

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Ecole nationale polytechnique
Laboratoire de Recherches Sciences de l'Eau
Département Hydraulique



Mémoire de Master en Hydraulique

Réalisé par :

Abderrezak AFROUKH

**EVALUATION DE L'ENERGIE HYDROELECTRIQUE
DANS LE RESEAU D'ADDUCTION TAKSEBT-BOUDOUAOU**

Président de thèse :

Pr. A. KETTAB

Directeur de thèse :

Pr. S. BENMAMAR

Examineurs :

Mr. S. BENZIADA
Mr. N. NEBBACHE

Promotion 2015

Ecole Nationale Polytechnique, 10 Avenue Hassen Badi, El-Harrach, Alger, ALGERIE

REMERCIEMENT

J'adresse mes vifs remerciements au Professeur KETTAB Ahmed directeur du laboratoire LRS-EAU à l'ENP d'avoir accepté de juger ce travail et de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à Mlle Saida BENMAMAR professeur à l'Ecole National Polytechnique.

Je remercie vivement Monsieur Nacer-Eddine NEBBACHE et Monsieur Salim BENZIADA d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie également Monsieur Nafaa SILHADI responsable à la SEAAL de m'avoir aidé pour finaliser ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

A mes chers parents,

A ma Sœur,

A mes frères,

A toute ma famille,

A mes enseignants de l'école nationale polytechnique,

A tous mes professeurs durant ma scolarité,

A tous mes amis.

Abderrezak AFROUKH

Résumé

L'énergie électrique représente 17% des OPEX SEAAL (1 kWh/m³) à cause des pompages et traitement d'eau, le cout du kWh pourrait augmenter encore dans l'avenir. Les débits d'eau écoulant H24 dans les conduites d'adduction de SEAAL par voie gravitaire à partir des barrages et réservoirs constituent des ressources capables de produire d'énergie hydroélectrique presque en continu, cela configure pour la SEAAL une opportunité d'innover dans le domaine des services de l'eau, en rapprochant l'eau et l'énergie sans émission de gaz.

Le but de ce travail est d'estimer ce potentiel hydroélectrique dans le système d'adduction de Taksebt

Mots clés : *Modélisation, Réseau d'adduction, hydroélectricité, EPANET..*

ملخص

استخدام الطاقة الكهرومائية يعود إلى بداية عصرنا. حتى في العصور الوسطى، سمحت العديد من مصانع لتوفير الطاقة الكهرومائية. بعضهم لا يزال إنتاجه للطاقة الكهرومائية حتى يومنا هذا. حققت تحويل مواقع إنتاج الكهرباء من أواخر القرن التاسع عشر. وتمثل الطاقة الكهربائية 17% من النفقات التشغيلية لشركة سيال بسبب الضخ ومعالجة المياه، ويمكن أن سعر الكيلو واط الساعي سيزيد في المستقبل. يعتبر تدفق المياه في أنابيب السحب التي تأتي من السدود والخزانات من الموارد القادرة على إنتاج الطاقة الكهرومائية بشكل مستمر تقريبا، فإنها قد تكون لشركة سيال فرصة للابتكار في مجال خدمة المياه، وبذلك الماء والطاقة دون انبعاث غازات ثاني الكربون. والهدف من هذه الدراسة هو تقدير إمكانيات إنتاج الطاقة الكهرومائية في شبكة الإمداد من سد تاكسيبت لبودواو.

مفتاح: *النمجة ، شبكة الإمداد ، الطاقة الكهرومائية ، EPANET.*

Abstract

The use of hydroelectric power back to the beginning of our era. Until the middle ages, many mills allowed to provide hydropower. Some of them still produce renewable hydropower. The conversion of electricity production sites has made from the late nineteenth century. Electrical energy represents 17% of OPEX SEAAL (1 kWh / m³) due to the pumping and treatment of water, the cost per kWh could increase in the future. The water flows flowing in supply system pipelines by gravity pathway from dams and reservoirs are resources capable of producing hydroelectric power almost continuously, it configures for SEAAL an opportunity to innovate in the field of Service water, bringing the water and energy without gas emission. The aim of this study is to estimate the hydropower potential in the water supply system of Taksebt.

Keywords: *Modeling, supply network, hydropower, EPANET.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	10
L'ENERGIE HYDROELECTRIQUE EN ALGERIE	- 11 -
INTRODUCTION	- 11 -
1. L'EVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ENERGIE HYDROELECTRIQUE EN ALGERIE	- 11 -
2. LES GRANDS AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES DE PETITE KABYLIE.....	- 15 -
2.1 <i>L'aménagement de l'oued Agrioun</i>	- 15 -
i. L'Aménagement Amont.	- 15 -
ii. L'aménagement aval, ou haute chute de l'Agrioun.	- 17 -
iii. La chute de l'Oued Ahrzerouftis.....	- 18 -
iv. Les possibilités d'extensions prochaines de l'Oued Agrioun.	- 19 -
2.2 <i>L'aménagement de l'oued Djendjen</i>	- 19 -
3. LES MOYENS ET PETITS AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES	- 23 -
CONCLUSION	- 26 -
PRESENTATION DU PERIMETRE D'ETUDE	27
INTRODUCTION	27
1. CODUITES D'ADDUCTION.....	27
2. LE SYSTEME TAKSEBT	28
3. MODELISATION DU PERIMETRE D'ETUDELE MODELE TAKSEBT	30
CONCLUSION	30
MODELISATION ET SIMULATION PAR EPANET	31
INTRODUCTION	31
1. LE PROCESSUS DE LA MODELISATION.....	31
2. LA MODELISATION PAR EPANET	33
2.1 <i>Capacités pour la Modélisation Hydraulique</i>	33
2.2 <i>Les algorithmes de la modélisation</i>	34
3. EFFET DE LA DIFFERENCE DES SYSTEMES D'EQUATION	34
CONCLUSION	35
ESTIMATION DU POTENTIEL HYDROELECTRIQUE	36
INTRODUCTION	36
1. RECUEIL DES DONNEES.....	36
2. DETERMINATION DE LA PERTE DE CHARGE ΔP DISSIPEE.....	37
3. DIMENSIONNEMENT DE LA TURBINE	37
i. Rappel de notion de vitesse spécifique	39
ii. Calcul de Puissance	39
iii. Puissance installée	40
4. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES	41
5. HYPOTHESES.....	41
i. <i>Vente à Sonalgaz</i>	41
ii. <i>Auto consommation (Seaal)</i>	41

6. VANNE DE MODULATION DE PRESSION AUTONOME	42
I. LA MODULATION DE LA PRESSION	42
II. PROBLEMATIQUE DES VANNES DE MODULATION DE PRESSION	43
III. SOLUTION DE LA PROBLEMATIQUE	43
<i>Présentation du dispositif</i>	43
<i>Installation et raccordement</i>	44
<i>Caractéristiques</i>	44
CONCLUSION	45
CONCLUSION GENERALE	46
BIBLIOGRAPHIE	47

Liste des Figures

Figure I.1 : usine hydroélectrique du barrage de BENIBAHDEL (Dpt d'Oran)

Figure I.2 : Positionnement des centrales hydroélectriques d'Algérie

Figure I.3 : Carte schématique à un certain stade de l'ensemble des études effectuées sur les bassins juxtaposés de l'Oued Agrioun -l'Oued Djendjen supérieur -Oued' Kéhir supérieur et l'Oued Djendjen inférieur

Figure II.1 : schéma altimétrique du réseau Taksebt-Boudouaou

Figure II.2 : modèle de Taksebt-Boudouaou «sur EPANET »

Figure III.1 : le processus de la modélisation

Figure IV.1 : la variation du débit en m^3/h à l'entrée Boudouaou-Taksebt

Figure IV.1 : la variation du débit en m^3/h à l'entrée Boudouaou-Taksebt

Figure IV. 3 : courbe variation de rendement de diverses turbines en fonction de débit

Figure IV.4 : vanne de modulation de pression

Figure IV.5 : dispositif d'autonomie

Figure IV.6 : Installation et raccordement

Figure IV.7 : l'installation du dispositif dans un regard d'un réseau de distribution (SEAAL)

Liste des Tableaux

Tableau I.1 quelques caractéristique des barrages hydroélectriques en Algerie

Tableau IV.1 vitesse spécifique N_s pour chaque site

Tableau IV.2 : débits et puissances nominales .des différents sites

Introduction générale

L'énergie hydroélectrique est une énergie électrique renouvelable obtenue par conversion de l'énergie hydraulique, des différents flux d'eau naturels, en électricité. L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine hydraulique, puis en énergie électrique par un alternateur.

Les débits d'eau écoulant H24 dans les conduites d'adduction par voie gravitaire à partir des barrages et réservoirs constituent des ressources capables de produire d'énergie hydroélectrique presque en continu, cela configure une opportunité d'innover dans le domaine des services de l'eau, en rapprochant l'eau et l'énergie sans émission de gaz.

Cette génération peut être assurée par des dispositifs de récupération appelés turbines hydrauliques.

Avec l'évolution de l'informatique et des moyens de calcul, il est possible aujourd'hui de simuler le fonctionnement du réseau d'eau sous pression, et ce, en se basant sur la modélisation qui permet de mieux comprendre son comportement en temps. Cela constitue un outil d'aide à la décision avec lequel le gestionnaire du réseau peut définir et orienter ses investissements.

Le but du présent mémoire l'évaluation du potentiel hydroélectrique dans le système d'adduction d'eau potable de Boudouaou à partir de Taksebt.

Le présent mémoire s'organise autour de quatre chapitres, dont le premier montre le développement des aménagements hydroélectriques en Algérie. En suit nous allons définir notre périmètre d'étude dans le second chapitre.

Sont présentées dans le troisième chapitre, le processus de la modélisation hydrauliques et les caractéristiques du modèle EPANET qui présente le moteur de la simulation hydraulique de notre réseau d'adduction concerné par cette modeste étude.

Le dernier chapitre est consacré à l'évaluation du potentiel hydroélectrique dans le réseau d'adduction, et montre l'intérêt de la génération hydroélectrique dans le cas des vannes de modulation de pression.

Chapitre I

L'énergie hydroélectrique en Algérie

Introduction

En 1940 un programme d'aménagements hydroélectriques était élaboré, il comprenait d'une part, de nouveaux aménagements au fil de l'eau de moyenne puissance (chutes de Boghni-aval, de Souk-et-Djemaa près Michelet, du Gouriet près Maillot) d'autre part, la construction de centrales au pied des barrages d'irrigation (barrages d'Oued Fodda, du Ghrib, du Hamiz département d'Alger, de Bakhada. Bou-Hanifia, Béni-Bahdel département d'Oran, de Ponteba, de Mouhamadia (ex Perrégaux) et d'Ain-Témouchent, sur les canaux ou les conduites alimentées, par les dits barrages.

1. L'évolution de la production d'énergie hydroélectrique en Algérie

L'importance prise en Algérie par la production d'énergie électrique d'origine hydraulique est récente.

Avant la guerre de 1939-1945, les réalisations faites dans ce domaine se bornaient à quelques centrales de moyenne et petite puissance, fonctionnant au fil de l'eau, principalement en Grande Kabylie (chutes d'eau de Boghni-amont, de Maillot) dans le département de Constantine (chute d'eau de l'Oued Berd, Usine du Rhummel, à Constantine), ainsi que quelques aménagements de petite importance dans le département d'Oran (Ain Fekkan, Oued Tiaret, Négrier, Tafna) et dans la vallée du Chéelif f. La production totale de ces centrales était de l'ordre de 40 millions de kWh, il s'agissait d'énergie au fil de l'eau, donc de faible valeur, émise pendant l'hiver et le printemps.

En outre, il avait été reconnu intéressant d'utiliser à produire de l'énergie électrique, au fil des irrigations, l'eau accumulée dans les grands barrages construits, par le Service de la Colonisation et de l'Hydraulique : les irrigations étant pratiquées pendant l'été, il était possible d'avoir, durant cette saison, une production d'énergie hydroélectrique non négligeable.

En 1940 un programme d'aménagements hydroélectriques était élaboré, il comprenait d'une part, de nouveaux aménagements au fil de l'eau de moyenne puissance (chutes de Boghni-aval, de Souk-et-Djemaa près Michelet, du Gouriet près Maillot) d'autre part, la construction de centrales au pied des barrages d'irrigation (barrages d'Oued Fodda, du Ghrib, du Hamiz département d'Alger, de Bakhada. Bou-Hanifia, Béni-Bahdel département d'Oran, de Ponteba, de Mouhamadia (ex Perrégaux) et d'Ain-Témouchent, sur les canaux ou les conduites alimentées, par les dits barrages.

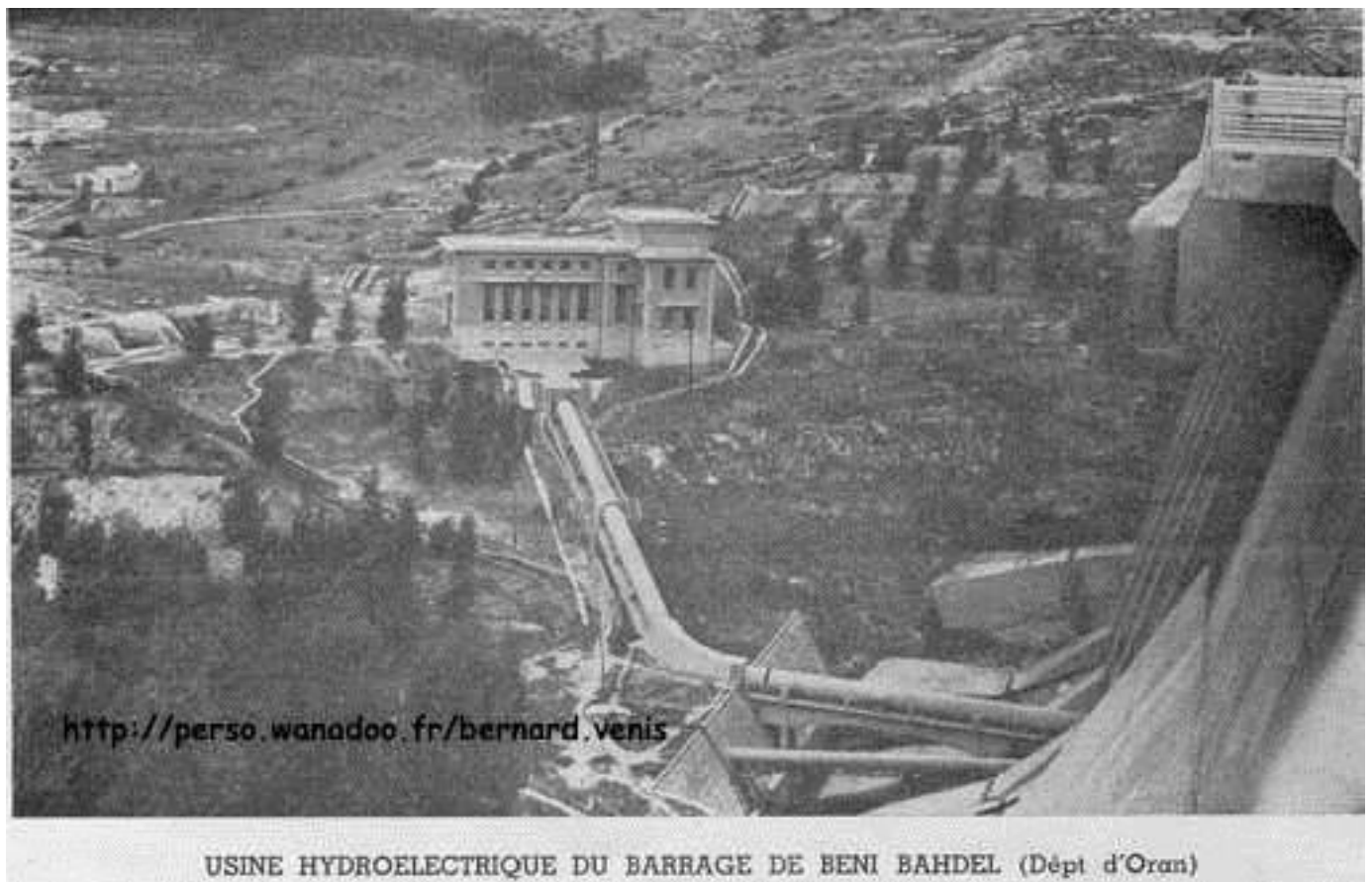


Figure I.1 : usine hydroélectrique du barrage de BENIBAHDEL (Dpt d'Oran)

La réalisation de ce programme devait conduire à une production supplémentaire de 120 millions de kWh environ.

En 1942, un nouveau pas devait être franchi dans un sens complètement différent : la production sur une vaste échelle, d'énergie hydroélectrique régularisée par de grands barrages. C'est cette année, en effet, qu'un plan d'équipement électrique de l'Algérie pour les vingt prochaines années était élaboré, et que, dans le cadre de ce plan, était envisagée la réalisation de l'aménagement hydroélectrique de l'Oued Agrioun, dans la région de Kerrata (département de Constantine) décrit par ailleurs.

Depuis cette date, les travaux, tant du barrage principal que des aménagements aval de l'Oued Agrioun, se sont poursuivis : l'usine de Darguinah a été mise en service en 1952 (provisoirement au fil de l'eau), et le barrage de l'Iril Emda a permis, dès 1953, l'accumulation d'une tranche de 40 millions de m³, et sera totalement achevé en 1954 - sa capacité atteignant alors 150 millions de m³.

Par ailleurs, le programme de moyens et petits aménagements hydroélectriques s'est poursuivi par l'achèvement des travaux déjà entrepris au programme de 1940, ainsi que par la construction de la centrale de Tessala (près d'Ain-Témouchent) sur la conduite d'alimentation

en eau de la ville d'Oran issue du barrage de Béni Bandel (Figure I.1), complétée par celle de la petite centrale d'Aïn Beida et d'autre part par la construction de la centrale du barrage de Foum-el-Gherza (Sud Constantinois). Dans un tout proche avenir, il est prévu de réaliser l'aménagement de l'Oued Djen Djen Supérieur (en Petite Kabylie) pouvant dans un premier stade, donner une production de 138 millions de kWh qui serait susceptible d'être portée à plus de 300 millions de kWh par la dérivation de différents oueds. Cet aménagement comprenant un grand barrage de régularisation interannuel, produira une énergie de haute qualité ; en outre, il sera possible d'augmenter de 80 millions de kWh environ, la production des usines de l'Oued Agrioun par dérivation dans le bassin de cette rivière du cours supérieur de l'Oued Bou Sellam, au moyen d'une galerie d'une vingtaine de kilomètres de longueur.

Le programme de moyens et petits aménagements hydroélectriques sera d'autre part poursuivi, notamment par la construction de l'usine de Zébaïr, sur la galerie d'irrigation du barrage de Béni-Bahdel.

Cette liste ne clôture d'ailleurs pas les possibilités algériennes de production hydraulique d'énergie électrique.

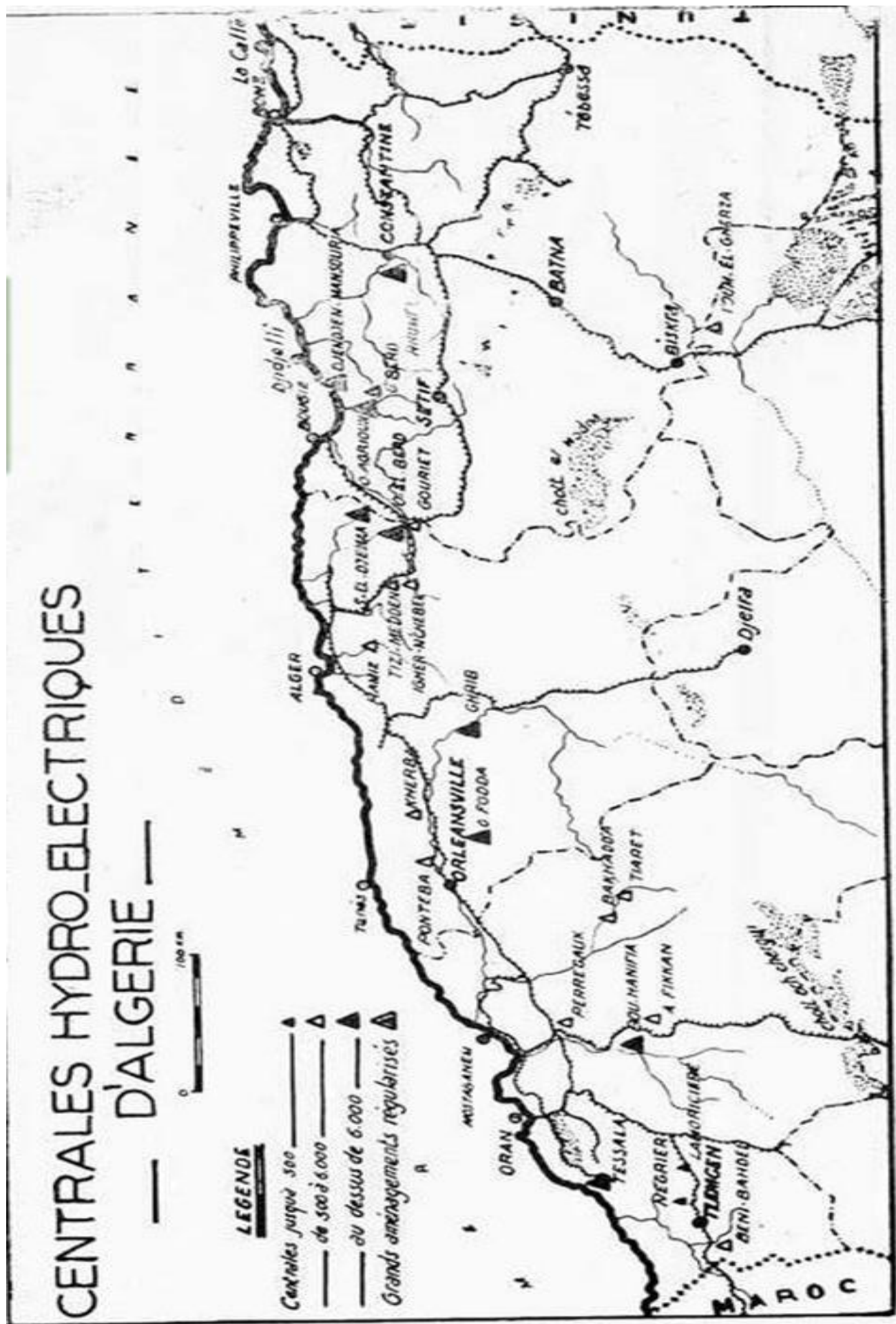


Figure I.2 : Positionnement des centrales hydroélectriques d'Algérie

2. Les grands aménagements hydroélectriques de petite Kabylie

La Petite Kabylie (département de Constantine) est la région d'Algérie la plus favorisée sous le rapport des précipitations atmosphériques : en certains points, la précipitation totale annuelle atteint 2.000 mm ; une partie de ces précipitations a lieu sous forme de neige, qui, sur les hauts sommets (Monts Babors) persiste durant plusieurs mois et contribue ainsi à une certaine régularisation naturelle du débit des rivières. D'autre part, la région est accidentée et les hautes altitudes n'y sont pas rares. La Petite Kabylie remplit donc les conditions optima pour l'équipement de chutes d'eau : forts débits, grandes dénivellations.

Aussi ces conditions ont-elles permis la réalisation de grands aménagements hydroélectriques régularisés, à l'échelle de ceux de l'Europe.

2.1 L'aménagement de l'oued Agrioun

La première réalisation de ce genre a été l'aménagement de l'Oued Agrioun, actuellement en voie d'achèvement : c'est un complexe de trois chutes, situées sur le territoire des communes de Kerrata et Oued Marsa mixte.

Aux environs de Kerrata, l'Oued Agrioun est formé de la réunion de quatre rivières (Oued Berd, Oued Atteba, Oued Embarelç, Oued Takarboust) de régimes hydrologiques différents : l'ensemble du bassin versant couvre 652 km². Les apports liquides annuels sont en moyenne de 180 millions de m³.

i. L'Aménagement Amont.

Une première chute est essentiellement constituée par un grand barrage, situé à l'Iril Emda, à 2 km en amont de Kerrata et par une usine souterraine creusée en puits au pied du barrage.

Le barrage de l'Iril Emda est un ouvrage de type " souple ", en raison du terrain sur lequel il est fondé (schistes s'altérant superficiellement et ayant tendance au gonflement). Le corps du barrage (c'est là sa particularité) est constitué de pierrailles extraites d'un important pierrier voisin de l'ouvrage, composé de matériaux homogènes. La hauteur totale de la retenue est de 72 mètres (75 mètres en crête), la largeur en crête de 575 mètres. L'inclinaison des talus amont et aval est respectivement de 1/1,6 et 1/1,5.

Sur le parement amont, est appliqué un masque d'étanchéité en béton bitumineux, protégé par un revêtement en béton armé. Ce masque se prolonge sur les berges et en amont du barrage sous forme de tapis ; des injections de ciment latérales complètent l'étanchéité, le drainage étant assuré par un ouvrage important.

L'étanchéité de la cuvette (6,5 km² environ) est naturellement satisfaisante (schistes et marnes).

Dans la partie centrale du barrage se trouve l'ouvrage d'évacuation des crues, prévu pour un débit de plus de 2.500 m³ par seconde et constitué par un bloc de béton noyé presque

entièrement dans les enrochements et dont la partie supérieure est formée de trois pertuis de déversement de 10 mètres de largeur et 12 mètres de hauteur, se prolongeant par trois galeries inclinées déversant l'eau en aval du barrage.

Mais le seuil de déversement se trouvant à la cote (520), il a été installé dans chacun des trois pertuis une vanne basculante de 10 mètres de largeur et 12 mètres de hauteur, maintenant normalement le niveau de la retenue à la cote maxima (532), et s'abaissant, en cas de forte crue, pour livrer le passage à celle-ci.

Les apports solides de l'Oued Agrioun sont importants aussi a-t-on dû prévoir des ouvrages de chasse et de dégrèvement en conséquence : ceux-ci consistent en trois galeries blindées, de large section, établies au pied du barrage et pourvues, en amont, de vannes avec dispositifs permettant une manoeuvre très rapide dans toutes les éventualités possibles.

La capacité totale du barrage est de 150 millions de m³ permettant la régular cation totale du débit annuel.

Le corps du barrage a nécessité la mise en place de 6 millions de tonnes de pierrailles, au moyen d'engins mécaniques puissants et particulièrement adaptés à ce travail.

La pierraille a été compactée, après mise en place par un procédé spécial. Les terrassements sont au total de l'ordre de 1 million de m³.

La prise d'eau, pourvue de grilles, vannes et batardeaux se prolonge par une conduite forcée de 2,80 mètres de diamètre, placée dans la partie inférieure d'une très large galerie traversant le corps du barrage (galerie dont la partie médiane est subdivisée en trois galeries qui sont les galeries de chasse et de dégrèvement ci-dessus mentionnées). Les vannes de prise d'eau et de chasse sont manoeuvrées à partir d'une vaste chambre des vannes immergée, où on accède de l'aval, en empruntant la partie supérieure de cette même galerie.

L'usine est constituée par un puits de 18 mètres de diamètre et 40 mètres de profondeur, creusé à partir d'une plateforme aménagée immédiatement à l'aval du barrage à la cote (472) et comportant plusieurs étages (excitatrice, alternateurs, turbines, aspirateurs). Deux groupes à axe vertical, comprenant chacun une turbine du type Francis de 30 m³ /sec. de débit maximum, à charge variable, et un alternateur, d'une puissance unitaire de 12.000 kW, équipent l'usine.

Du fond d'un puits d'expansion de 10 mètres .de diamètre voisin de l'usine et relié à celle-ci par une galerie sous la rive gauche de la rivière, une galerie de fuite souterraine de 3,60 mètres de diamètre et de 2 km environ de longueur débouchant immédiatement à l'amont du barrage du Chabet-el-Akra.

On réalise ainsi en ajoutant la hauteur de retenue du barrage de l'Iril Emda à celle du puits de l'usine, une chute maxima de 96 mètres et une chute moyenne de 79 mètres, correspondant à une production annuelle de 30 millions de kwh de haute qualité (énergie de pointe).

Le puits-usine est surmonté d'un vaste bâtiment abritant d'une part le décuage des transformateurs et où est aménagé d'autre part, le poste de transformation et d'émission à 60.000 volts (deux transformateurs principaux 10/60 kv de 15.000 kva). Une ligne à 60.000 volts transporte le courant au poste de Darguinah ; en outre, la ligne 60 kv Darguinah-Sétif passe en coupure dans ce poste. Un poste de distribution à 30.000 volts dessert le réseau régional.

Les installations de l'usine sont commandées à distance, à partir de l'usine de Darguinah.

ii. L'aménagement aval, ou haute chute de l'Agrioun.

Les eaux restituées par le canal de fuite de l'usine de l'Iril Emda sont retenues dans un barrage de dérivation et de régularisation journalière, construit dans les gorges du Chabet-el-Akra, immédiatement en aval de Kerrata : c'est un barrage voûte de 35 mètres de hauteur (côte de la crête passerelle : 441,30) retenant environ 900.000 m³ d'eau. La crête forme déversoir à la cote (435,30) et est divisée en 5 pertuis de 9 mètres de largeur et 4 mètres de hauteur, couronnée d'une passerelle et pourvue chacun d'une vanne basculante, normalement fermée et s'abaissant en cas de crue. La chasse et le dégrèvement sont assurés par deux vannes de fond.

Une prise d'eau latérale, sur la rive droite de l'Oued dont les vannes et divers organes sont actionnés à partir d'un poste de manoeuvre situé à l'extérieur du barrage et commandant également les vannes de fond et de déversement, précède la galerie souterraine.

Celle-ci, d'un diamètre moyen de 3 mètres et d'une longueur totale de 8.370 mètres traverse des terrains divers, dont certains ont nécessité, lors de l'exécution, des précautions particulières.

A l'extrémité aval de la galerie, une cheminée d'équilibre a été aménagée. Elle est suivie d'une chambre des vannes des conduites forcées : celles-ci, au nombre de deux, ont une longueur de 590 mètres et un diamètre de 1,65 mètre. Elles aboutissent directement aux deux turbines principales installées dans l'usine souterraine : cette dernière, creusée sous une boucle de l'Oued Ahrzerouftis, est une nef de 67 mètres de longueur, 20 de largeur et 22 de hauteur au profil voûté, le radier étant à une profondeur de 60 mètres sous le sol à la cote (63,50). On y accède par un puits, équipé, d'ascenseur et monte-charge, tandis que le matériel y est descendu par une galerie inclinée desservie par un chariot.

L'usine renferme les deux groupes principaux de 33.000 kw constitué chacun par une turbine Pelton d'un débit maximum de 21,2 m³/sec. pour une hauteur de chute maxima de 374 mètres et d'un alternateur à axe vertical produisant de l'énergie électrique à 12.000 volts.

Un canal de fuite souterrain de 3.40 mètres de diamètre et de 1.650 mètres de longueur, comportant en amont un puits-reniflard, restitue l'eau à l'aval dans l'Oued Agrioun.

Au-dessus de l'usine, dans la boucle de l'Ahrzetouftis dont la dérivation a été assurée par une très large galerie souterraine de 7 mètres de diamètre, a été aménagée la plateforme du poste de transformation, coupure et émission, comprenant deux transformateurs accolés aux groupes 12.000/150.000 volts de 40.000 kVA.

Du poste 150 kV partent deux lignes 150 kV, une se dirigeant vers Alger et l'autre vers Bône. Au poste 150 kV est accolé un poste 60 kV et à ce poste 60 kV un poste 30 kV.

Le Poste 60 kV reçoit l'énergie fournie par l'usine de l'Iril Emda et alimente une ligne 60 kV se dirigeant vers Sétif.

Le Poste 30 kV permet une alimentation de la région (Bône-Didjeili).

Plusieurs bâtiments abritent le tableau de commande des usines, le décuvage des transformateurs, les ateliers, etc...

La production annuelle de l'usine est de 146 millions de kwh de grande valeur (énergie de forte charge).

iii. La chute de l'Oued Ahrzerouftis.

L'Oued Ahrzerouftis est un affluent de l'Oued Agrioun caractérisé par un débit relativement abondant : 30 millions de m³ d'eau annuels, drainés dans un bassin versant de 44 km². La rivière est captée à la cote (204) par un petit barrage-voûte de 27 mètres de hauteur ; à crête déversante de 59 mètres de développement. La retenue, d'une capacité utile de 290.000 m³ permet une régularisation journalière.

La galerie souterraine, de 2.10 mètres de diamètre, a une longueur de 1.960 mètres et comporte, à son extrémité aval, une cheminée d'équilibre et une chambre de vanne de la conduite forcée. Celle-ci, d'un diamètre de 1,20 mètre et de 240 mètres de longueur, aboutit à l'usine souterraine principale et alimente un groupe de 5.200 kW, formé d'une turbine Francis d'un débit maximum de 3,8 m³/sec. pour une hauteur maxima de chute de 171 mètres et d'un alternateur à axe vertical.

La production annuelle de la chute est de 10 millions da Kw ayant la valeur d'énergie de base.

iv. Les possibilités d'extensions prochaines de l'Oued Agrioun.

" Electricité et Gaz d'Algérie " prévoit l'accroissement de la production des usines de l'Oued Agrioun, en dérivant dans le bassin supérieur de l'Agrioun un important cours d'eau voisin, l'Oued Bou Sellam, affluent de la Soummam, dont le cours supérieur pourrait être barré dans les gorges du Guergour (près de Lafayette) : en ce point, la distance aux affluents de l'Agrioun (Oued Embarek, Oued Atteba) n'est que d'une vingtaine de kilomètres. La superficie du bassin versant est considérable (2.400 km²), et un débit de 80 à 100 millions de millions de m³ serait dérivé dans une galerie vers l'Oued Embarek : l'aménagement pourrait comporter un barrage de retenue, ainsi qu'une chute intermédiaire dans les gorges du Guergour. La production supplémentaire des usines de l'Oued Agrioun serait de l'ordre de 80 millions de kwh.

2.2 L'aménagement de l'oued Djendjen

Le nouveau programme d'équipement d' "Electricité et Gaz d'Algérie " comporte, au cours des prochaines années, la réalisation d'un nouvel aménagement hydroélectrique de même échelle que celui de l'Oued Agrioun : l'Oued Djendjen Supérieur, dont les études et les travaux préparatoires (cités du personnel routes, réseau électrique, tension, galeries de reconnaissances, etc...) sont actuellement achevés, et les travaux de l'aménagement proprement dit prêts à démarrer.

L'Oued Djendjen est une rivière dont les affluents supérieurs prennent leur source dans la région la plus arrosée d'Algérie (Monts Babor et Tabador) , Au confluent de ceux-ci (Oueds Bahra et Bou Lebssat), au lieu dit Merdj ez Erraguène, le bassin versant de 133 km² reçoit un débit annuel moyen de 106 millions de m³. L'Oued Djendjen, dont le cours est d'abord dirigé dans le sens ouest-est, parallèlement à la côte s'incurve brusquement vers le nord au voisinage de Texenna. pour se jeter dans la mer à l'est de Djidjelli, à Merdj ez Erraguène, la distance à la mer, à vol d'oiseau n'est que d'une douzaine de kilomètres : d'où l'intérêt de dériver directement, en ce point, les eaux vers la mer, au village de Ziama-Mansouria : une longueur de dérivation de l'ordre de 13 km permet de réaliser une chute de 650 mètres environ.

L'aménagement projeté comporte un grand barrage sis à Medj ez Erraguène : celui-ci du type barrage à voûtes multiples, sera établi sur des schistes de qualité satisfaisante, et sera formé de voûtes de 35 mètres de portée, d'épaisseur décroissant de 2,50 m à 1,20 m, reposant sur des contreforts, appuyés eux-mêmes sur des butées dites " actives " c'est-à-dire munies de vérins permettant de créer les réactions de poussée nécessaires à la stabilité de l'ouvrage.

L'ouvrage sera construit en béton précontraint. Sa hauteur sous couronnement (cote 677) sera de 83 mètres, pour une hauteur de retenue de 81 mètres, la longueur en crête de 543 mètres. Sa capacité est de 250 millions de m³ : c'est donc un barrage de régularisation interannuel.

L'évacuateur de crue, calculé pour un débit de $1.500 \text{ m}^3/\text{sec}$. est formé d'un bloc central comportant trois passes équipées chacune d'une vanne segment de 10 mètres de largeur et de 8,80 mètres de hauteur. Le profil du déversoir est en " saut de ski ". Les vidanges de fond sont au nombre de 2.

Au pied du barrage sera logée, entre les contreforts du bloc central et sous le profil déversant, une première usine et son poste de transformation. L'usine comprendra deux groupes turbine-alternateur à axes verticaux, d'un débit de $25 \text{ m}^3/\text{sec}$. sous 65 mètres de chute moyenne et d'une puissance de 13.500 kw. Elle sera en outre équipée d'une station de pompage comprenant deux groupes, refoulant chacun $4 \text{ m}^3/\text{sec}$. sous une hauteur variant de 40 à 75 mètres.

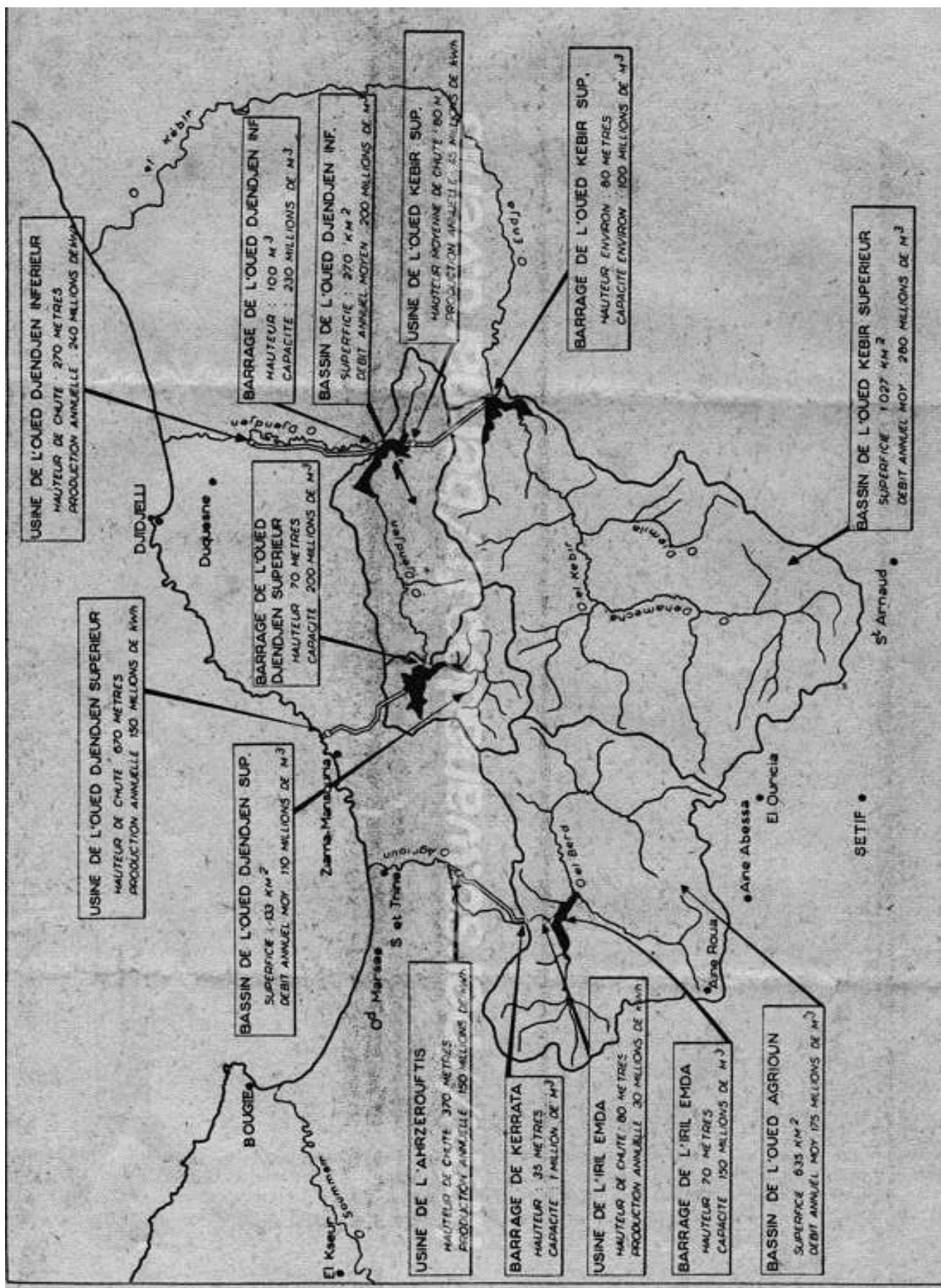


Figure I.3 : Carte schématique à un certain stade de l'ensemble des études effectuées sur les bassins juxtaposés de l'Oued Agrioune - l'Oued Djendjen supérieur - Oued' Kébir supérieur et l'Oued Djendjen inférieur

Le poste comprendra deux transformateurs de 5.500/60.000 volts de 16.500 kva, un départ 60.000 volts et les auxiliaires. Une ligne 60.000 volts assurera le transport de l'énergie au poste de Darguinah.

Les eaux turbinées seront reprises dans un bassin de compensation, fermé par un barrage-poids de moyenne hauteur (30 mètres et 210 mètres de longueur en crête), situé à 2 km environ en aval et retenant 1.600.000 m³ d'eau.

Une prise d'eau implantée à 500 mètres en aval du barrage principal précède la galerie d'amenée souterraine d'une longueur totale de 13.500 mètres (siphon compris), dont le tracé, qui traverse des terrains variés et parfois difficiles, a été déterminé après des études et des travaux de reconnaissance très poussés. Son diamètre intérieur est de 3,80 mètres. Elle comporte la traversée d'un col (col de Djemaa), un siphon d'une longueur de 1.800 mètres et d'une charge maxima de 205 mètres et d'un diamètre de 3 mètres, lui-même placé en souterrain, dans une galerie préalablement creusée.

La galerie est protégée contre les surpressions par une cheminée d'équilibre entièrement souterraine et non déversant à deux chambres reliées par un puits, creusée dans le Djebel Breck.

La chambre de la vanne de la conduite et la conduite forcée sont elles-mêmes, souterraines. La conduite, de 940 mètres de longueur et de 2,90 mètres de diamètre, aboutira à un collecteur de répartition aux turbines.

L'usine proprement dite, entièrement souterraine et creusée dans les falaises du Djebel Breck, est située au voisinage immédiat du village de Ziama Mansouria, donc pratiquement au bord de la mer. On y accédera par un tronçon de route conduisant à une plateforme à la cote (10) et par une galerie.

La salle des machines de l'usine, de 86 mètres de longueur et 12,50 mètres de largeur abritera deux (et ultérieurement trois) groupes turbine-alternateur, de 50.000 kw, composés chacun de deux turbines de type Pelton, d'un débit unitaire de 10 m³/sec. pour une hauteur de chute brute de 600 mètres encadrant un alternateur qui débite directement sur son transformateur de 12.500/150.000 volts.

Un poste d'émergence à l'air libre comportera deux départs 150.000 volts. Deux lignes à 150.000 volts transporteront le courant au poste de Darguinah.

La production totale annuelle de l'aménagement sera dans ce premier stade de réalisation, de 138 millions de kWh ; il s'agit d'énergie de haute qualité (très forte charge).

Ultérieurement., la production des usines de l'Oued Djendjen pourra être fortement accrue, par dérivation, dans la cuvette du barrage, d'affluent aval ou de bassins versants voisins, soit par gravité, soit par pompes.

Une deuxième tranche de travaux comportera la dérivation de l'Oued Zentout Supérieur, rivière dont le bassin confine à l'Ouest à celui du Djendjen : 20 millions de m³, dont 12 par gravité et 8 par pompage, pourront accroître la production des usines du Djendjen de 28 millions de kwh.

Une troisième tranche permettra de dériver les affluents du bassin central du Djendjen, en aval du barrage, dans le bassin de compensation ; on pourra ainsi dériver par gravité 50 millions de m³, sur un bassin versant de 62 km² et augmenter de 63 millions de kwh la production totale.

Enfin, une quatrième tranche de travaux aura pour but la dérivation, dans le barrage principal, des eaux de cinq affluents de l'Oued Kébir Supérieur, au Sud du Djendjen ; cette dérivation portera sur 60 millions de m³ annuels et donnera une production supplémentaire de 81 millions de kwh.

Ces travaux d'extension nécessiteront alors l'installation d'un troisième groupe turbine-alternateur de 50.000 kw, dont l'emplacement a été d'ores et déjà prévu à l'usine de Mansouria. La production totale de l'aménagement atteindra alors 310 millions de kwh.

3. Les moyens et petits aménagements hydroélectriques

Ces divers aménagements, de moyenne et petite puissance comprennent :

- 1) Les hautes chutes au fil de l'eau de Grande Kabylie de Boghni-aval, de Souk el Djemaa (près Michelet) et du Gouriet (près Maillot).

Leurs caractéristiques sont les suivantes (voir tableau I.1).

- 2) L'usine de Tessala, près d'Aïn-Témouchent (département d'Oran) est une usine de rupture de charge de la conduite d'alimentation en eau de la ville d'Oran, issue du barrage de Beni-Bahdel, sur la Tafna. Elle fonctionne suivant les besoins en eau de la ville d'Oran. La hauteur de chute nette de 246,50 mètres a permis l'équipement de deux turbines Pelton, à axe horizontal, de 3.470 CV, avec alternateurs de 3.000 kVA. Elle possède un poste de transformation à 30.000 V. La production actuelle, de 8 millions de kWh pourra, dans un certain avenir, atteindre 20 millions de kWh environ.
- 3) L'usine de Fom-el-Gherza (sur l'Oued el Abiod, près de Biskra) aménagée au pied du barrage et fonctionnant au fil des irrigations, est une usine souterraine, équipée d'un groupe turbine-alternateur de 412 CV/350 kVA turbinant 0,750 m³/sec. sous 58 m de hauteur de chute et d'un groupe de 1.110 CV/1.000 kVA turbinant 1,875 m³/sec. sous 55 m de chute, avec poste de transformation à 30.000 V. Le fonctionnement de l'usine est entièrement automatique.

Le prochain programme d'équipement prévoit la construction d'une nouvelle usine, également tributaire du barrage de Béni-Bahdel : l'usine du Zéba'ir, située sur la galerie d'irrigation de la plaine de Marnia, utilisant un débit de 1,50 m³/sec. sous une chute de 145 m. Elle sera équipée d'un groupe de 2.000 kVA et d'un poste de transformation à 30.000 et 60.000 volts. Sa production sera de 6,5 millions de kWh environ.

- 4) D'autres petites usines seraient susceptibles d'être construites (aux pieds des barrages des Zardezas, du Ksob, par exemple) mais les études faites ont montré que les prix de revient de l'énergie seraient trop élevés.

Tableau I.1 quelques caractéristique des barrages hydroélectrique en Algérie

CHUTES	Haut de chute brute m	Débit maxturbiné m ³ /sec	Galérie d'aménée souterrai-ne m	Conduite forcée m	Equipement de l'usine	Equipement du poste	Production annuelle	Date de mise en service
BOGNIH-aval (Tizi Medden)	254	2,5	2700	900	3 groupe 1650kW Turbines PELTON	2 transfos 7000 kVA 60000 V	10,000,000	1946
MICHELET (Souk el Djemaa)	327	3,8	5000	920	3 groupe 2800kW Turbines PELTON	2 transfos 7000 kVA 60000 V	22,000,000	1948
MAILLOT-aval (Gouriet)	111	7	3500	313	2 groupes 2800kW +1 groupe 900 kW Turbines FRANCIS	Poste à 22000 V	8,000,000	1948

CHUTES	Haut de chute moy m	Débit max turbiné m ³ /s	Particularité de l'aménagement	Equipement hydraulique	Equipement électrique	Production annuelle kWh	Date de mise en service
Barrage du HAMIZ (Fondok Dpt d'Alger)	32	4	Usine de pied de barrage au fil des irrigations	2 Turbines FRANCIS à axe horizontal de 1190 CV	2 alternat, de 1350 kVA poste 30,000 V	1,500,000	1947
Barrage de BAKHADA (Dpt d'Oran)	41,5	10	Usine de pied de barrage au fil des irrigations	1 Conduite forcée de 2,5m de DN 2 turbines FRANCIS à axe vertical de 2430 CV	2 alternat, de 2500 kVA poste 22,000 V	4,500,000	1947
Barrage de BOUHANIFIA (Dpt d'Oran)	46,40	16	Usine de pied de barrage au fil des irrigations	1 Conduite forcée de 2,5m de DN 2 turbines FRANCIS à axe vertical	2 alternat, de 3600 kVA poste 22,000 V	9,000,000	1947
Mouhamadia "ex PERREGAUX" (le canal latéral de l'Habra (Dpt d'Oran)	26,70	3,8	Usine fonctionnant au fil des irrigations	1 Conduite forcée de 1,6m de DN 2 turbines FRANCIS à axe horizontal de 5850 CV	2 alternat, de 520 kVA poste 30,000 V	2,500,000	1947
Barrage de BENI BAHDEL (Dpt d'Oran)	37,75	10	Usine de pied de barrage au fil des irrigations avec bassin de compensation	1 Conduite forcée de 1,7m de DN 2 turbines FRANCIS à axe vertical de 2380 CV	2 alternat, de 2500 kVA poste 22,000 V	5,000,000	1947

Conclusion

L'Algérie a connue au début du XX^{ème} siècle un large développement dans le domaine de l'aménagement hydroélectrique pour répondre aux besoins énergétiques.

Actuellement, ces différents aménagements hydroélectriques sont à l'arrêt à cause de la disponibilité du gaz naturel.

La SEAL pense actuellement à l'exploitation de l'énergie hydraulique dans les différents réseaux d'adductions pour réduire les factures d'électricité.

Chapitre II

Présentation du périmètre d'étude

Introduction

Pour remédier aux déficits chroniques d'eau engendrant des situations de pénurie et pour assurer la quantité et la fiabilité de l'approvisionnement en eau potable de la capital, les autorités Algériennes ont donc engagé une réforme sectorielle visant à accroître les investissements et à améliorer la gestion du secteur de l'eau, l'un des volets importants de ce programme comprend la mobilisation de nouvelles ressources à partir des barrages dans l'Est et l'Ouest pour couvrir les besoins.

Le présent chapitre présente l'un des réseaux d'adductions concernés par cette mobilisation et le modèle hydraulique qui sert par la suite comme un outil nécessaire pour l'estimation du potentiel hydroélectrique généré.

1. Conduites d'adduction

Le transfert Béni Amrane – Keddara représente une conduite de DN 2000 d'environ 31,3 km de longueur reliant le barrage de Béni Amrane et la retenue de Keddara, par le biais d'une station de pompage de Béni Amrane, par la suite une autre conduite reliant le barrage de Keddara et la station de traitement de Boudouaou. Caractérisée par des conduites par un diamètre de 1.5 m et une longueur de 8.75 km,(conduites jumelés de diamètre 1.5 m).

La chaîne centre transporte de l'eau refoulée par le complexe El Harrache vers le réservoir Kouba 97 afin d'alimenter la station de pompage de Telemly.

Le secteur « adduction transversale » constitue l'épine dorsale du système d'adduction de la wilaya d'Alger, Les eaux de surface sont mobilisées principalement par le système de production ISSER-KEDDARA (SPIK) mis en service en 1986 est alimenté à partir des eaux des barrages de Keddara et Taksebt via la station de traitement de Boudouaou.

L'adduction des barrages de Keddara et Taksebt comprend une liaison entre le site de Boudouaou et la station Gué de Constantine, à l'aide de 2 conduites en DN 1500 BPAT, elles s'étendent sur 28 km de longueur chacune sur la moitié Est de la wilaya d'Alger, et sont alimentées par Boudouaou., possédant plusieurs piquages permettant d'alimenter diverses stations de pompage et réservoirs.

2. Le système Taksebt

Le système de transfert de Taksebt s'étend sur plus de 78 Km par des conduites jumelées de diamètres DN 2500/1800. Il est constitué d'un axe principal de distribution sur lequel viennent se greffer des conduites secondaires assurant l'alimentation en eau potable des localités situées sur le corridor Taksebt-Tizi Ouzou-Alger, les principaux picages de la conduite sont :

Vers Azzefoun -Vers Souk El Had -Vers Tirmatine -Vers Azazgha -Vers Deraa Ben Khedda
Vers Tadmaït -Vers Bastos -Vers Tizi Nouvelle Ville -Vers Naciria -Vers Thnia -Vers Isser-
Vers Corso -Vers Zemouri - Vers Tidjelabine.

Ce système de transfert comprend trois (03) grands tronçons hydrauliques à savoir :

Tronçon 1 : du barrage à la station de traitement de Taksebt, où l'écoulement est en refoulement.

Tronçon 2 : du réservoir d'eau traitée de l'usine au réservoir de Draa Ben Khedda, où l'écoulement est gravitaire.

Tronçon 3 : du réservoir de Draa Ben Khedda à la station de traitement de Boudouaou, où l'écoulement est gravitaire.

Le système est constitué des principales composantes suivantes :

- Prise d'eau
- station de pompage
- conduite
- chambres de vannes de vidange et de ventouses
- Réservoirs

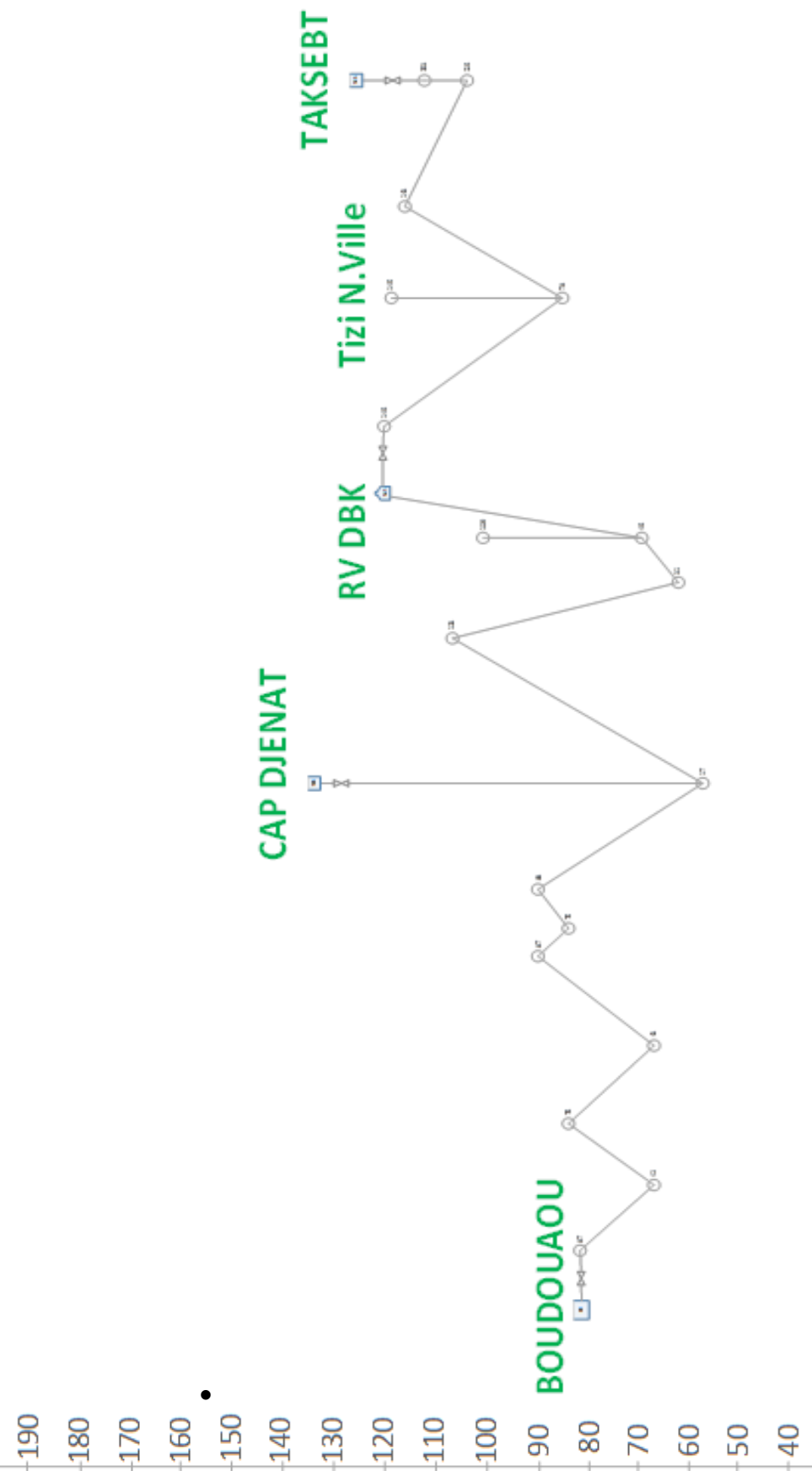


Figure II.1 : schéma altimétrique du réseau Taksebt-Boudouaou

3. Modélisation du périmètre d'étude Le Modèle Taksebt

Le système Taksebt-Boudouaou est représenté sur la Figure II.2.

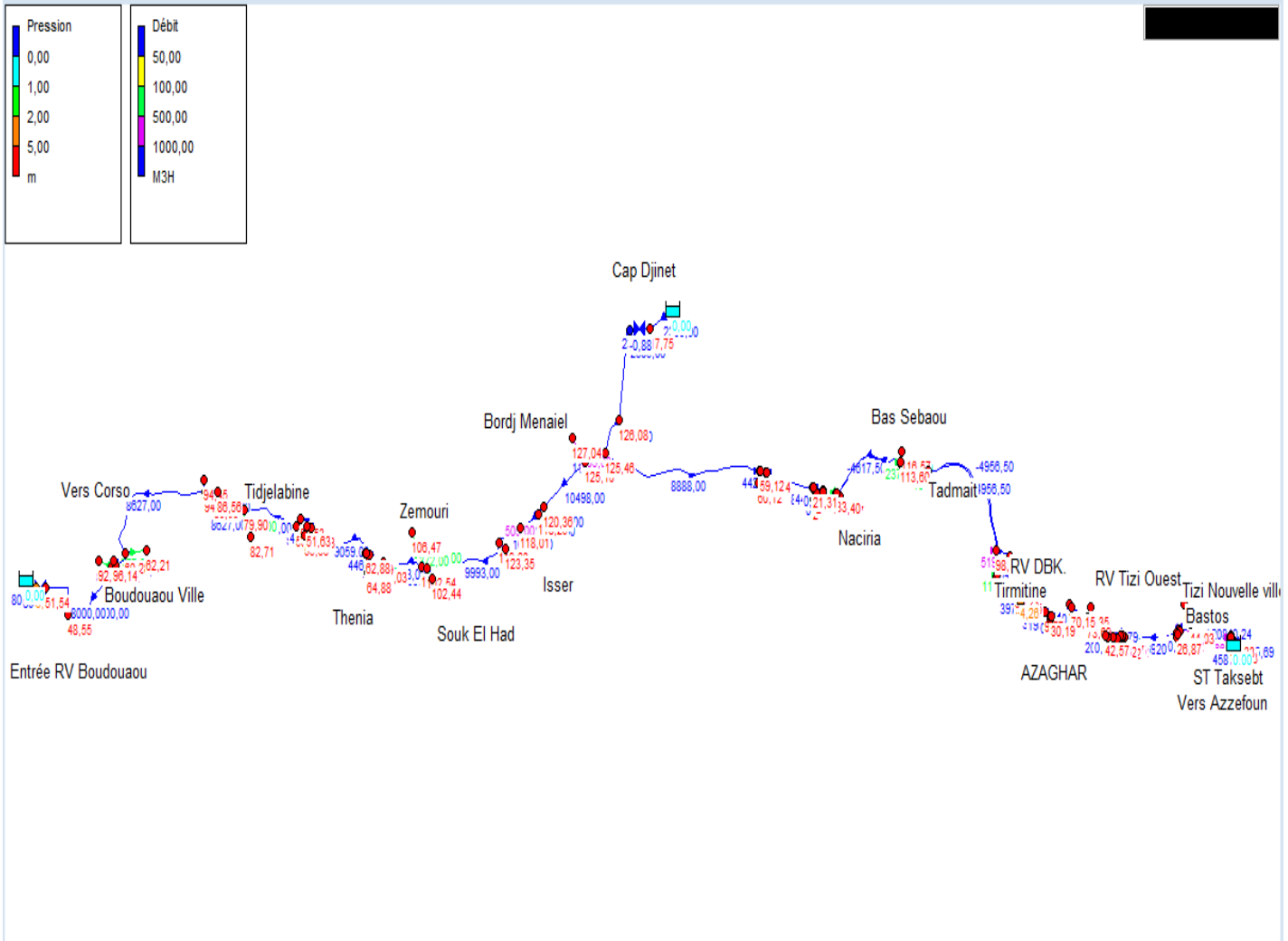


Figure II.2 : modèle de Taksebt-Boudouaou «sur EPANET »

Ce système de transfert s'étend sur plus de 78 Km par des conduites jumelées de diamètres DN 2500/1800. Il est constitué d'un axe principal de distribution sur lequel viennent se greffer des conduites secondaires assurant l'alimentation en eau potable des localités situées sur le corridor Taksebt-Tizi Ouzou-Alger

Conclusion

Nous avons présenté dans le présent chapitre les détails sur la zone d'étude et son modèle hydraulique élaboré via EPANET qui va être un outil précieux pour l'étape de la simulation et la détermination du potentiel hydroélectrique.

Chapitre III

Modélisation et Simulation Par EPANET

Introduction

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitative de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression.

EPANET offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer un réseau sous pression

1. Le processus de la modélisation

Les tâches qui composent le processus de la modélisation sont illustrées sur la figure; quelques tâches peuvent être faites en parallèle, tandis que d'autres doivent être faites en série.

La modélisation est un processus itératif, la première étape en entreprenant n'importe quel projet de modélisation est de fixer les objectifs et les besoins pour lesquels le modèle sera employé à court et à long terme, la deuxième étape est le calibrage du modèle en précisant son exactitude.

La modélisation concerne une série d'abstraction, d'abord les conduites et les pompes réelles dans le réseau sont représentées sur des cartes ; puis les cartes sont converties en modèle qui représentent les équipements du système comme des arcs et des nœuds, une autre couche d'abstraction est introduite, c'est la présentation mathématique des arcs et des nœuds ; les équations du modèle sont alors résolues, et les solutions sont affichées sous forme de cartes et de graphes ou sous forme de tableaux La valeur d'un modèle provient du rôle de ces abstractions en facilitant la conception efficace pour le développement du système, ou l'amélioration de son fonctionnement.

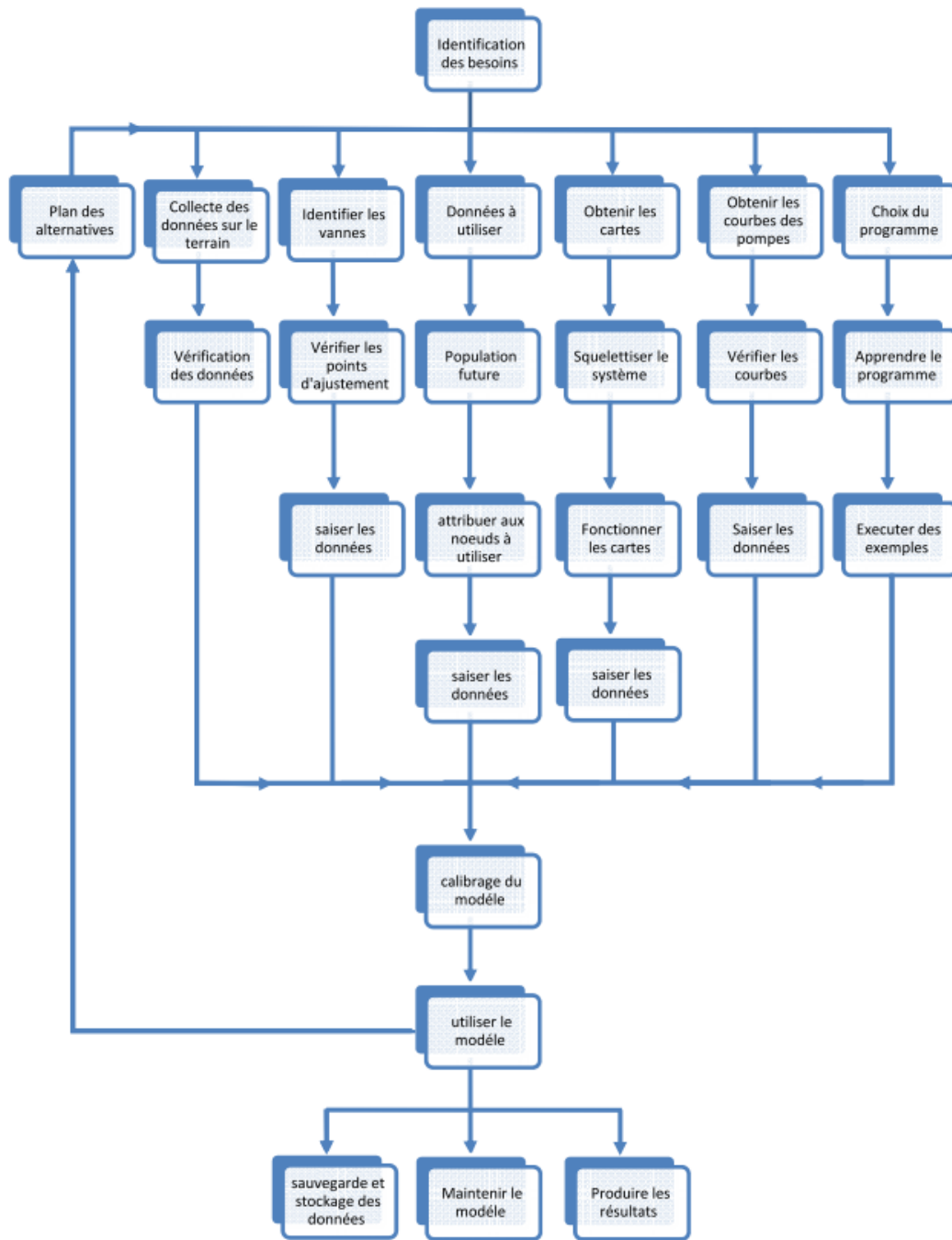


Figure III.1 : le processus de la modélisation

2. La modélisation par EPANET

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitative de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression, Ce logiciel est distribué gratuitement par l'E.P.A. (U.S. Environmental Protection Agency. EPA) depuis le mois de septembre 1993

EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque Noeud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de L'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples:

- définition d'un programme de prélèvement d'échantillons.
- calage d'un modèle hydraulique
- simulation du chlore résiduel, et estimation de l'exposition de la population à une substance.

EPANET offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau, comme par exemple:

- utilisation en alternance des différentes ressources du système,
- modifier le régime de pompage ou de marnage des réservoirs,
- préciser l'usage des stations de chloration (ou autres retraitements) en réseau,
- planifier l'entretien et le remplacement de certaines canalisations.

Disponible sous Windows, EPANET fournit un environnement intégré pour l'édition de données de réseau, pour l'exécution de simulations hydrauliques et de simulations qualité, et pour l'affichage des résultats sous plusieurs formats (des Cartes avec des codes couleurs, des tableaux et des graphiques) [*HILL*].

2.1 Capacités pour la Modélisation Hydraulique

EPANET contient un moteur de calcul hydraulique ayant les caractéristiques suivantes :

- La taille du réseau étudié est illimitée.
- Pour calculer les pertes de charge dues à la friction, il dispose des formules de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, et Chezy-Manning.
- Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc.
- Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable.
- Il peut calculer l'énergie consommée par une pompe et son coût
- Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets antiretour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.
- Les réservoirs peuvent avoir des formes variées (le diamètre peut varier avec la hauteur).

- Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux noeuds, chacune avec une caractéristique propre.
- Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple).
- Le fonctionnement de station de pompage peut être piloté par des commandes simples, (heures de marche/arrêt en fonction du niveau d'un réservoir) ou des commandes élaborées plus complexes.

2.2 Les algorithmes de la modélisation

Les programmes informatiques des modèles hydrauliques différents dans leur formulation mathématique, deux méthodes sont généralement utilisées pour résoudre une des quatre formulations des équations de continuité et de conservation d'énergie qui sont nécessaires pour la mise en œuvre de logiciel de modélisation hydraulique :

- La méthode de Newton-Raphson
- La méthode de la théorie linéaire

Les quatre systèmes d'équations sont les suivants :

- ❖ **Les équations (Q)** : les équations de la continuité (Débit entrant = Débit sortant), à chaque nœud elles sont ajoutées aux équations de pertes de charge autour de chaque maille du réseau. Cette méthode produit deux ensembles séparés d'équations, des équations à résolution linéaire pour les nœuds, et non linéaires pour les mailles, le nombre total des équations qui doivent être résolus simultanément égale au nombre de conduites, par conséquent, les programmes utilisant les équations (Q), prennent souvent beaucoup de temps pour accomplir le système des calculs
- ❖ **Les équations (H)** : où les niveaux de la ligne du gradient hydraulique au nœud J-1 sont résolus simultanément, malheureusement, toutes les équations J-1 développées sont non linéaires, mais il y a peu d'équations à résoudre qu'avec les équations (Q), parce qu'il n'y a pas de boucle d'équations à résoudre.
- ❖ **Les équations (3Q)** : où le programme propose une valeur initiale pour les débits à travers la maille, et la résout itérativement pour le débit correctif inconnu autour de chaque boucle, évidemment il y a peu de mailles que des conduites et des nœuds, ainsi la matrice créée par la formulation (ΔQ), est plus petite qu'avec les autres méthodes.
- ❖ **La méthode Hybride** : Elle utilise une combinaison entre les équations (H), et les équations (ΔQ). Cette méthode profite de la matrice creuse telle que formulée par les équations (H); et le nombre minimal d'équations exigées par la formulation de (ΔQ) et puisque le nombre d'équations est atténué, le temps de convergence est généralement plus petit. [ROSSMAN, L]

3. Effet de la différence des systèmes d'équation

Parmi les caractéristiques du réseau de distribution dont le calcul reflète nettement les différences entre les systèmes d'équations sont les vannes réductrices de pression (PRV), est le faible débit ou débit nul dans la conduite.

Les boucles dont leurs programmes sont basés sur les équations (Q) et (ΔQ), doivent créer des "pseudo boucles" pour s'adapter aux vannes réductrices de pression (PRV). Si le mode de

fonctionnement des PRV change pendant le processus de solution, les équations de la boucle doivent être reformulées, ce qui entraîne soit la lenteur ou la non convergence; cependant, bien que les PRV soient ennuyeux pour les équations (Q) et (ΔQ), ces méthodes ne sont pas affectées par les faibles débits ou les débits nuls dans les conduites.

En revanche, la présentation mathématique de la PRV est plus simple en utilisant les équations H, en plus la convergence pour les systèmes multizones semble la plus rapide en utilisant ces équations. malheureusement, le faible débit dans quelques conduites rend le niveau de la ligne des pertes de charge aux nœuds adjacents presque égaux ce qui entraîne soit la lenteur ou la non convergence en utilisant les équations (H).

Comme système d'équations mathématique alternatif, la formulation hybride résout d'une manière plus satisfaisante les deux cas : "faible débit" ou "débit nul" et le problème de la convergence pour les PRV.

Les modèles hydrauliques développés en utilisant la formulation hybride généralement produisent des données plus fiables et tendent à converger plus rapidement que les programmes avec une formulation de boucle ou d'équation (H).

Bien que les différences dans les méthodologies pour les résoudre ; les formules des réseaux de conduites ne soient pas significatives pour les systèmes simples (petits réseaux) ; les systèmes compliqués peuvent exiger une méthode ou une autre pour obtenir une solution satisfaisante, cela dépend des caractéristiques des conduites du réseau.

En général, les programmes basés sur la méthode hybride sont les plus appropriés aux réseaux complexes, mais également peuvent être utilisés pour les systèmes simples .

Conclusion

Le présent chapitre définit le processus de la modélisation hydrauliques et les différentes équations utilisées par EPANET pour la simulation.

Pour atteindre l'objectif de la modélisation du système de d'adduction d'eau potable à partir du barrage de Taksebt, nous avons choisi le modèle EPANET 2 pour les raisons suivantes :

- Le modèle utilise la méthode hybride pour calculer les équations de perte de charge et de conservation de masse, cette méthode est renommée pour sa fiabilité, et sa rapidité dans les calculs car la convergence est plus rapide que les autres programmes.
- Disponibilité du programme : EPANET est un logiciel disponible, peut être téléchargé sur internet légalement, gratuitement et sans aucun engagement, ce qui n'est pas le cas pour d'autres programmes.

Chapitre IV

Estimation du potentiel hydroélectrique

Introduction

L'estimation du potentiel moyen d'énergie hydroélectrique est l'objectif principal de ce travail.

En effet, le système d'adduction d'eau potable à partir du barrage Taksebt est gravitaire et est capables de fournir une énergie électrique presque en continu.

En s'appuyant sur les données des débits relatifs aux différents sites et les formules de la théorie des turbomachines, on évalue le potentiel de développement hydroélectrique, en termes de puissance (kW) et en énergie (kWh).

Cette estimation nécessite la connaissance des débits et perte de charges disponibles aux différents sites d'aménagement hydroélectrique.

1. Recueil des données

Les données des débits délivrées par la base de données BDLT de la SEAAL sont enregistrées par des appareils de mesure (débits mètres à ultra son/électromagnétique et des capteurs de niveau). Et avec la fréquence souhaitée, certaines données de fréquence de 05 et 15min ont été transformées en moyenne journalière pour ne pas encombrer les graphes.

On donne ci- dessous le graphe (Figure IV.1) représentant la variation journalière du débit à l'entrée de Boudouaou à partir de Taksebt.

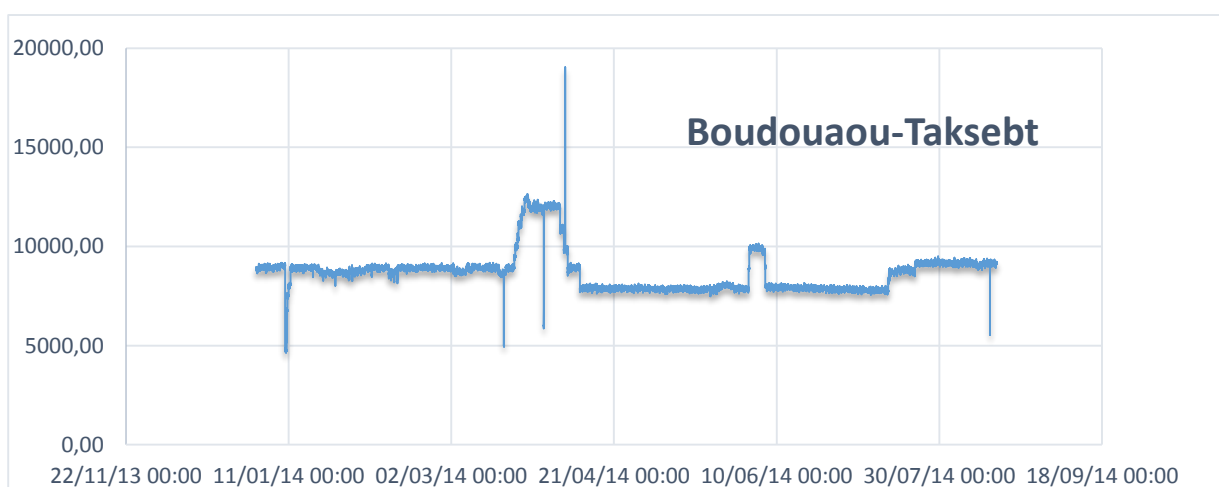


Figure IV.1 : la variation du débit en m³/h à l'entrée Boudouaou-Taksebt

La variation annuelle du débit peut être distinguée en trois grandes parties dépendant essentiellement de la période de la saison.

La première période du 01 Aout au 31 Mars (08 mois) présente un débit moyen de 9000 m³/jour, la deuxième période (forte) du 01 Avril au 30 Avril (01 mois) présente un débit moyen de 12000 m³/j et la dernière période de 8000 m³/j.

2. Détermination de la perte de charge Δp dissipée

En utilisant le modèle hydraulique représentant le système et après simulation de long durée avec des consignes de débit caractérisant chaque site, on tire la variation de pression Δp dans chaque dispositif de contrôle durant la simulation.

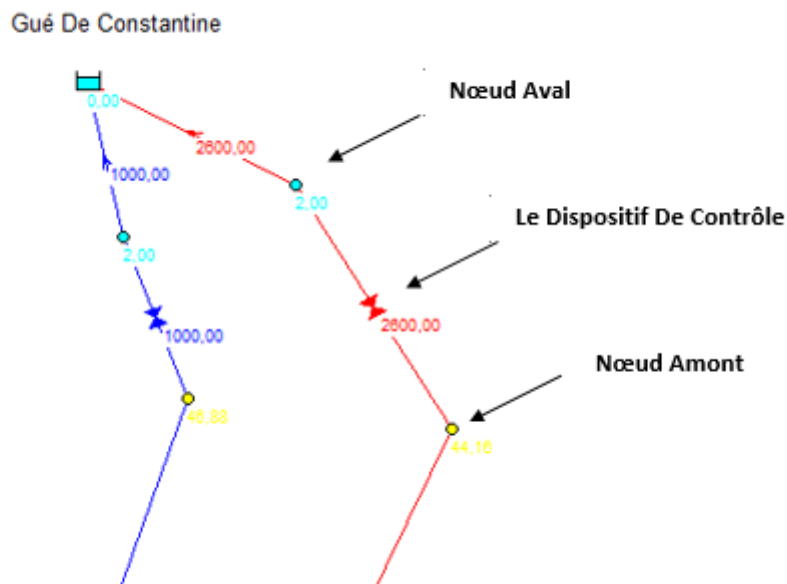


Figure IV.2 : schéma explicatif (EPANET)

Pour chaque dispositif de contrôle on détermine la variation de pression Δp moyenne.

3. Dimensionnement de la turbine

La caractérisation de la turbine la mieux adaptée à notre site peut se décomposer en deux étapes: premièrement, le choix du type de turbine proprement dit (Pelton, Francis ; nombre de jets, etc.), deuxièmement, la détermination de la puissance nominale.

Le choix du type de turbine nécessaire à la conversion de l'énergie hydraulique en énergie mécanique repose sur la détermination de la vitesse spécifique de la turbine.

Le choix d'un type de turbine adapté à un aménagement résulte de la valeur de la vitesse spécifique N_s de chaque turbine.

Les deux considérations suivantes sont essentielles pour le calcul du N_s :

- fractionnement de la puissance totale en plusieurs groupes.
- encombrement et prix minimal de l'ensemble turbine-alternateur.

Le fractionnement de la puissance en plusieurs groupes modifie la vitesse spécifique de chacun d'eux ce fractionnement est imposé à la fois par les conditions d'exploitation et par des conditions d'équipement.

Du point de vue économique : plus faible nombre de groupes possible (turbines de grande puissance).

Du point de vue de l'exploitation : il peut être souhaitable de fractionner la puissance installée en plusieurs groupes pour accroître la sécurité de l'alimentation (certains groupes en fonctionnement, un ou plusieurs en maintenance par exemple), et pour améliorer la plage de fonctionnement et le rendement global de l'usine.

Le choix du nombre de groupes et de la puissance de chacun d'eux résultera d'un compromis entre ces deux considérations.

Le choix du nombre de groupes est en fait le choix de la puissance unitaire et du débit unitaire, deux paramètres principaux de la machine hydraulique, ce choix sera donc lié à la vitesse spécifique, mais il fait intervenir de nombreux autres aspects technico-économiques :

- influence de la vitesse de rotation et des dimensions sur les masses et coûts de l'électromécanique et du génie civil
- géologie du site
- interaction avec le nombre de conduites forcées
- disposition de l'usine (des vannes, de la plage de montage, des locaux annexes)
- condition d'exploitation
- entretien, maintenance, etc...

Pour construire la turbine, il faudra donc connaître les 3 grandeurs caractéristiques suivantes :

- Débit Q
- Hauteur de chute H
- Vitesse de rotation N

Q et H étant les données de départ d'un projet, il faut trouver N . 3 facteurs interviennent dans le choix de N :

- limiter les dimensions des éléments de la roue et des appareils électriques
- limiter N pour éviter la cavitation

i. Rappel de notion de vitesse spécifique [PLUVIOSE, M]

La notion de vitesse spécifique résulte de l'étude des conditions de similitude des turbines hydrauliques. Si nous considérons deux machines S et S' géométriquement semblables et dont les écoulements sont en similitude cinématique, nous avons les deux relations suivantes :

$$\frac{N'}{N} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{H'n}{Hn}}$$

et
$$\frac{P_n'}{P_n} = \lambda^2 \left(\frac{H'n}{Hn} \right)^{\frac{3}{2}}$$

avec, N : vitesse de rotation de la turbine (tr/min)

P_n : Puissance nette reçue par la turbine (kW) et λ : rapport de similitude géométrique ($\lambda = r'/r$, r (r') rayon de la turbine S (S')).

La vitesse spécifique N_s correspond au nombre de tours d'une turbine S' fonctionnant en similitude sous $H' = 1$ m de chute, et fournissant $P_n' = 1$ kW. On obtient alors la relation suivante:

$$N_s = N \frac{P_n^{\frac{1}{2}}}{H_n^{\frac{5}{4}}}$$

Nous avons alors défini la vitesse de rotation à partir de la vitesse de rotation de la génératrice fixée à 750 tr/min par la relation suivante :

$$N = \frac{60f}{p}$$

Avec, f : fréquence du réseau égale à 50 Hz,

p : nombre de paires de pôles égale à 4,

La vitesse spécifique égale à $N_s = 750$ tr/min

ii. Calcul de Puissance

La formule utilisée pour le calcul de la puissance est :

$$P = \rho g Q H_n \eta$$

Avec, un rendement global égal à $\eta = 90\%$

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus :

Tableau IV.1 vitesse spécifique N_s pour chaque site

Site	Q moyen (m ³ /h)	Δp (m)	P (kW)	N_s (tr/min)
Taksebt-Boudouaou	8 760	47	1010	193,66
Keddara-Boudouaou	20 000	39	1 913	336,58

D'après *GINOCCHIO, R*

Si $N_s \in [2 ; 60]$ tr/min la turbine adaptée est Pelton

Si $N_s \in [60 ; 400]$ tr/min la turbine adaptée est Francis

Si $N_s \in [400 ; 1000]$ tr/min la turbine adaptée est Kaplan/Hélice

D'après le tableau IV.1 les vitesses spécifiques N_s de chaque site, sont comprises entre 60 et 400 tr/min et donc d'après cet intervalle les turbines hydrauliques adaptées aux différents sites sont les turbines Francis.

iii. Puissance installée

Une fois le type de turbine connu, il est nécessaire de déterminer la puissance nominale la plus adaptée à cet écoulement. Ce choix est important dans le sens où la turbine n'a pas un rendement constant. En effet, comme la montre la Figure IV.9 ci-dessous, ce rendement est maximum lorsque le débit qui traverse la turbine est égal au débit nominal, et plus faible sinon.

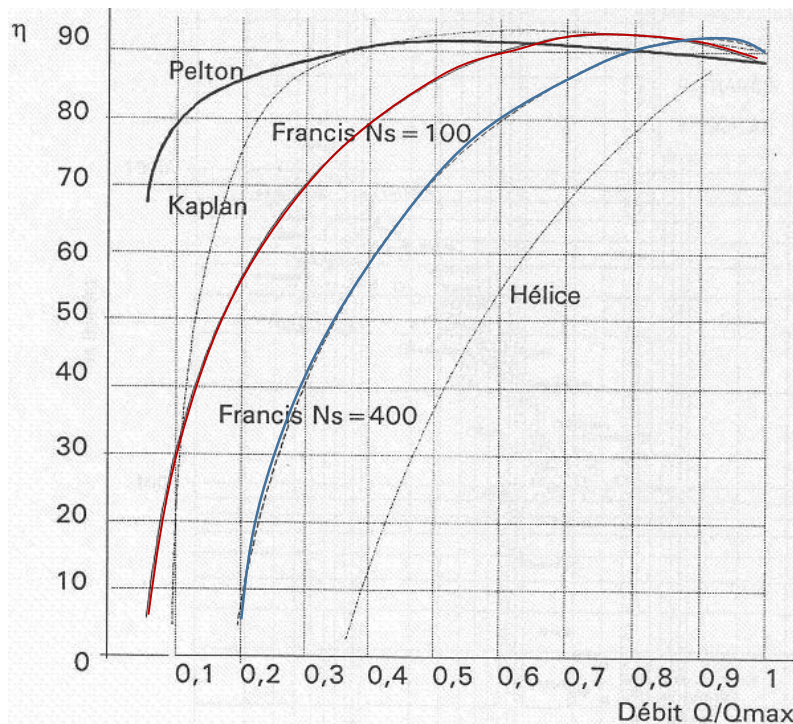


Figure IV. 3 : courbe variation de rendement de diverses turbines en fonction de débit

4. Considérations économiques

Le débit d'équipement optimal est celui pour lequel le gain financier, dû à la vente de l'énergie produite, ou à l'autoconsommation, est maximal. Ce gain financier est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$G = \sum_{i=1}^{365} \frac{\rho * g * \Delta p(i) * Q(i) * \eta(Q/Q_0)}{1000} \text{ heures}(i) * \text{tarif}(i)$$

Où, ρ : la masse volumique de l'eau,

η : le rendement total de l'installation,

$\Delta p(i)$: la hauteur de chute nette,

Q_0 : est le débit nominal de la turbine,

Heures(i) : est le nombre d'heures pendant lesquelles la turbine fonctionne le $i^{\text{ème}}$ jour,

$Q(i)$: le débit moyen journalier pour le $i^{\text{ème}}$ jour,

Tarif(i) : le prix de rachat/vente du kWh le $i^{\text{ème}}$ jour.

5. Hypothèses

Nous allons considérer pour le calcul du gain financier deux variantes, la première est la vente à la société de distribution d'électricité (Sonalgaz), la deuxième est l'autoconsommation par la Seaal

i. Vente à Sonalgaz

On considère deux types de tarifs pour le rachat de l'électricité par Sonalgaz, un tarif unique (3.77 DA/kWh) ou un tarif double (été : 3.33 DA/kWh ; hiver : 4.08 DA/kWh).

Le rendement total du système électrique pris égal à 1.

En prenant un turbinage de 18 heures par jour.

Historique des débits dans chaque station de production

ii. Auto consommation (Seaal)

Si on considère l'autoconsommation par la Seaal, on garde le tarif d'achat et on maximise la fonction G de telle façon à réduire la facture d'énergie électrique, soit le tarif moyen d'achat de 5 DA/kWh.

En utilisant un simple algorithme d'optimisation pour retrouver les valeurs des débits nominaux qui maximisent la fonction gain G de chaque installation, la puissance nominale est déduite à partir du débit nominal par la formule suivante :

$$P = \eta_{\max} \rho g H Q_n$$

Les valeurs retrouvées sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : débits et puissances nominales .des différents sites

Sites	Débit nominal (m ³ /h)	Puissance nominale (kW)
Taksebt-Boudouaou	7000	687
Keddara-Boudouaou	20000	1962

Ce tableau représente les valeurs des débits et puissances nominales permettant la construction des turbines Francis et les mettre en place sur site.

6. Vanne de modulation de pression autonome

Certaines vannes de modulation de pression utilise une micro turbine hydroélectrique pour l'auto recharge de la batterie du système automate, qui commande la vanne de modulation de pression afin de garantir une modulation de pression dans le système d'AEP.

i. La modulation de la pression

La modulation permet d'adapter la pression d'entrée d'un réseau aux variations de la demande pour éviter les surpressions.

la régulation de la pression réduit le débit des fuites existantes et en ralentit l'apparition de nouvelles. La mesure du débit de nuit oriente la recherche des fuites importantes.

Le contrôle de la pression permet d'atteindre un niveau de pertes plus bas.

La figure IV.4 représente une vanne de modulation de pression de type Cla-Val

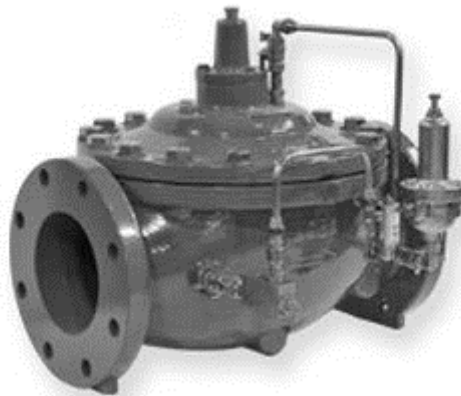


Figure IV.4 : vanne de modulation de pression

ii. Problématique des vannes de modulation de pression

Les vannes de modulation de pression ont besoin d'une alimentation continue en électricité pour le fonctionnement des automates programmables qui assurent la modulation de pression par le biais des commandes, cette alimentation n'est pas évidente extérieurement pour plusieurs raisons, dispositif a faible courant électrique et l'emplacement des vannes se trouve dans des zones souterraines et parfois inaccessibles...etc.

iii. Solution de la problématique

Le recours à un dispositif d'autonomie d'énergie électrique est indispensable pour le fonctionnement continu de l'automate.

Présentation du dispositif

L'idée est de prévoir une micro turbine hydraulique qui assure la production d'un courant électrique puis le stocker dans une pile.

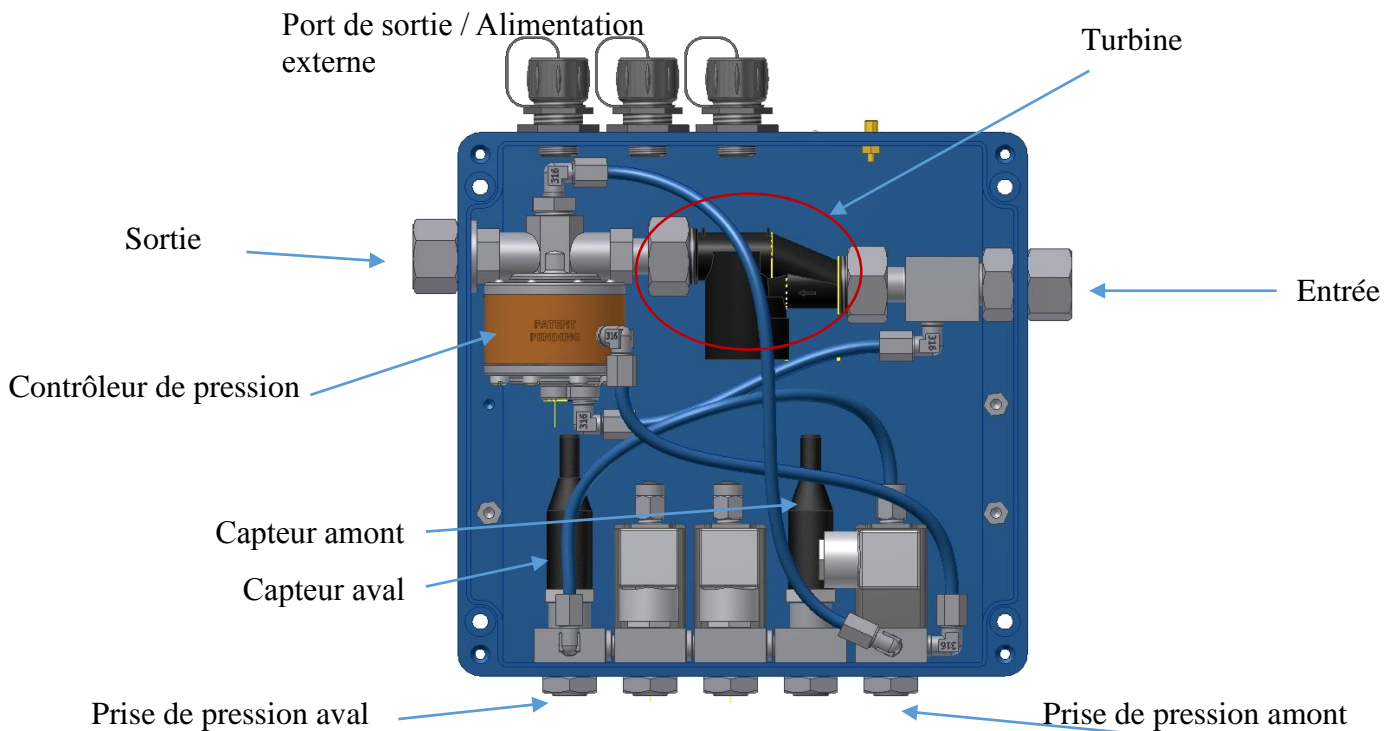


Figure IV.5 : dispositif d'autonomie

Installation et raccordement

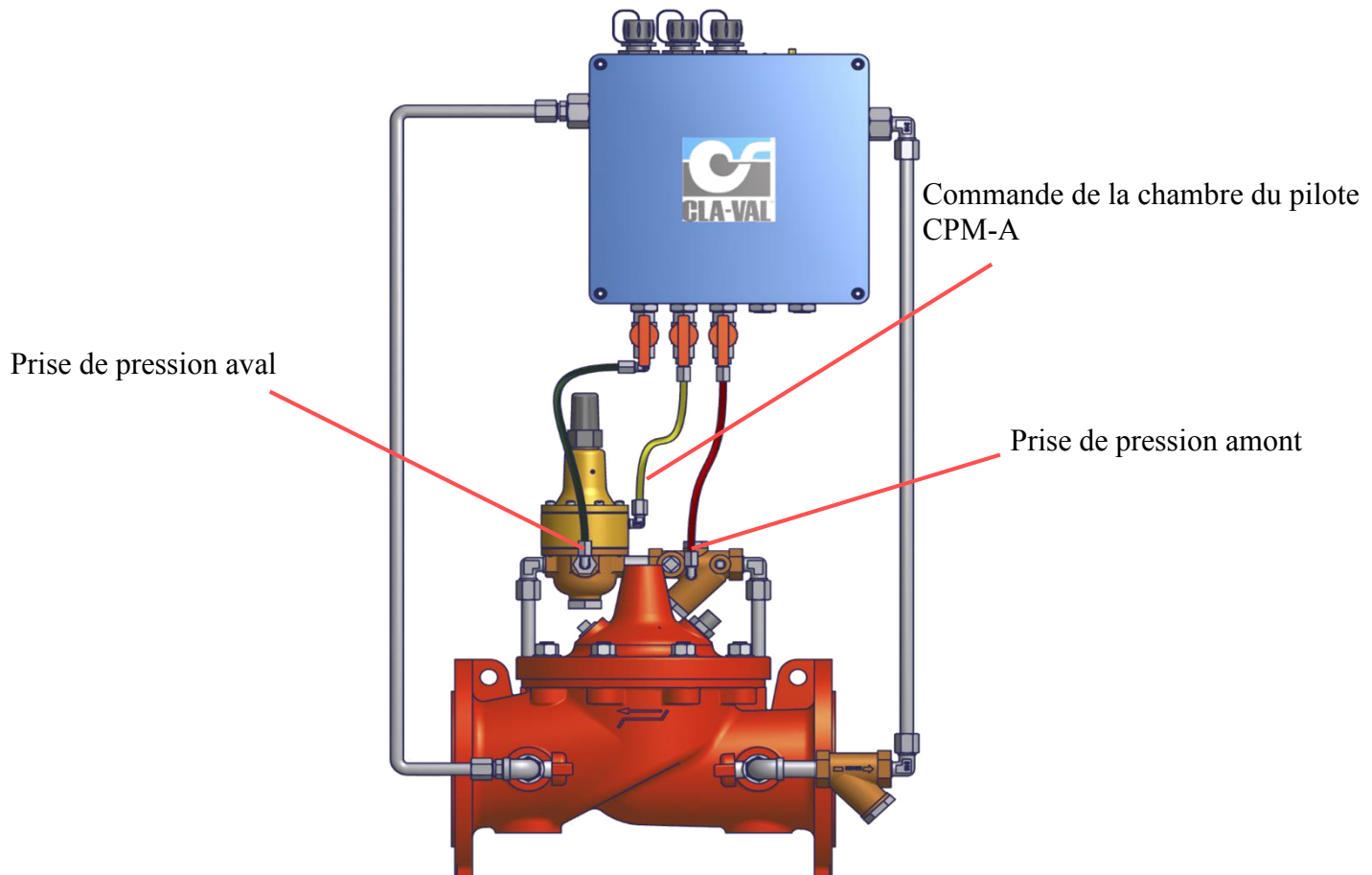


Figure IV.6 : Installation et raccordement

Caractéristiques

- Produit breveté
- Régulation très fine de la pression
- Modulation de la pression suivant une plage de temps, de débit ou de niveau
- Protection IP68 pour une immersion de la chambre de vanne
- Recyclage de l'énergie hydraulique en énergie électrique au moyen d'une turbine afin de garantir l'autonomie du contrôleur électronique
- Contrôleur programmable à distance

Figure IV.7: l'installation du dispositif dans un regard d'un réseau de distribution (SEAAL)



Ceci montre l'intérêt de l'hydroélectricité dans l'industrie des vannes de modulation de pression qui jouent un rôle essentiel dans les réseaux de distribution.

Conclusion

Dans le présent chapitre, nous avons estimé l'apport énergétique sur les deux entrées de réservoir à partir de Taksebt et Boudouaou.

L'énergie hydraulique disponible à l'amont de chaque réservoir peut être récupérée par des dispositifs hydroélectriques nommés turbines hydraulique, ces turbines peuvent être dimensionnées en fonction des paramètres dynamiques de chaque site.

L'estimation du potentiel hydroélectrique prend en considération l'efficacité énergétique des installations de récupération, la perte de charge disponible et les débits transités dans le réseau hydraulique tout en maximisant le gain énergétique.

Conclusion générale

Les grandes installations hydroélectriques ont été développées au cours du XX^{ème} siècle sous le régime de la concession de force hydraulique. Ceci a conduit à un important effort d'équipement qui a permis d'exploiter une grande partie du potentiel hydroélectrique par de grands aménagements.

Malgré que ces aménagements ont disparus dans le temps, la SEAAL cherche toujours un moyen de produire une énergie renouvelable dans les différents réseaux hydrauliques pour réduire ses factures.

Cette tendance penchée sur les énergies renouvelables peut être considérée comme un pas en avant pour la contribution au développement durable.

L'estimation du potentiel hydroélectrique prend en considération l'efficacité énergétique des installations tout en maximisant le gain énergétique.

Avec l'évolution de l'informatique et des moyens de calcul, il est possible aujourd'hui de simuler le fonctionnement du réseau d'eau sous pression en se basant sur une modélisation qui permet de mieux comprendre le comportement hydraulique des installations. Cela constitue un outil d'aide à la décision avec lequel le gestionnaire de réseau peut définir et orienter ses investissements.

Bibliographie

GINOCCHIO, R, 1978, L'énergie hydraulique, 598 p, Eyrolles

HILL CH2M , 1999, Water Distribution Hydraulic Model Selection, 18 p

PAISH, O, 1999, Micro-hydropower: status and prospects,10 p

PLUVIOSE, M, 2004, Similitude des turbomachines hydrauliques, 19p.

ROSSMAN, L, 2000, Epanet 2 User's manual by U.S. Environmental Protection Agency

Service d'Information du Cabinet du Gouverneur Général de l'Algérie, 1954, Documents algériens/Série économique : E.G.A. « Aménagements hydroélectriques d'Algérie n°110 - 10 juin 1954 ».

SOGREAH, 2009, Actualisation du schéma directeur d'alimentation en eau potable de la wilaya d'Alger-SYNTHESE GENERALE.

SOGREAH, 2009, Actualisation du schéma directeur d'alimentation en eau potable de la wilaya d'Alger- SCHEMA DIRECTEUR A L'HORIZON 2025.