installation. C'est le temps pendant lequel la turbine va turbiner l'eau,

h : Rendement hydro-électrique global moyen de l'installation.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord cité les normes et prescriptions de la mini centrale, par suite on a déterminé les quatre grandeurs caractéristiques permettant d'évaluer l'importance d'un aménagement hydroélectrique qui sont le débit d'équipement, la hauteur de chute, la puissance de l'aménagement et l'énergie électrique produite.

III .Etude du potentiel et choix des sites sur le réseau d'eau de Tizi Ouzou

Introduction

L'énergie hydraulique qui a l'immense d'être une énergie à la fois propre et renouvelable, dispose d'un potentiel important ; dans ce chapitre on se propose d'étudier ce potentiel dans l'une des régions montagneuses de l'Algérie qui est la grande Kabylie (Tizi-Ouzou) en vue de l'implantation de mini centrales hydroélectriques sur le réseau d'eau potable en se basant sur les notions présentés dans le chapitre précédent.

III.1 Etude du potentiel

La production d'énergie hydroélectrique dépend de deux paramètres fondamentaux : la hauteur de chute et le débit d'eau turbiné. A ces deux données principales, et indispensables pour le calcul de la puissance électrique installable, il faut rajouter un coefficient de performance comprenant les divers rendements des machines (turbine, générateur, transformateur) ainsi que le rendement tenant compte de la perte de charge dans la conduite forcée.

Les étapes à suivre pour le calcul de la puissance sont résumées dans l'organigramme de figure III.I:

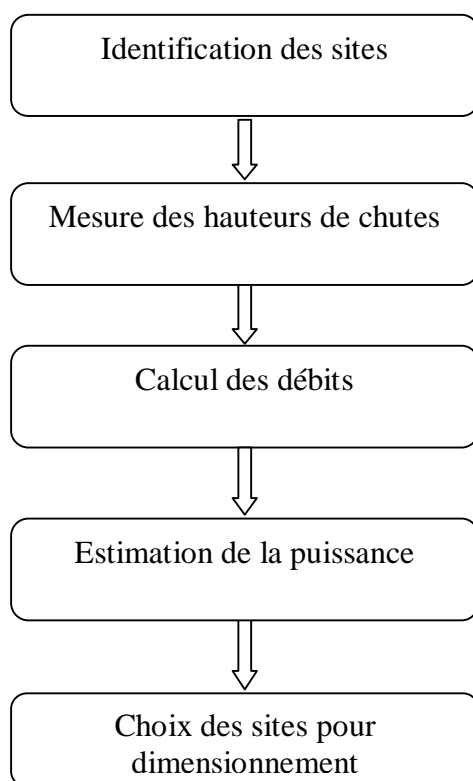


Figure.III.1 Organigramme de l'étude de potentiel

III.2 Identification des sites

Les sites appropriés pour les centrales hydroélectriques sur eau potable se situent principalement en région de montagne, où la dénivellation entre le captage d'eau de source et réservoir est importante et se trouve de se fait pour l'Algérie en Kabylie (la wilaya de Tizi- Ouzou), où les sites sont les plus favorables.

L'identification des sites du potentiel s'est effectuée d'après le plan de profil en long du réseau et en collaboration avec les services de l'ADE de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Pour faire l'identification des sites différents critères sont déterminants, comme, l'écoulement gravitaire, le débit, la hauteur de chute, l'emplacement géographique, la disponibilité d'un réseau électrique assez proche...

Après l'analyse du fonctionnement du réseau d'eau concernant la wilaya de Tizi-Ouzou, nous avons constaté que la grande partie des réservoirs de distribution d'eau potable sont alimentés par refoulement de l'eau à partir des sources de captage situées à un niveau bas par rapport à l'emplacement des réservoirs, ce type de réseau ne peut être exploité car il ne possède aucun potentiel énergétique, en plus c'est un réseau consommateur d'énergie dans les stations de pompage (Figure III.2), notre étude est orientée vers les réseaux et les chaînes qui possèdent un écoulement gravitaire pour cela nous avons jugé utile d'étudier les différentes chaînes suivantes

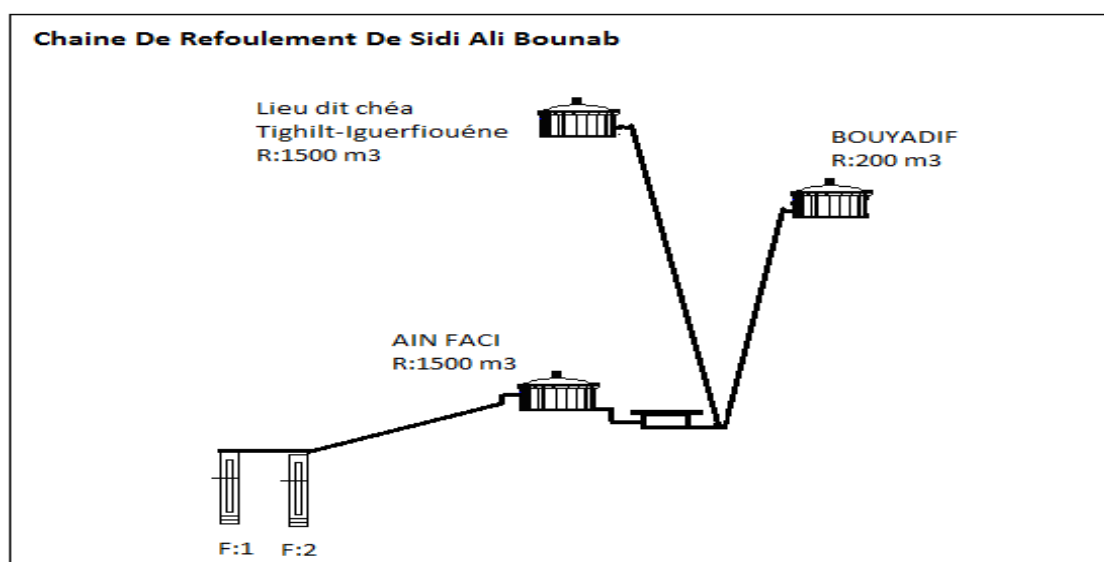


Figure III.2 Exemple d'un réseau alimenté par le pompage

- Chaînes AEP Iferhounene
- Chaînes AEP Ath douala / Ath Aissi
- Chaînes AEP secteur Ath Bouyahia
- Chaînes Sidi Ali Bounab
- Chaînes de Tizi ousou
- Captage source El hammam -ait boumahdi
- Captage Tebouth vert Tizi –N'tlatha
- Chaînes AEP Timeghras
- Chaînes Ain Texraine
- Secteur de Ouadhias
- Chaînes AEP de Souk-El –Djemaa
- Chaînes AEP Ait Erguène

Cependant, des sites ont été écartés soit par rapport : aux conditions de hauteur de chute, le diamètre des conduites, la permanence de la source ...etc. Comme il est montré par les exemples des figures (III.2), (III .3)

III.2.1 Exemples de chaînes écartées

La figure (III.3) montre un exemple de chaîne écartée car même l'écoulement entre les deux réservoirs R_2 et R_3 est gravitaire mais la différence de hauteur ($H_B=6m$) est faible.

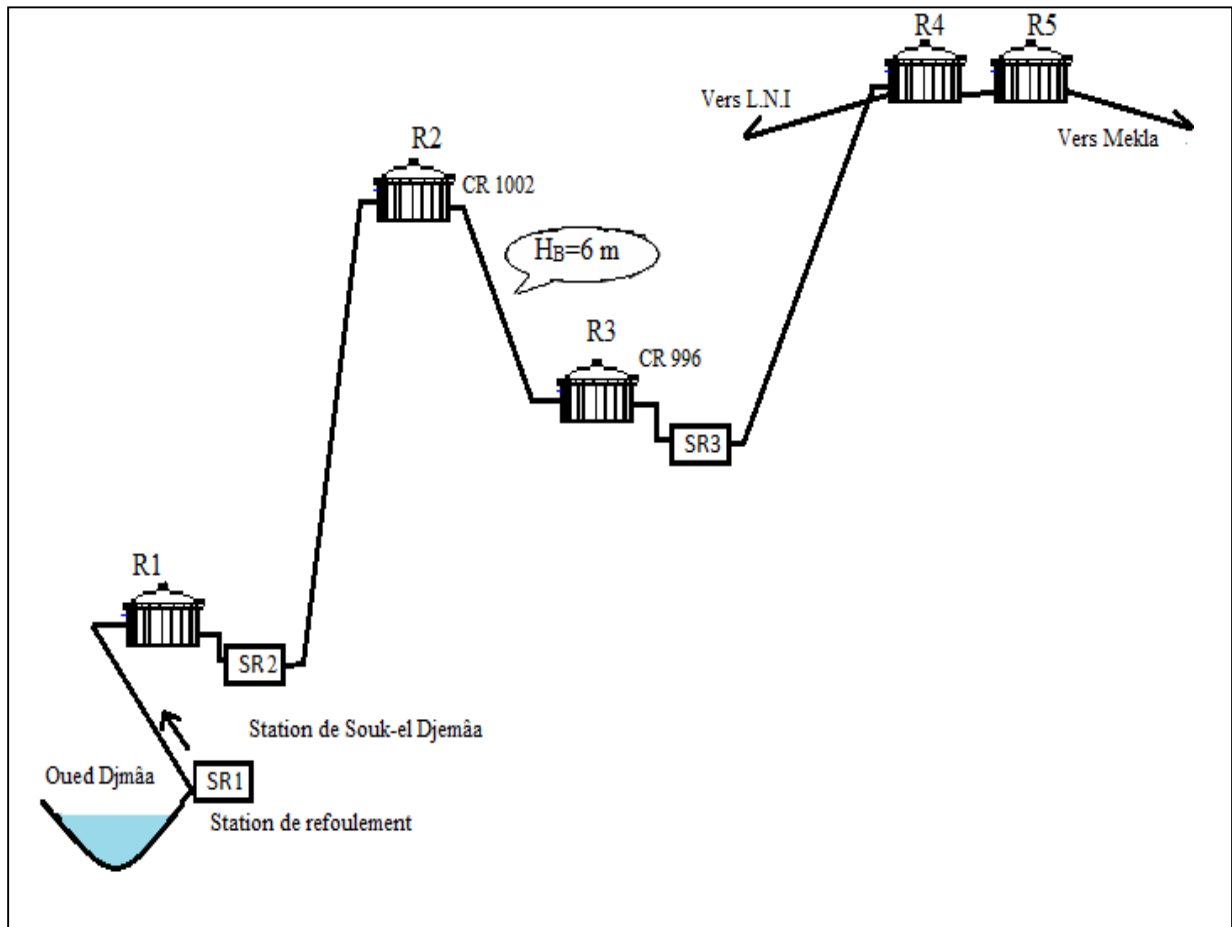


Figure .III.3 Chaîne d'AEP DE Souk-el-Djemâa

La figure (III .3) montre un exemple d'une autre chaîne écartée car même si l'écoulement est gravitaire mais le diamètre de la conduite est faible $\varnothing=80$ m donc on aura un faible débit

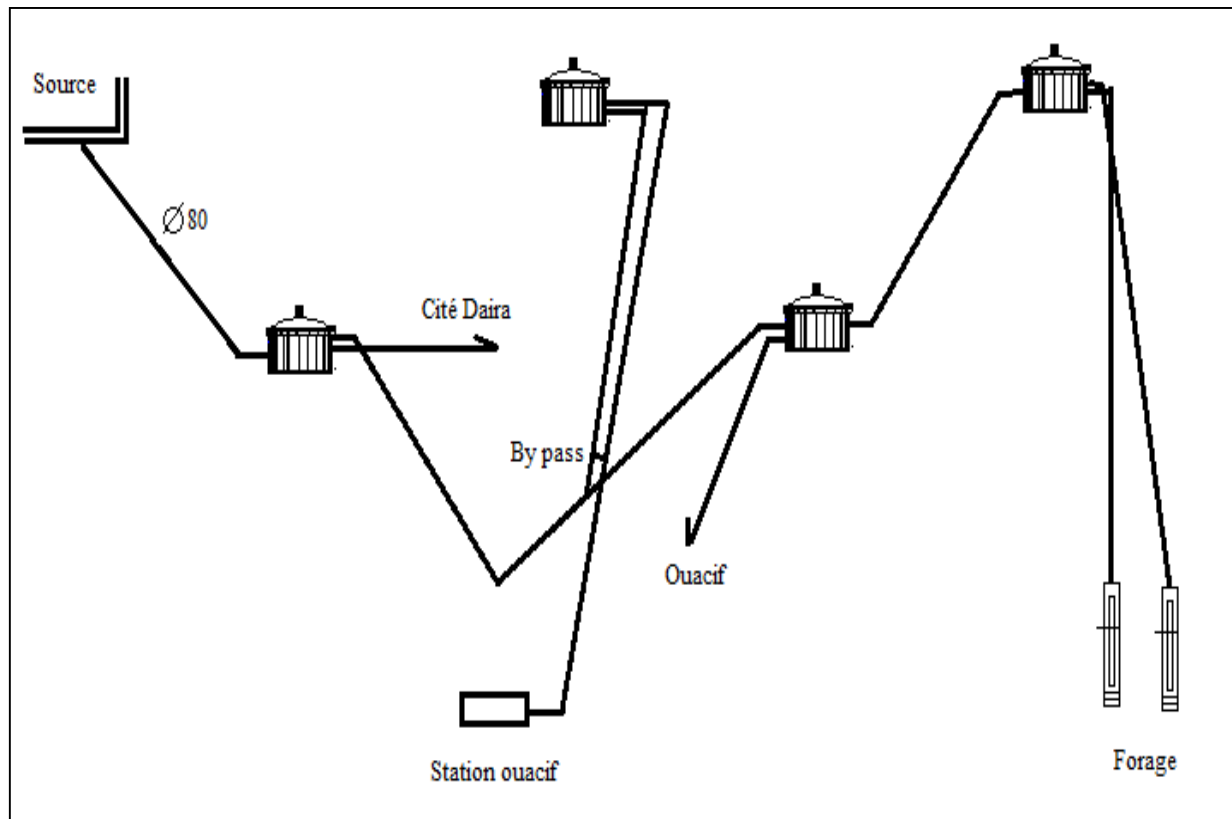


Figure III.4 Captage source El Hammam-Ait Boumahdi

Le site retenu pour être susceptible de présenter un potentiel mini hydraulique est celui de la zone d'Iferhounene où l'approvisionnement se fait principalement de manière gravitaire, ne nécessite que peu de pompage.

III .2.2 Etude du potentiel de la chaine AEP iferhounene

Le schéma ci-dessus montre le site choisi et qui se situe entre la source (Ighzar amokrane) et le réservoir (Iferhounenen)

III.2.3 Description du site

III.2.3.a La prise d'eau

Les ressources en eau de la région se composent des eaux de source. Actuellement l'alimentation en eau potable, se fait exclusivement par le captage de la source « El Ainseur Amokrane » qui a été réalisé à l'époque coloniale ; cette source de coordonnées (X=355.35 – Y=649.40), située au contact par faille des schistes du houiller et des calcaires du trias dans un ravin, affluent de l'oued Tirourda, à 1 Km du sud ouest du village Takhlijt Ait Aitsou. Son débit est de l'ordre de 110 l/s en hiver et 20 l/s à l'étiage selon le rapport datant du 30 avril 1948. Ce captage qui est située à l'altitude 1700m issue du massif du Djurdjura à l'aval d'Azerou N'Thor alimentant gravitairement deux réservoirs, le réservoir d'Ait Aitsou et le réservoir Soumeur. La figure (III .6) montre les images de la source « Ighzer amokrane »



(A)



(B)

Figure III.6 La source El Ainseur Amokrane

(A) : à l'extérieur du réservoir de la source

(B) : à l'intérieur du réservoir de la source

III.2.3.b La conduite

La conduite d'adduction est gravitaire de diamètre DN 200mm en acier enrobé et de longueur 4800 ml (mètre linéaire) alimentant le réservoir de Soumeur et contenant des chambres de mise en charge .cette conduite longeant la route vers illiltène . La conduite actuelle est en mauvais état. D'un point de vue technique, les conduites existantes comportent de trop grandes pertes de charge. Il sera nécessaire de les remplacer pour obtenir un meilleur rendement et ainsi profiter pleinement du potentiel existant.

La figure (III.7) montre

- une image de la conduite a la sortie de la chambre de mise en charge
- une image de la conduite



Figure III.7 Les conduites utilisées

III.2.3.c Réservoir d'arrivée

Le réservoir d'arrivée couvre une capacité de 300m³ situé à l'altitude de 1200m. Alimente par gravité la station de reprise n°1 et le réservoir de Soumeur de 50m³ de capacité.

La station de refoulement alimentée par un réseau de basse tension (400 V), cette station se compose de trois groupes de pompes de 75 KW chacun.

L'image du réservoir et la station de refoulement sont donnés par la figure (III.8)



Figure III.8 Réservoir d'arrivée et station de refoulement
(station de reprise n°1)

La figure (III.9) montre une image de l'arrivée du l'eau au réservoir de souueur



Figure III.9 L'arrivée de l'eau au réservoir de souueur

III.3 Etude du potentiel dans la zone d'Iferhounene

III.3.1 Mesure de la hauteur de chute

III.3.1.a La hauteur brute H_B

La hauteur de chute H_B est égale à la différence d'altitude exprimée en mètre entre les niveaux à la prise d'eau (cote de surface libre en eaux moyennes) et la sortie de la turbine. C'est une donnée topographique mesurable sur le terrain, ou grâce à une carte pour les hautes chutes.

$$H_B = H_1 - H_2 \quad (\text{III.1})$$

Avec :

H_1 : la hauteur de la source par rapport à la mer

H_2 : la hauteur du réservoir par rapport à la mer

D'après le schéma AEP d'Iferhounene sur la figure (III.3) on a

$$H_1 = 1700\text{m}$$

$$H_2 = 1200\text{m}$$

En remplaçant H_1 et H_2 dans l'équation (III.1)

On obtient donc

$$H_B = 500\text{ m}$$

III.3.1.b La hauteur nette H_N

La hauteur de chute nette (H_N) tenant compte des pertes charges hydrauliques est déterminée selon la formule (II.5), en estimant les pertes de charge à 10% de la hauteur brute

On trouve que :

$$H_N = 450\text{m}$$

III.3.2 Calcul du débit

Le débit de l'eau dans la conduite est relevé sur sites selon plusieurs méthodes, soit :

- Par un débitmètre disposé sur la conduite
- Par une sonde de niveau sur un déversoir
- Par un limnigraphe à flotteur

Pour notre site, la conduite est très ancienne et elle va être rénovée à l'avenir .c'est pour cela dans notre cas le débit sera calculé en utilisant l'équation (II.2), où la vitesse se calcul par la formule de Bernoulli

$$\frac{P_1}{r} + \frac{V_1^2}{2} + H_1 \cdot g - \Delta H_L = \frac{P_2}{r} + \frac{V_2^2}{2} + H_2 \cdot g$$

$$\Rightarrow V_2 = \sqrt{2 \left(\frac{P_1 - P_2}{r} + \frac{V_1^2}{2} - \Delta H_L + (H_1 - H_2) g \right)} \quad (\text{III.2})$$

Pour valorisé le potentiel existant pour le turbinage on va considérer le niveau d'eau constant dans le réservoir (chambre) de mise en charge ce qui signifie que la vitesse de vidange de se réservoir est nulle, on aura donc :

$$V_1=0$$

$P_1 = 1$ atmosphère = 101325 N/m^2 (la pression atmosphérique)

$P_2 = 50 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$g = 9.81 \text{ m/S}^2$

$r = 1000 \text{ Kg/m}^3$

Application numérique :

$$V_2 = \sqrt{2 \left(\frac{101325 - 50 \cdot 10^5}{1000} - 50 + 500 \cdot 9.81 \right)}$$

$$V_2 = 9.34 \text{ m/S}$$

En remplaçant la valeur de la vitesse dans l'équation du débit

On trouve :

$$Q = 0.29 \text{ m}^3/\text{s}$$

III.3.3 Estimation de la puissance

Avant de calculer le potentiel exploitable, on abordera d'abord le calcul de rendement global en utilisant l'équation (II.22.b). Cela après avoir considéré que le débit turbiné est constant et le débit équipé égal au débit effectif c'est-à-dire

$$Q = Q_{eq} = 0.29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donc :

$$0.05 \leq Q/Q_{eq} \leq 1$$

Le rendement global h se calculera par l'équation (II.)

$$h = 72.5 + 9.5 \ln(4)$$

$$h = 0.86$$

D'après Les valeurs obtenues du débit, de la chute nette et rendement, il est possible de calculer la puissance électrique en utilisant la formule (II.20)

Application numérique :

$$P_{\acute{e}le} = 1000 * 9.81 * 450 * 0.29 * 0.86$$

$$P_{\acute{e}le} = 1.10 \text{ MW}$$

III.3.4 Production d'énergie annuelle

La production d'énergie annuelle est calculé selon l'équation (II.22) et en prenant en compte la période de maintenance des réservoirs et des équipements de la mini centrale estimé à 15 jour par an :

$$E_{annuelle} = 350 * 24 * 1.1 = 9.24 \text{ GWh}$$

Les différentes caractéristiques du site choisi sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau (III.1) résumé des différentes caractéristiques du site

Les caractéristiques	Les valeurs
La hauteur de chute brute	500 m
La hauteur de chute nette	450 m
La vitesse	9.34 m/s
Le débit de l'eau	0.29 m ³ /s
La puissance électrique	1.10 MW
Energie annuelle	9.24 GWh

La variation de la puissance en fonction du débit

La puissance d'une mini centrale hydroélectrique implanté sur un réseau d'eau potable est directement proportionnelle au débit turbiné (m³/s) et à la hauteur de chute (m)

La hauteur de dénivelé (entre le niveau d'eau amont et niveau aval) est quasi-constante, tandis que le débit est une donnée qui peut varier fortement

Les valeurs de puissances pour différents débit compris entre 20% et 100% pour le débit maximum sont représenté dans le tableau suivant.

Tableau III.2 La variation de la puissance en fonction du débit

Q (%)	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Q (m ³ /s)	0.058	0.087	0.116	0.145	0.174	0.203	0.232	0.261	0.29
P (KW)	220.19	330.29	440.39	550.48	660.58	770.68	880.78	990.87	1100

Les résultats de ce tableau sont représentés par le graphe ci-dessous

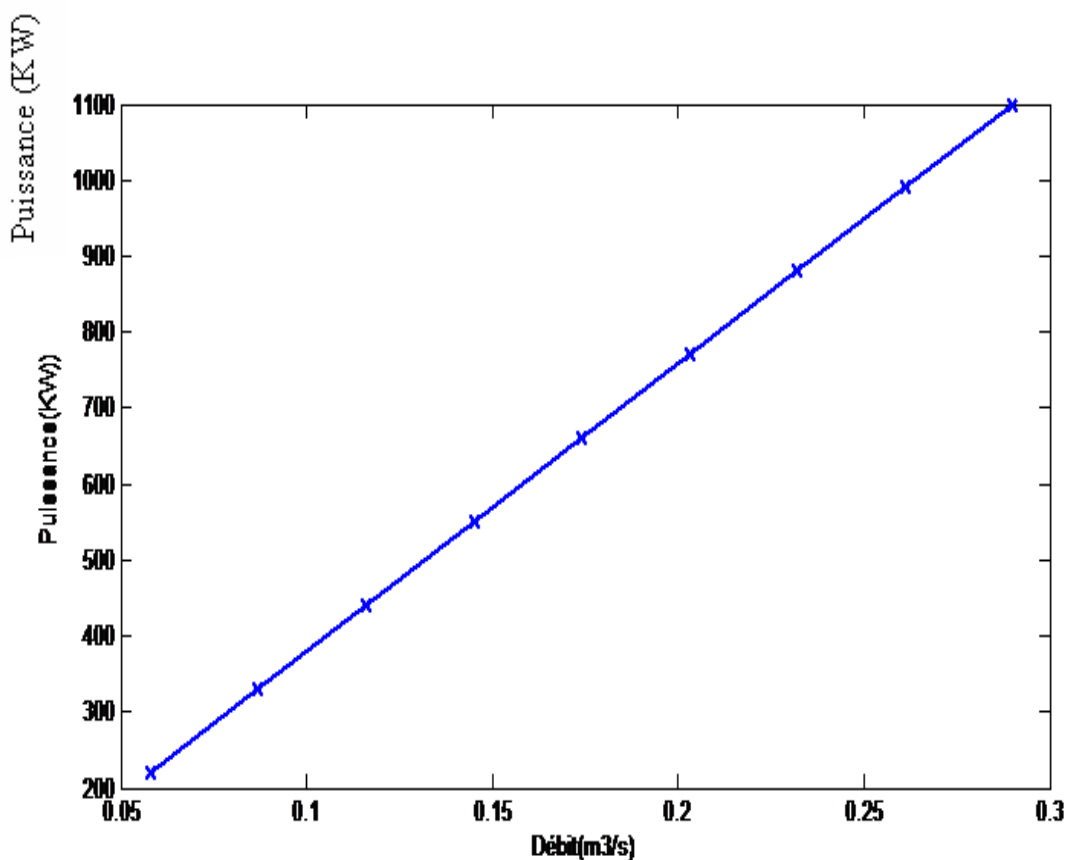


Figure III.10 Courbe de variation de la puissance en fonction du débit

•Interprétation du graphe

L'évolution de puissance fournie par la centrale en fonction du débit compris, est une droite convergente et qui signifie que la puissance dépend de débit proportionnellement, quand le débit augmente la puissance aussi va augmenter et vice versa. Donc pour profiter du potentiel existant il faut agir d'une façon que le débit soit important. C'est pour cela qu'on a choisis dans notre étude la valeur du débit maximal pour le prédimensionnement de la mini centrale.

Ce résultat est bien démontré par l'histogramme de la figure (III.11)

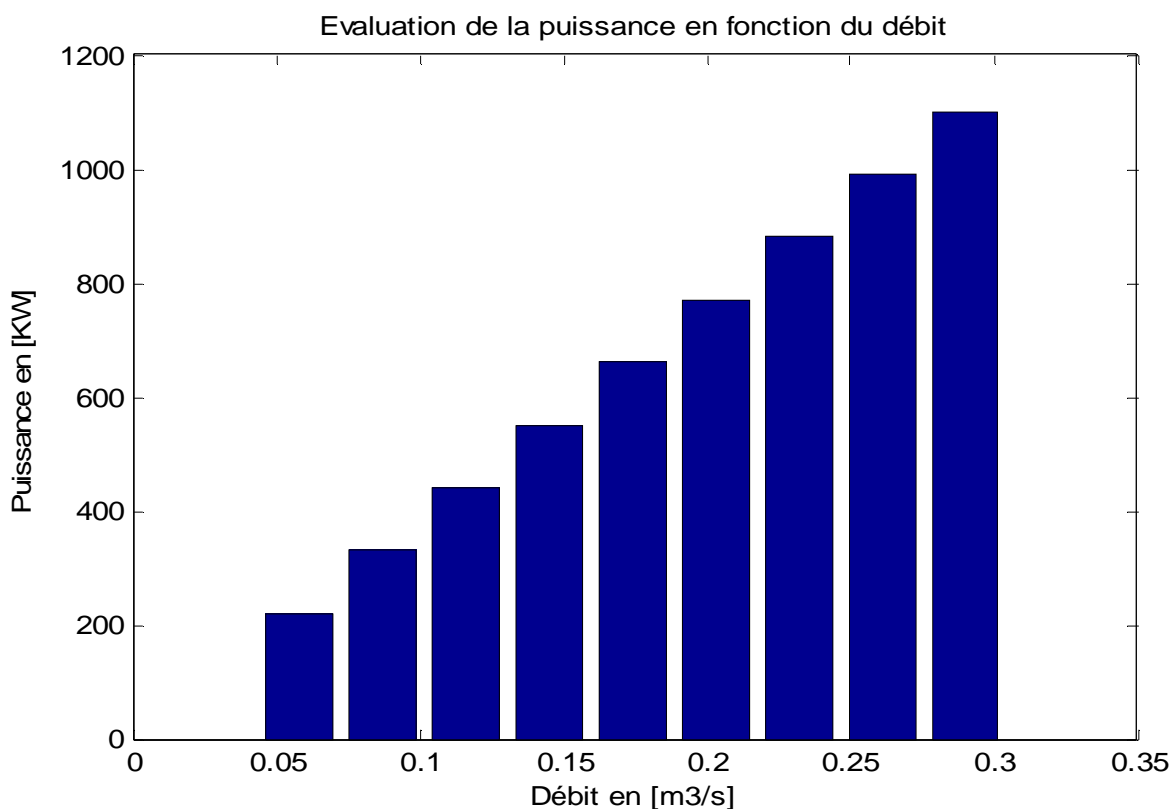


Figure III.11 Histogramme de la variation de la puissance en fonction du débit

III.4 Intérêt de la mini centrale hydroélectrique

L'hydroélectricité n'a recours à aucune combustion ; elle ne dégage donc aucun oxyde, et en particulier pas de dioxyde de carbone. Elle n'émet aucun gaz pouvant concourir à l'effet de serre, problème environnemental majeur à l'échelle planétaire

En effet, 1 GWh hydroélectrique produit :

- Evite le rejet de 480 tonnes de CO₂
- Alimente 300 ménages

Donc dans notre cas la mini centrale va :

- Réduire 4435.2 tonnes d'émission de CO₂
- Alimenter 2772 ménages
- Créer des postes d'emplois pour les techniciens de maintenance

- Compenser la puissance consommée au niveau des stations de pompage qui alimente le réservoir de tête
- Contribuer à l'augmentation des revenus pour les propriétaires de cette mini centrales.

III.5 Etude économique [11]

Selon la configuration du site étudié et compte tenu de la possible d'existence d'équipements anciens susceptible d'être réhabilité, l'importance des travaux est extrêmement variable et ne peut faire l'objet que d'une approche au cas où la prise en compte d'une valeur moyenne n'a guère de signification

L'autre avantage majeur d'installation d'une mini centrale sur réseau d'adduction de l'eau potable, en comparaison avec une centrale hydroélectrique classique, est de l'ordre économique .en effet, en utilisant un réseau d'adduction d'eau existant, il n'est pas nécessaire de construire une infrastructure hydraulique spécifique, ce qui permet d'augmenter considérablement la rentabilité économique du projet.

Le prix d'une mini centrale est fonction du site à équiper. Compte tenu du coût du génie civil, il est conseillé pour limiter les investissements, si c'est possible, de ne pas entreprendre de nouvelles constructions de centrales. Il faut donc essayer de rénover des installations existantes ou de réhabiliter d'anciennes usines.

III.5.1 Le coût des études

Le coût des études comprend :

- Les études techniques, avec notamment les études hydrauliques et géotechniques,
- Les études d'environnement, avec notamment l'étude d'impact,
- Les études économiques et financières.

III.5.2 Les coûts d'entretien et charges d'exploitation

Les coûts d'entretien et charges d'exploitation comprennent essentiellement :

- Les frais de personnel : frais du gardiennage et des petites interventions d'entretien des installations et bâtiments,
- La maintenance programmée,
- Les assurances, ...

Pour la plupart des coûts, il est possible de déterminer une valeur approximative basée sur des prix unitaires ou sur des valeurs d'expérience.

Cependant, trois facteurs de coût sont parfois difficiles à définir dans le cadre d'une première évaluation, qui concerne:

- La distance de raccordement au réseau électrique.
- La longueur de la route d'accès à construire jusqu'à la centrale.
- L'existence ou non d'un local pour l'installation de la centrale.

III.5.3 Le coût de la construction

Le coût de la construction prend en compte les différents composants de la mini centrale.

C'est-à-dire :

- Le génie civil,
- Les équipements de production, avec notamment la turbine et le générateur,
- Les équipements électriques et le raccordement au réseau,
- La conduite forcée.

III.5.3.a Le coût du renouvellement des conduites

Le coût du renouvellement des conduites est composé de deux éléments:

- Coût du matériel (tuyaux, vannes et éléments auxiliaires).
- Coût des travaux incluant l'excavation, le transport, la pose, le remblayage et l'ensemencement.

Le renouvellement d'une conduite d'eau potable peut être associé à la sécurité d'approvisionnement et éventuellement à l'exploitation énergétique du réseau. Vu que le but premier du réseau est la distribution d'eau potable et accessoirement la production d'énergie, tout surcoût requis par l'optimisation énergétique sera imputé au projet de turbinage. Dans le cas où une substitution de conduite est effectuée dans le seul but de l'exploitation hydroélectrique, la totalité du coût sera imputée à l'aménagement.

Différentes spécificités techniques du projet ou des contraintes locales peuvent engendrer des coûts supplémentaires, par exemple, la traversée d'une zone forestière ou géologiquement difficile.

L'inclusion de tels coûts nécessite un degré de connaissance du projet qui se situe au-delà de l'objectif général de notre étude.

III.5.3.b Le coût du groupe turbo-alternateur

Le coût du groupe turbo alternateur est décomposé en trois parties :

- Turbine et alternateur
- Tableau de commande et système de sécurité et alarme
- Travaux d'installation, test et mise en marche

Dans le contexte d'une valorisation de l'énergie hydraulique résiduelle des réseaux d'eau potable, les caractéristiques de débit (relativement faible) et de chute disponible (élevée) font converger vers la plage de fonctionnement des turbines Pelton. Le coût d'une turbine est estimé en fonction de la puissance installée.

III.5.3.c Transformateur

La transmission de l'énergie produite nécessite l'installation d'un transformateur, dans notre cas la mini centrale sera connectée à un réseau de basse tension donc sans l'introduction d'un transformateur.

III.5.3.d La télémaintenance

La télémaintenance est optionnelle dans un aménagement hydroélectrique mais elle est fortement conseillée, raison pour laquelle son coût forfaitaire est inclus par défaut dans le calcul

III.5.3.e Cellule de coupure

Chaque connexion standard au réseau requiert une cellule de coupure électrique dont le coût dépend de la puissance installée.

Sur le tableau (III.3) on a donnée un exemple des prix estimé pour les conduites et les vannes en fonction des diamètres

Tableau (III.3) Exemple des prix des conduite et les vannes en fonction du diamètre

Les équipements	Les diamètres	Prix TTC /ML (DA)	Prix HT/M L (DA)
Les conduites type PEHD de PN=16	200mm	2030.10	1735.13
	400 mm	12500.00	10700.00
	430 mm	18135.00	15500.00
	500 mm	19305.00	16500.00
	630 mm	29952 .00	25000.00
Les vannes	300 mm	110000.00	–
	400 mm	104130.00	89000.00

Les prix inscrits au tableau sont a titre indicatif, ils peuvent varier en fonction du prix, du coût de la matière première ou de la fluctuation des cours du dinar.

Conclusion

On a analysé dans ce chapitre le réseau d'eau potable de la wilaya de Tizi-Ouzou où on a choisi tout les sites gravitaires de la région, après cet analyse on a opté pour le site de Iferhounene pour sa configuration géographique dont la gravitation importante (hauteur de chute considérable) ainsi que la présence d'une source naturelle, ce qui permet un débit annuelle important.

L'étude du réseau d'eau potable d'Iferhounene nous a permis le choix du site et le prédimensionnement de la mini centrale dont on a désigné la hauteur de chute et on a calculé le débit puis à la fin le calcul du potentiel énergétique qu'on a trouvé important avec une puissance de 1.1 MW et une production annuelle de 9.24 GWh. Il est à noter que pour qu'un projet hydraulique soit rentable, il est essentiel de s'assurer que l'on dispose d'une ressource

suffisante car le débit moyen sur un site est un facteur déterminant du fait que l'énergie produite varie proportionnellement à ce débit. On a terminé notre chapitre par une petite étude économique du projet.

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'étudier la possibilité d'implanter une mini centrale hydroélectrique sur un réseau d'eau potable, ainsi que l'identification des éléments constituant cette mini centrale. Pour une meilleure exploitation des ressources naturelle existante en Algérie nous avons opté pour un site qui présente des caractéristiques permettant d'obtenir un potentiel énergétique important.

Notre étude a été faite particulièrement sur le réseau d'eau potable de la région de Tizi Ouzou où on a choisi un lieu pour l'implantation. Ce lieu est celui d'iferhounene au niveau du réservoir de Soumeur.

Dans les résultats de l'étude menée sur le site, on a trouvé une valeur importante du potentiel énergétique ce qui permet l'exploitation de cette source naturelle pour le bénéfice de la population.

En résumé, on peut dire que le turbinage des eaux potables, rentre parfaitement dans le cadre du développement des énergies renouvelables voulu par et pour la région. Cette production d'énergie est aisée à mettre en oeuvre et à exploiter localement par les collectivités publiques ou privées pour lesquelles est une source de revenus en plus.

Produire une énergie à la fois propre et renouvelable en utilisant la force hydraulique, c'est indéniablement une bonne idée...mais produire une telle énergie sans porter aux paysages et aux écosystèmes, et en réduisant considérablement les investissements habituellement liés à ce type d'infrastructure, c'est encore mieux. C'est aujourd'hui possible grâce à la production d'énergie sur les réseaux d'adduction d'eau potable.

Cette technique ingénieuse et encore mal connue, qui ne demande qu'à se développer en donnant importance à l'amélioration du matériel hydraulique et hydroélectrique comme le renouvellement de la conduite qui se détériore avec le temps, ce qui provoque l'augmentation des pertes de charges qui influe sur le rendement de la mini centrale.

Ce projet de fin d'étude fut pour nous l'occasion d'étendre nos connaissances et constitue un complément indispensable à notre formation, espérons être un outil ou un guide pour ceux qui auront le consulté.

Références bibliographiques

- [1]: Sandrine RAMEAU, La micro-hydraulique sur réseaux d'adduction et d'assainissement septembre 2003
- [2]: Théodore WILDI et Gildert SYBILLE, ELECTROTECHNIQUE, Edition De Boeck 2005
- [3]: Mr. E. DAHBANI SMCH/CDER les micro- centrales hydroélectriques
- [4] :M. Ivan Sanchez Développement d'une commande pour mini-centrales hydro-électriques septembre 2007
- [5] : Cédric Diserens Implantation de mini-centrales hydroélectriques sur le Réseau d'Eau Potable du Service Intercommunal de Gestion décembre 2006
- [6]: M. Ivan Sanchez Développement d'une commande pour mini-centrales hydro-électriques septembre 2007
- [7] : MOUSSA SIDDO Abdoulaziz, SOUMANA NOUHOU Ibrahim Etude du Générateur Asynchrone pour l'utilisation dans la production de l'énergie éolienne Promotion 2007
- [8] : Jean-Marc PAGÉS, Guide pour le montage de projet de petite hydroélectricité
- [9] : J-L Boillat, M-Bieri, P- Sirvent, J-Dubois, TURBEAU Turbinage des eaux potables
- [10] : pierre DESSERS, les pertes de charges dans les tuyauteries.
- [11] : Thierry BOULAY, Hydraulique Industrielle
- [12] : Fabrizio GUIDETTI, Les pertes de charge dans les installations Le dimensionnement des mitigeurs, octobre 2005