

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2019



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع/2019

Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Thème

Turbinage des eaux usées (réalisation d'un modèle prototype)

Nom et Prénom de l'étudiant :
Badi Mossab Abd raouf

Encadreur : Dr Bouziane MT
Co-Encadreur : Dr loughraichi yazid

Promotion Juillet 2019



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A tous ma famille

A ma mère

A Mes frères et mes sœurs

A tout ma famille

A Tous mes amis

A toute personne chère à mon cœur, et à tous ceux et toutes celles qui me connaissent et qui m'aime.

*Hommage à l'âme de mon père chéri **Abdelkader Badi** que dieu l'accueille en son vaste paradis.*





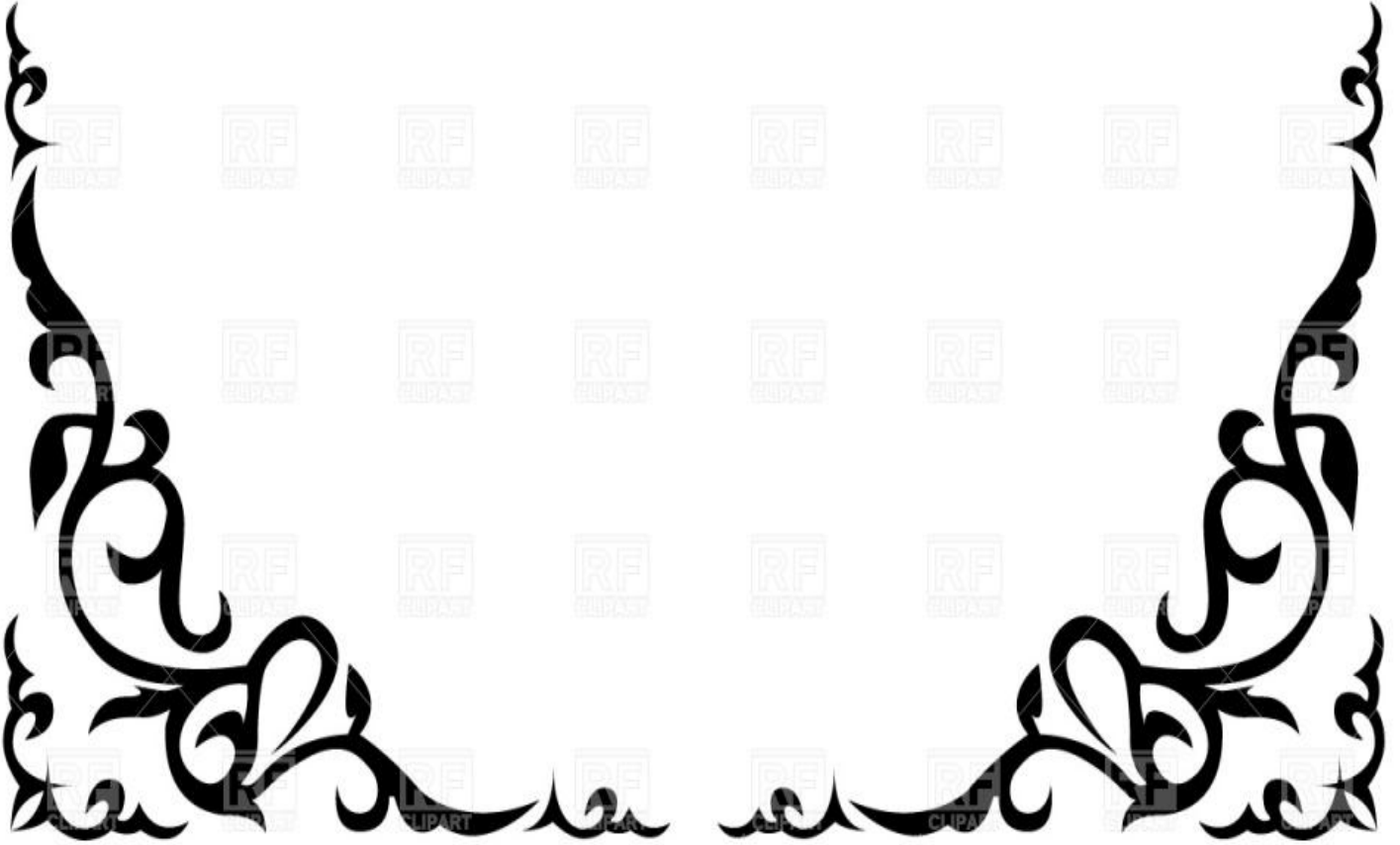
Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé physique et spirituelle pour l'accomplissement de cette mémoire de fin d'étude.

*Je tiens à exprimer mes profonds remerciements et ma vive reconnaissance à mon promoteur, le professeur **Bouziane MT**, qui a su, à sa façon, me conseiller et m'orienter tout au long de la réalisation de ce travail.*

*J'exprime toute ma gratitude à mon Co-encadrant de mémoire **M Loughraichi Yazid** pour son aide.*

Je remercie également tous les membres du jury qui apporteront leur contribution, en acceptant d'être dans le jury qui examinera ce modeste travail.



Sommaire

Introduction général.....	02
Chapitre I : Energies renouvelables	
I.1 Introduction.....	05
I.2-Progression d'énergies renouvelables.....	05
I.2.1 -Définition.....	05
I.2.2-l'énergie renouvelable dans le monde.....	05
I.2.3-L'énergie renouvelable en Algérie	06
I.2.4-Les énergies renouvelables dans les stations d'épuration (STEP).....	07
I.2.5-Objectifs de progression d'énergies renouvelables.....	08
I.3-Impact sur l'environnement	08
I.4-Aspects législatif d'énergies renouvelables en Algérie	09
I.4.1-Cadre juridique	09
I.5- Les cinq familles d'énergies renouvelables.....	10
I.5.1-Energie solaire.....	10
I.5.1.1- Les types d'énergies solaires.....	10
I.5.1.1.A-Energie solaire thermique.....	11
I.5.1.1.B-Energie photovoltaïque.....	11
I.5.1.1.C-Energie solaire passive.....	11
I.5.2-Energie des vents (éolienne).....	12
I.5.3-Energie végétaux (biomasse).....	12
I.5.4-Interne de la terre (géothermique).....	13
I.5.5-Energie hydraulique	13
I.5.6.1-Énergie marine.....	14
I.5.6.1.A-Energie thermique marine.....	14
I.5.6.1.B-Energie Osmotique.....	15
I.5.6.1.C-Energie éolienne offshore.....	15
I.5.6.1.D-Energie houlomotrice.....	15
I.5.6.1.E-Energie marémotrice.....	15
I.5.6.1.F-Energie hydrolienne.....	15
I.6-Fonctionnement d'un ouvrage hydroélectrique.....	15
I.6.1-Contexte hydraulique favorable.....	16
I.6.2-Centrale hydroélectrique	16
I.6.3-Différents types d'installation hydro-électrique	16

I.6.3.1-Centrales en eaux de surface.....	16
I.6.3.2-Centrales dans les réseaux d'eau.....	18
I.7-Les inconvénients et les avantages d'énergies renouvelables.....	18
I.7-Conclusion.....	20

Chapitre II : état de la technique sur le turbinage des eaux usées

II.1-Introduction.....	22
II.2. les réseaux d'eaux usées.. ..	22
II.2.1. Production d'eaux usées.....	22
II.2.2. Le transport des eaux usées.....	23
II.2.3. Traitement des eaux usées.....	24
II.2.4. Rejet.....	25
II.2.5. Situation en Biskra.....	25
II.3. Potentiel hydroélectrique dans les réseaux d'eaux usées.....	25
II.3.1. Turbinage en entrée de STEP.....	25
II.3.2. Turbinage en sortie de STEP	25
II.3.3. Au rejet du réseau d'eaux usées.....	26
II.4. Particularités du turbinage des réseaux d'eaux usées.....	26
II.4.1. Variabilité du débit.....	26
II.4.2. Qualité de l'eau.....	26
II.4.3. Obligation de sécurité de l'approvisionnement.....	27
II.4.4. Raccordement au réseau électrique	27
II.5. Equipements hydromécaniques utilisés.....	27
II.5.1. Technologies existantes.....	27

Chapitre III : EVALUATION-GLOBALE

III.1-Introduction.....	32
III.A. ETUDES DU POTENTIEL DE TURBINAGE DES EAUX USÉES EN BISKRA. 33	
III.1. OBJECTIF DE LA NOUVELLE ÉTUDE.....	33
III.2. EVALUATION GLOBALE DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE.....	33
III.2.1. DONNÉES DISPONIBLES.....	33
III.2.2. HYPOTHÈSES PRÉLIMINAIRES.....	33
III.B. Etude de site proposé.....	34
III.1. La topographie.....	34
III.2. Potentiel énergétique	34
III.3. Donnée.....	34
III.4. Rentabilité de site.....	36

III.4.1. Rentabilité énergétique.....	36
III.4.2. L'électricité produite de l'installation de site.....	36
4.1.2 Calcule les pertes de charge :	38
III.4.1.2. Calcule la chute nette.....	38
III.4.1.3. La puissance hydraulique.....	38
III.4.1.3. Choix du type de turbine	39
III.4.1.4. La puissance mécanique.....	40
III.4.1.6.1. La puissance électrique.....	42
III.4.1.6.2. Calcul de la production annuelle d'énergie	43

CHAPITRE IV : ANALYSE DIMENSIONNELLE

Introduction.....	46
IV.1. ANALYSE DIMENSIONNELLE :	46
IV.1.1. Théorème de Vashy Buckingham on théorème des π :	46
IV.1.2 Similitude et les essais sur le modèle :	46
IV.1. Lois de similitude :	48
IV.1.1. similitude géométrique :	48
IV.1.1.1 Echelle de modèle.....	49
IV.1.2. similitude cinématique :	49
IV.1.3. Similitude dynamique :	49
Conclusion et recommandation :	51
Conclusion générale.....	53
 Bibliographie	 55

Liste de figure

Figure III.1 . rejet Biskra	35
Figure III.2. installation proposé au niveau de rejet.....	35
Figure III.3. Coude 61° - 90°	37
Figure III.4. Domaine d'utilisation des différents types de turbines	40
Figure III.5 . Forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables	42
Figure IV.6. le Modèle réduit	48
FigureIV.7. turbine	48

Liste des tableaux

Tableau III.1. coefficient de pertes de charge en fonction de rayon de courbure du coude et de diamètre intérieur du tuyau	37
Tableau III.2. Caractéristiques des différents types de turbines, les valeurs supérieures des rendements concernant les turbines de grandes dimensions.....	41
Tableau III.3 Rendement des générateurs à charge totale.....	43

A decorative border composed of intricate black and white floral and scrollwork patterns, framing the central text. The border is rectangular with ornate, symmetrical flourishes at each corner and along the sides.

Introduction générale

Introduction générale

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateau à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

Mais dans les pays industrialisés, dès le XIXème siècle, elles furent progressivement marginalisées aux profits d'autres sources d'énergie que l'on pensait plus prometteuses.

Des récentes estimations ont montré qu'actuellement près de 2.2 milliards d'individus ne sont toujours pas raccordé aux grands réseaux d'électricité ^[1] (ce qui représente environ 44% de la population mondiale), pour la plus part située dans les pays du tiers monde dont l'Algérie, ou plus de 50% vivent encore sans électricité, 95% d'entre eux vivent dans la partie sud algérienne du fait des plus faibles revenus, de la présence des régions rudes et d'une faible densité de population.

La consommation d'énergie mondiale et dans notre pays ne cesse d'augmenter. La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, ...etc.) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement. Cette menace c'est manifesté principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

Depuis lors, la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique, les risques du nucléaire et les limites des ressources ont fait prendre conscience qu'un développement économique respectueux de l'environnement, dans lequel nous vivons, est nécessaire.

Face à ces problèmes, et de façon à limiter l'emploi de l'énergie d'origine combustible. Certain pays, se sont tourné vers la nouvelle forme d'énergie dites « renouvelable » faisant appel de façon directe ou indirecte à l'énergie solaire .Parmi celle-ci l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne.

Les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité propre et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoires.

Introduction générale

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays couvre certains de ses besoins en énergie solaire.

La production de l'électricité est donc forcément, malgré une apparence anodine, synonyme de perturbations. L'utilisation excessive d'un monde de production accentue fortement l'effet nuisible qui lui est associé et il apparaît évident que la diversification des sources est une solution à promouvoir.

La production d'énergie électrique à partir de sources renouvelables représente un défi actuel majeur en raison de la demande énergétique mondiale en forte hausse, ainsi que la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Dans ce mémoire de fin d'étude, on va étudier la possibilité et la performance d'une centrale hydraulique par l'utilisation du turbinage des eaux usées avant le traitement afin de produire l'énergie électrique.

La production d'énergie électrique par de source hydraulique se fait au niveau des barrages ou à partir des eaux usées ou les eaux potables.

Donc notre but d'évaluer le potentiel de turbinage sur des systèmes d'eaux usées dans une installation d'un modèle réduit proposée.

Pour cela :

Cette étude a été faite au niveau de rejet de la ville de Biskra.

En premier chapitre, nous avons donné des quelques définitions de l'énergie renouvelable, son objet, leur différentes familles et leur progression au niveau international et national.

Le second chapitre, nous avons parlé sur l'état de la technique sur le turbinage des eaux usées.

Le troisième chapitre, nous avons parlé sur l'évaluation globale du potentiel énergétique sur le système des eaux usées afin de déterminer l'énergie électrique débité par la turbogénérateur que nous avons choisis selon les caractéristiques de notre installation proposée.

Le quatrième chapitre, nous avons proposé une installation d'un modèle réduit pour faciliter les calculs du modèle prototype.

Nous terminerons ce modeste travail par quelque par une conclusion générale qui résume notre étude.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Chapitre I :
Énergies renouvelables

I.1 Introduction

Les systèmes de production d'énergie renouvelable sont très explorés du fait d'un intérêt majeur lié au développement durable. Ces systèmes comme le solaire, hydraulique, éolienne, biomasse, géothermique, sont plus ou moins intermittents mais ne posent pas de problèmes majeurs en termes de commande. Il s'agit plutôt d'améliorer leur intégration au réseau techniquement et économiquement. En particulier dans le cas des réseaux faibles ou isolés, le contrôle des flux globaux à des fins de lissage, de qualité d'énergie, de contrôle de tension ou encore de services systèmes passe par des solutions de stockage ou de pilotage de charges.

L'hydroélectricité est une source d'énergie renouvelable basée sur le cycle naturel de l'eau. Elle est considérée comme la plus mature, la plus fiable et la plus rentable technologie de production d'énergie renouvelable disponible.

I.2 Progression d'énergies renouvelables**I.2.1 Définition**

Une énergie renouvelable est une énergie exploitée par l'Homme. De telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas. En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation.^[2]

Une énergie est dite renouvelable lorsqu'elle provient de sources que la nature renouvelle en permanence, par opposition à une énergie non renouvelable dont les stocks s'épuisent.

Les énergies renouvelables proviennent de deux grandes sources naturelles :^[3]

- Le Soleil (à l'origine du cycle de l'eau, des marées, du vent et de la croissance des végétaux) et la Terre (qui dégage de la chaleur).
- Surnommées « énergies propres » ou « énergies vertes », leur exploitation engendre très peu de déchets et d'émissions polluantes mais leur pouvoir énergétique est beaucoup plus faible que celui des énergies non renouvelables.

I.2.2 l'énergie renouvelable dans le monde

La production brute d'électricité renouvelable a augmenté de 1739TWh entre 2002 et 2012, passant de 2960,1TWh à 4699,2TWh, soit une croissance annuelle moyenne de 4,7 %. Son rythme de croissance est supérieur à celui des combustibles fossiles (+3,9 % par an en moyenne). Il est également nettement plus rapide que celui de l'électricité conventionnelle (+3,1 % par an en moyenne) du fait d'une diminution de la production d'électricité nucléaire sur la période (-197,3TWh entre 2002 et 2012).

La part de l'électricité renouvelable, après avoir augmenté légèrement entre 2010 (19,8 %) et 2011 (19,9 %), gagne un point en 2012(20,8 %). Une croissance observée pour la cinquième année consécutive (18,2 % en 2007). Si l'on excepte 2007, qui est une année de croissance

record pour la production d'électricité issue des combustibles fossiles, la part de l'électricité renouvelable est globalement en augmentation depuis 2004 (de 17,9 % en 2003 à 20,8 % en 2012), soit une augmentation de près de trois points de pourcentage en neuf ans. On peut donc affirmer que les énergies renouvelables ont, sur la dernière décennie, conforté leur place dans la structure mondiale de la production d'électricité. Il convient cependant d'apporter quelques nuances. Si l'augmentation de la part des énergies renouvelables est nette au niveau mondial, on constate néanmoins des tendances divergentes selon les régions du monde. Elle est en forte augmentation en Europe de l'Ouest grâce à une part de l'énergie éolienne, biomasse, solaire qui atteint presque les 12 % en 2012 (contre 10,5 % en 2011). Elle est également en forte augmentation en Asie de l'Est et du Sud-est grâce à une contribution record de l'hydraulique qui franchit pour la première fois le cap des 1000TWh en 2012 (13,4 % en 2012 contre 11,8 % en 2011).^[4]

En 2014 quelque 135 GW d'ajouts de production électrique verte ont porté le total des capacités installées à 1 712 GW, soit 8,5 % de plus que l'année précédente (1578 GW en 2013).^[5]

L'année 2015 a été exceptionnelle pour les installations d'énergies renouvelables. L'augmentation de la capacité de production d'énergie renouvelable est sans précédent, avec 147 gigawatts (GW) estimés.^[6]

I.2.3 L'énergie renouvelable en Algérie :

En conformité avec ses engagements internationaux, l'Algérie a intégré la dimension de durabilité dans sa politique nationale de développement à travers les instruments de planification, et ce, dans un souci de maintenir l'équilibre entre les impératifs de son développement socio-économique et l'utilisation rationnelle de ses ressources naturelles (notamment l'eau et l'énergie).^[7]

Depuis le sommet de Johannesburg en 2002, l'État a intensifié ses actions dans le domaine de la protection de l'environnement et du développement durable, donnant ainsi une place très importante aux aspects écologiques dans ses politiques publiques.^[8]

Un Fond National de Maîtrise de l'Énergie (FNME) a été également institué pour financer ces projets et octroyer des prêts non rémunérés et des garanties pour les emprunts effectués auprès des banques et établissements financiers, pour les investissements porteurs d'efficacité énergétique.^[9]

L'Algérie connaît la réalisation d'un certain nombre d'installations en énergies renouvelables comme :

- les chauffe-eau solaires, le pompage à l'aide de l'énergie solaire ou éolienne, une vingtaine de villages solaires (Tamanrasset, Illizi, Tindouf et Adrar),... Près de 2000 kits

solaires photovoltaïques pour l'éclairage et 200 pompes fonctionnant avec l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage d'eau potable et d'irrigation ont pu être installés à ce jour dans les zones les plus reculées du pays (Illizi, Tamanrasset, Adrar).^[10]

L'Algérie a adopté un programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique qui vise à produire une capacité d'origine renouvelable de 12 000 MW, ce qui couvrira 40% de la consommation énergétique du pays à l'horizon 2030.

Pris en charge principalement par le Ministère de l'énergie, ce programme est entré dans sa phase d'opérations pilotes, notamment avec la mise en service en 2014 d'une centrale photovoltaïque de 1.1 MW à Ghardaïa et d'une centrale éolienne de 10 MW à Adrar en plus de la centrale hybride gaz-solaire de Hassi R'mel d'une capacité de 250 MW dont 25 MW en solaire déjà opérationnelle depuis juin 2011. D'autres centrales photovoltaïques, éoliennes et solaires à concentration seront installées progressivement d'ici 2030 pour atteindre les objectifs fixés dans le programme.

D'autres actions, en faveur de la promotion des énergies renouvelables dans les régions désertiques et dans les hauts plateaux, ont été engagées par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural pour l'éclairage solaire et pour le pompage d'eau potable et d'irrigation à l'aide de l'énergie solaire. Ces actions ont permis de développer l'agriculture dans des régions enclavées, de créer des emplois durables et d'améliorer les conditions de vie des populations locales.^[7]

I.2.4 Les énergies renouvelables dans les stations d'épuration (STEP) :

L'Algérie compte aujourd'hui 140 stations de traitement d'eau pour une capacité de production globale atteignant 800m³/Jour.^[11] Les systèmes d'assainissement, notamment les stations d'épuration, sont de petites industries grandes consommatrices d'énergies. À cet effet, un programme d'optimisation de la consommation d'énergie a été tracé afin de diminuer la consommation d'électricité sans compromettre le processus épuratoire. Ce processus a permis de réaliser des économies d'énergie d'exploitation, réduisant par la même occasion les coûts d'exploitation et de fonctionnement des STEP.^[12]

L'introduction de mode de consommation propres tels que les systèmes photovoltaïque et les systèmes hybrides avec l'utilisation de l'énergie éolienne a également permis de réaliser d'autres économies. L'utilisation des systèmes de consommation propres a donc été planifiée dans les cahiers des charges de certains nouveaux projets de réalisation de STEP (cas de Ain Sefra) et mis en œuvre au niveau des stations isolées non desservies par le réseau électrique tel que la STEP de N'Goussa (Ouargla), mise en service en 2010,^[13] et alimentés exclusivement par l'énergie solaire.^[11]

D'une capacité d'épuration de 10914 EQ, la STEP de N'Goussa utilise le procédé d'épuration constitué de filtres plantés de roseaux. Elle a été réalisée en 2007 pour le traitement des eaux usées urbaines de la daïra de N'Goussa. Cette STEP est située dans une zone qui ne permet pas le raccordement au réseau électrique, elle par conséquent alimentée par l'énergie photovoltaïque.^[13]

Pour la période 2010-2013, un partenariat stratégique a été signé avec l'Unité de Développement des Énergies Solaires (UDES) pour une collaboration scientifique dans le cadre du Plan National de Recherche (PNR) dont les axes de recherches sont :^[14]

La distillation solaire des eaux usées épurées de la STEP d'Ouargla par le traitement des eaux par UV solaire ;

Le traitement des eaux par ultra filtration pour le traitement tertiaire des eaux épurées

Le traitement et la valorisation des boues résiduelles.

Un programme d'optimisation de la consommation d'énergie a été tracé afin de diminuer la consommation d'électricité sans compromettre le processus épuratoire. Ce programme a permis de réaliser des économies d'énergie à hauteur de 14 534 872 KWH, ce qui correspond à 43 732 863,21 DA sur les sept années depuis l'engagement dans la démarche du système de Management environnemental, réduisant ainsi les coûts d'exploitation et de fonctionnement des STEP. L'introduction de modes de consommation propres tels que les systèmes photovoltaïque et systèmes hybrides avec l'utilisation de l'énergie éolienne a également permis de réaliser d'autres économies.^[14]

I.2.5 Objectifs de progression d'énergies renouvelables

- Préserver la planète et la lutte contre l'effet de serre, en réduisant notamment les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère ;
- Diminuer les déchets rejetés dans l'atmosphère ou stockés sur la terre (énergie nucléaire) ;
- Les énergies renouvelables permettent dégréer de façon intelligente les ressources locales et de créer des emplois ;
- Préserver notre atmosphère et l'équilibre de notre écosystème tout en contribuant à un développement durable.

I.3 Impact sur l'environnement :

Les énergies renouvelables servent à produire de la chaleur, de l'électricité ou des carburants .Ces énergies sont théoriquement inépuisables puisque renouvelables. Toutefois, elles présentent des potentiels variables selon la localisation géographique et les facteurs climatiques. Elles ont peu d'impacts négatifs sur l'environnement ou plutôt limités. En particulier, leur exploitation ne

donne pas lieu à de grandes émissions de gaz à effet de serre). Elles sont donc l'un des facteurs de lutte contre le changement climatique.^[15]

I.4 Aspects législatif d'énergies renouvelables en Algérie :

I.4.1 Cadre juridique :

L'adoption du cadre juridique favorable à la promotion des énergies renouvelables et à la réalisation d'infrastructures y afférentes est défini principalement à travers les mesures ci-après : Consciente de l'intérêt grandissant des énergies renouvelables et de leurs enjeux, l'Algérie a intégré leur développement dans sa politique énergétique par l'adoption d'un cadre juridique favorable à leur promotion et à la réalisation d'infrastructures y afférentes.

Le développement des énergies renouvelables est encadré par un ensemble de textes législatifs :^[16]

- La loi (n°99-09, J.O. N°51) du 28 juillet 1999 : relative à la maîtrise de l'énergie; accorde une place privilégiée aux Énergies Renouvelables comme sources d'Énergies complémentaires à part entière avec en plus des qualités environnementales admises et reconnues.
- La loi (n°02-01, J.O. N° 8) du 5 février 2002 : relative à l'électricité et la distribution publique du gaz par canalisations, distingue clairement la source de production et accorde des avantages significatifs aux sources d'énergie renouvelables.
- La loi (n°04-09, J.O. N° 52) du 14 août 2004 : relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable, Les objectifs de cette dernière loi sont :
 - ✓ La protection de l'environnement, en favorisant le recourt systématique à des sources d'énergie propres et non polluantes autant que possible
 - ✓ La contribution à l'effort international dans la lutte engagée contre le réchauffement climatique en limitant les gaz à effet de serre
 - ✓ La préservation et la conservation des énergies fossiles pour assurer le développement durable
 - ✓ La contribution à la politique d'aménagement du territoire en valorisant tous les gisements des énergies renouvelables
- Loi (n° 11-11) du 18 juillet 2011 : portant loi de finances complémentaire pour 2011 a relevé le niveau de la redevance pétrolière qui alimente essentiellement le Fonds National pour les énergies renouvelables et la cogénération (FNER) de 0.5% à 1% et a étendu son champ d'application aux installations de cogénération.

- Décret exécutif n°11-423 du 08 décembre 2011 : fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spécial n° 302 -131 intitulé "Fonds national pour les énergies renouvelables et la cogénération".
- Décret exécutif n°13-218 du juin 2013 : fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité.
- Décret exécutif n°13-424 du 18 décembre 2013 : modifiant et complétant le décret exécutif n° 05-495 du 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.
- Arrêtés ministériels du 02 février 2014 : fixant les tarifs d'achat garantis pour la production d'électricité à partir d'installations utilisant la filière photovoltaïque et les conditions de leur application.
- Arrêtés ministériels du 02 février 2014 : fixant les tarifs d'achat garantis pour la production d'électricité à partir d'installations utilisant la filière éolienne et les conditions de leur application.

I.5 Les cinq familles d'énergies renouvelables

I.5.1 Energie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en six heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année.^[17]

I.5.1.1 Les types d'énergies solaires

I.5.1.1.A. Energie solaire thermique

L'Energie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.^[18]

L'Algérie entend mettre en valeur son potentiel solaire, l'un des plus importants au monde, en lançant des projets importants en solaire thermique.

Deux projets pilotes de centrales thermiques à concentration avec stockage d'une puissance totale d'environ 150 MW chacune seront lancés sur la période 2011-2013. Ces projets s'ajouteront à la centrale hybride de HassiR'Mel d'une puissance de 150 MW, dont 25 MW en solaire.

Sur la période 2016-2020, quatre centrales solaires thermiques avec stockage d'une puissance totale d'environ 1 200 MW devraient être mises en service. Le programme de la phase 2021-2030 prévoit l'installation de 500 MW par an jusqu'en 2023, puis 600 MW par an jusqu'en 2030.^[19]

I.5.1.1.B. Energie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque : qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.^[18]

Pour la production d'énergie, une installation photovoltaïque nécessite la mise en place d'une chaîne de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique basée sur l'effet photovoltaïque. Quelle que soit son architecture, cette chaîne de conversion peut se décomposer :^[20]

- En fonction de bases : production, conversion et interface réseau.
- En fonction auxiliaires : protection, supervision et stockage.

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.^[21]

I.5.1.1.C. Energie solaire passive

L'énergie solaire passive : est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage.^[18]

Cette énergie est concernée la plus ancienne et certainement la plus importante, quoique discrète, pour cela, Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale (façades doubles, surface vitrée orienté vers le Sud etc.). L'isolation thermique joue un rôle important pour optimiser la proportion de l'apport solaire passif dans le chauffage et l'éclairage d'un bâtiment.

Dans une maison solaire passive, l'apport solaire passif permet de faire des économies d'énergie importantes.

Dans les bâtiments dont la conception est dite bioclimatique, l'énergie solaire passive permet aussi de chauffer tout ou en partie d'un bâtiment pour un coût proportionnel quasi nul.^[22]

I.5.2 Energie des vents (éolienne)

L'énergie éolienne : un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice.^[22]

Le SCE (Système de Conversion Eolien) est constitué d'un générateur électrique, entraîné par une turbine éolienne à travers le multiplicateur, d'un système de commande, d'un convertisseur statique, d'un transformateur et enfin d'un réseau électrique.^[23]

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences.^[22]

I.5.3 Energie végétaux (biomasse)

La biomasse se définit comme « la fraction biodégradable » des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers. Toutes ces matières organiques peuvent devenir source d'énergie par combustion (ex : bois énergie), après méthanisation (biogaz) ou après de nouvelles transformations chimiques (biocarburant).^[24]

La biomasse est le fruit de la photosynthèse effectuée par les végétaux, plantes et algues, qui utilisent l'énergie de la lumière solaire pour synthétiser toutes leurs biomolécules. Dans son étymologie, le préfixe « bio » indique bien son origine biologique, tandis que « masse » signifie qu'il s'agit de produits formés en grande quantité. La biomasse a trois sources essentielles : la forêt, avec le bois, les cultures, et les déchets organiques ménagers ou industriels. Il faut noter que la biomasse est constituée de molécules, parmi lesquelles trois classes sont particulièrement importantes : les hydrates de carbone ou sucres, les lipides, et la ligne cellulose, elle-même composée de molécules complexes, cellulose, hémicellulose et lignine.^[25]

La biomasse est utilisée par les humains pour répondre à de multiples besoins :^[25]

- L'alimentation, besoin incontournable et prioritaire.

- Les matériaux, pour le bâtiment (bois d'œuvre, isolants thermiques), pour la fabrication d'outils, pour l'industrie (papier, agglomérés), pour produire des textiles (coton, laine, lin...).
- L'obtention de produits chimiques (comme le latex) et pharmaceutiques.
- La chimie bistournée est appelée à se développer en remplacement de produits pétroliers et du charbon.
- La production d'énergie (chauffage, cuisson, biocarburants). Cet usage est très traditionnel puisque la biomasse fournissait 90 % de l'énergie mondiale jusqu'en 1800.

I.5.4 Interne de la terre (géothermique)

La géothermie, du grec géo (la terre) et thermos (la chaleur) est un mot qui désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géo thermique issue de l'énergie de la terre qui est convertie en chaleur.^[26]

Comment produit-on de l'électricité avec la géothermie ?

La production d'électricité géothermique consiste à convertir la chaleur des nappes aquifères haute température (de 150 à 350°C) à l'aide de turboalternateurs. Si la température de la nappe est comprise entre 100 et 150°C, il est également possible de produire de l'électricité, mais en utilisant la technologie du cycle binaire. Dans ce cas, un échangeur transmet la chaleur de la nappe à un fluide (isobutane, iso pentane, ammoniac) qui a la propriété de se vaporiser à une température inférieure à celle de l'eau.^[27]

I.5.5 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique.

L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages.

L'énergie hydraulique est une manifestation indirecte de l'énergie du soleil, comme beaucoup de sources d'énergies renouvelables sur terre (énergie éolienne, énergie des vagues, la biomasse, etc.). Sous l'action du soleil, l'eau s'évapore des océans et forme les nuages qui se déplacent au gré des vents. Des abaissements de température au-dessus des continents provoquent la

condensation de la vapeur d'eau. La pluie et la neige (les précipitations) alimentent ainsi les glaciers et l'eau des rivières qui s'écoulent petit à petit dans les océans, c'est le cycle de l'eau.

L'énergie hydraulique peut aussi être convertie en une autre énergie (fréquemment l'électricité) :
[28]

- Une centrale hydroélectrique utilise l'énergie de la hauteur de chute et du débit d'un cours d'eau ;
- Une centrale marémotrice utilise l'énergie des marées ;
- Une hydrolienne utilise celle des courants marins ;
- L'énergie des vagues peut aussi être exploitée.

I.5.5.1 Énergie marine

L'énergie marine ou énergie des mers est l'énergie renouvelable extraite du milieu marin. Les mers et océans représentent 71 % de la surface du globe. Ils pourraient en théorie fournir 30 000 GTep (Giga tonne équivalent de pétrole) à partir du seul rayonnement solaire sur leur surface, 40GTep par la force du vent en mer, dont une partie se transforme en houle et vagues, et 2 GTep par la force des courants de marées. Il faut ajouter à cela l'énergie potentielle liée aux différences de température selon la profondeur et celle des gradients de salinité dans les estuaires. À titre de comparaison, pour 2050, les besoins de l'humanité sont estimés à 16.5 GTep. Pendant longtemps les énergies des mers ont été les oubliées des budgets de recherche.

Les énergies marines incluent :^[28]

- L'énergie marémotrice, due aux mouvements de flux et de reflux des marées ;
- L'énergie hydrolienne, exploitant les courants marins ;
- L'énergie holométrique, produite par le mouvement des vagues ;
- L'énergie thermique des mers, exploitant les gradients de température entre les eaux de surface et les eaux profondes ;
- L'énergie osmotique, basée sur les différences de salinité des eaux douces et salées ;
- L'éolien off-shore, éolien situé en mer sur des plateformes ancrées ou flottantes.

I.5.5.1.A. Énergie thermique marine

La surface des cours d'eau est un véritable capteur de rayonnement solaire, ce qui crée une différence de température entre la surface et le fond. L'exploitation de cette forme d'énergie appelée énergie thermique marine au moyen des machines thermodynamiques est particulièrement intéressante pour les zones équatoriales et tropicales.^[29]

I.5.5.1.B. Energie Osmotique

Elle vient du potentiel physico-chimique produit par la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce. Lorsque deux masses d'eau de concentration en sel différentes sont en contact, les molécules d'eau douce ont naturellement tendance à passer du compartiment le moins condensé, vers le plus condensé, pour rétablir l'équilibre de concentration. C'est le phénomène de la pression osmotique. Le principe est simple et connu, et requiert des membranes élaborées, utilisables à grande échelle dans les estuaires.^[30]

I.5.5.1.C. Energie éolienne offshore

Les vents marins sont très soutenus et réguliers, l'exploitation de leur énergie par des éoliennes sur mer permet d'avoir des performances exceptionnelles. La production en mer présente deux avantages : une meilleure productivité et une réduction de l'impact visuel. En revanche, elle présente, comme les autres ressources marines, des difficultés technico-économiques liées au transport de l'électricité à terre vers les lieux de consommation. Pour cette raison, les éoliennes offshore sont généralement limitées à une distance de 40 km des côtes.^[31]

I.5.5.1.D. Energie houlomotrice

Le contact du vent avec la surface de la mer crée des vagues dont le mouvement ondulatoire appelé houle peut s'étendre sur plusieurs kilomètres. L'exploitation de leur énergie est appelée l'énergie houlomotrice et tout comme le vent elle est aussi aléatoire. Les systèmes développés actuellement exploitent l'énergie de déferlement des vagues sur les côtes, plus nombreux sont ceux qui exploitent l'énergie d'ondulation des vagues en pleine mer.^[29]

I.5.5.1.E. Energie marémotrice

Elle résulte de l'exploitation de l'énergie potentielle de la marée en utilisant les différences de niveau entre haute et basse mer. On la capte en utilisant les variations du niveau de la mer, en remplissant, puis en vidant des réservoirs par l'intermédiaire de turbines ; Le phénomène de marée est dû à l'action gravitationnelle combinée de la lune et du soleil et des frottements sur le fond des océans. Les variations périodiques du niveau de la mer sous l'effet de la marée sont donc particulièrement prédictibles^[30].

I.5.5.1.F. Energie hydrolienne

C'est l'exploitation de l'énergie cinétique des courants de marée suivant le même principe de base que les éoliennes. Ces courants de marée sont totalement prédictibles et leur potentiel énergétique est très supérieur à celui des systèmes à barrage ayant des impacts environnementaux contestés.^[29]

I.6 Fonctionnement d'un ouvrage hydroélectrique^[31]

L'aménagement hydroélectrique comporte principalement :

- Une prise d'eau sert à créer une chute d'eau importante et un réservoir de stockage de l'eau, ce qui permet à la centrale de continuer à fonctionner, même en période de basses eaux.
- Un canal de dérivation prélève l'eau. Il peut être un canal à ciel ouvert, une galerie souterraine ou une conduite. Certaines centrales de basse chute n'en utilisent pas de canal de dérivation.
- La centrale, appelée aussi usine. C'est là que la chute d'eau fait tourner une turbine qui entraîne le générateur d'électricité (un alternateur).

I.6.1 Contexte hydraulique favorable

Le principe de l'hydroélectricité est de capter l'énergie hydraulique d'un cours d'eau et de la convertir en énergie mécanique puis électrique. La puissance hydraulique disponible d'un cours d'eau est donc proportionnelle à :^[31]

- La dénivellation -ou pente- du cours d'eau ou de la chute d'eau
- Le débit du cours d'eau ou de la chute

I.6.2 Centrale hydroélectrique

C'est une centrale de production d'électricité dans laquelle le flux créé par l'eau amenée par écoulement libre (canaux) ou par des conduites en charge (conduites forcées) actionne la rotation des turboalternateurs, avant de retourner à la rivière. C'est une forme d'énergie renouvelable, propre et non polluante.^[32]

Une centrale hydroélectrique transforme l'énergie sauvage d'une chute d'eau en énergie mécanique grâce à une turbine, puis en énergie électrique grâce à un générateur.^[33]

Il existe deux types d'installations :^[34]

- Les installations qui fonctionnent par éclusées c'est-à-dire de grands barrages permettant de répondre aux pointes de consommation.
- Les centrales installées au fil de l'eau, ce qui est le cas de la majorité des petites centrales hydroélectriques (PCH).

La petite hydroélectricité (PRE) se caractérise par des installations de productions capables de développer une puissance électrique de quelques mégawatts (10 MW au maximum), à partir de chutes d'eau de quelques mètres de haut à plusieurs centaines de mètres de haut.^[34]

I.6.3 Différents types d'installation hydro-électrique

I.6.3.1 Centrales en eaux de surface : fil de l'eau /accumulation^[35]

Les centrales hydro-électriques sont soit au fil de l'eau, soit à accumulation. L'accumulation réalisée au moyen de barrages, permet de stocker l'eau lorsque la demande en électricité est faible et de l'utiliser dans les périodes de forte demande.

Une application particulière de la centrale à accumulation est le pompage turbinage qui consiste à réunir dans un même aménagement des turbines hydrauliques et des pompes. Le principe de fonctionnement est de remonter de l'eau par pompage dans la retenue lorsqu'il y a surplus d'électricité sur le réseau (par exemple la nuit) pour la turbiner lorsque la demande est forte. De telles installations sont d'autant plus utiles dans un réseau électrique interconnecté que celui-ci possède des sources de production non modulables en fonction de la demande.

Tout comme les éoliennes, qui produisent en fonction du vent, les centrales hydrauliques au fil de l'eau produisent en fonction de la quantité d'eau disponible dans la rivière et non en fonction des besoins immédiats. Ces centrales ne possèdent pas de retenues d'eau importantes permettant de faire de la production à la demande. Dans la plupart des cas, le barrage a pour unique fonction de garantir le niveau d'eau constant nécessaire au fonctionnement de la prise d'eau. Si quelques capacités de marnage existent, elles n'excèdent pas quelques heures de fonctionnement.

L'appellation de centrale au fil de l'eau est généralement assimilée, à tort, aux aménagements basse chute. Elle signifie simplement que l'installation ne dispose pas de capacité de stockage et qu'elle utilise l'eau en fonction de sa disponibilité dans la rivière dont elle suit le comportement hydrologique.

Contrairement aux aménagements de grande taille, les petites centrales hydrauliques sont très majoritairement au fil de l'eau, ce qui les rend particulièrement tributaires du régime hydrologique de la rivière sur laquelle elles se trouvent.

I.6.3.2 Centrales dans les réseaux d'eau

I.6.3.2.A. Turbinage de l'eau potable^[35]

En région de montagne, la dénivellation est souvent importante entre les captages et les consommateurs. Il en résulte une pression trop élevée pour le réseau de distribution que l'on est obligé de dissiper avant l'entrée dans le réservoir de tête du réseau.

Plutôt que d'utiliser un brise charge, il est très souvent possible techniquement et financièrement d'utiliser cette pression dans de petites turbines Pelton, l'eau étant utilisée de manière optimale, puisqu'elle produit de l'énergie avant d'être consommée.

L'impact sur l'environnement dû à la centrale est par ailleurs nul, puisque les captages, bassins et conduites doivent de toute façon être réalisés pour satisfaire aux besoins en eau de la population.

I.6.3.2.B. Turbinage de l'eau usée^[35]

Il existe deux possibilités de turbiner l'eau usée. La première est avant la station d'épuration (STEP). Dans ce cas, le réseau d'assainissement d'une agglomération, située en altitude, aboutit à une chambre de tamisage et de mise en charge. L'eau usée est ensuite amenée

par une conduite forcée jusqu'à la STEP, située dans la vallée, où elle est turbinée avant d'être traitée.

La seconde est après STEP. Dans ce cas, la STEP est située en altitude, et c'est l'eau épurée qui est descendue dans la vallée par une conduite forcée pour aboutir à une installation de turbinage, avant d'être rejetée dans un lac ou un cours d'eau. On aura principalement recours à cette méthode lorsque le cours d'eau dans lequel le rejet doit s'effectuer (en altitude) est à trop faible débit et que la dilution n'est pas suffisante, ou lorsqu'il n'y a pas de cours d'eau à proximité de la STEP.

En cas il n'existe pas la STEP, c'est -à-dire rejet directe vers l'oued il ya une possibilité de turbiné des eaux usées, et de mise un bassin de prétraitement, et un bassin de mise en charge.

I.7 Les inconvénients et les avantages d'énergies renouvelables ^[36]

Le développement des énergies renouvelables répond à un besoin de diversification des différentes sources d'énergie. Même si les énergies renouvelables sont théoriquement inépuisables, leurs potentiels varient en fonction des facteurs climatiques, de la localisation géographique et des possibilités de stockage. Voici les avantages et les inconvénients des différentes énergies renouvelables.

I.7.1 L'énergie solaire

Le solaire est une source d'énergie relativement chère et qui, de ce fait, reste encore peu développée, bien qu'elle commence à prendre son essor avec l'augmentation croissante des prix des énergies fossiles. Bien qu'elle ne puisse pas à elle seule remplacer les énergies fossiles, elle a l'avantage de permettre la réalisation d'importantes économies d'énergie, mais c'est aussi une énergie propre qui ne produit pas de déchets toxiques et qui ne dégage pas de gaz à effet de serre. Par ailleurs, les technologies de l'énergie solaire domestique tendent à se répandre et sont particulièrement efficaces et prouvées. L'énergie solaire a néanmoins certains inconvénients car investir dans cette énergie propre est encore très coûteuse. Ainsi, il est souvent indispensable d'obtenir des subventions de l'Etat, des associations ou des banques pour pouvoir se lancer dans un projet d'exploitation de l'énergie solaire.

I.7.2 L'énergie solaire thermique

Avantages : L'énergie solaire thermique produit un rendement élevé et après retour sur investissement, elle permet d'avoir de l'eau chaude gratuitement. Elle permet également de produire 50% de l'énergie de chauffage utile à une habitation.

Inconvénients : Non seulement c'est une énergie très coûteuse mais le retour sur investissement est plutôt long (environ 10 ans) et la durée de vie des panneaux est limitée (20 à 25 ans).

I.7.3 L'énergie solaire photovoltaïque

Avantages : Elle est idéale pour les sites isolés ou les sites qui ne sont pas reliés à un réseau électrique important.

Inconvénients : Non seulement le rendement est assez faible mais la quantité d'énergie produite par les panneaux photovoltaïques dépend du climat et de la situation géographique.

I.7.4 La biomasse

Avantages : c'est une énergie qui émet peu de gaz à effet de serre et qui peut être stockée. Concernant particulièrement le bois-énergie, il y a une large disponibilité de la ressource et le prix du bois de chauffage ne suit pas le cours du pétrole.

Inconvénients : Elle ne peut avoir qu'un apport limité car le recours intensif à la biomasse entraînerait des impacts négatifs sur l'environnement tels que des phénomènes de déforestations (en cas d'exploitation intensive du bois-énergie), d'érosions des sols, de pollution des sols et des eaux (en cas de production intensive de biocarburant).

I.7.5 L'énergie éolienne

Avantages : C'est une énergie totalement propre et renouvelable et son exploitation n'engendre ni déchet, ni rejet. De plus, les petites installations permettent d'électrifier les sites isolés, et les sites où sont implantées des éoliennes restent toujours exploitables.

Inconvénients : Le rendement dépend totalement du vent et le vent ne souffle pas toujours quand on en a besoin. Par ailleurs, les éoliennes sont inesthétiques pour le paysage et elles demandent un certain entretien (nettoyage des pales, graissage...) pour ne pas perdre de leurs qualités car ce sont des systèmes mécaniques mobiles.

I.7.6 L'énergie géothermique

Avantages : C'est une énergie qui ne produit aucun déchet et sa ressource reste inépuisable tant que la qualité d'énergie géothermique captée est inférieure à la chaleur qui provient du centre de la Terre.

Inconvénients : La surexploitation d'un gisement entraîne une chute de température du sous-sol, ce qui fait que la qualité du gisement baisse progressivement jusqu'à ce qu'elle s'épuise complètement. En outre, il peut y avoir une concurrence entre l'eau qui est pompée pour sa chaleur et l'eau qui est pompée pour elle-même.

I.7.7 L'énergie hydraulique

Avantages : C'est une énergie disponible tant que les cours d'eau ne sont pas à sec. De plus, elle fournit de fortes puissances et elle peut être stockée dans les retenues d'eau. Elle a également un fort potentiel car seule 20% des sites font l'objet d'une exploitation dans le monde.

Inconvénients : Son exploitation a des impacts écologiques dans le sens où les barrages menacent d'extinction des espèces terrestres et aquatiques, mais ils portent aussi atteintes à la

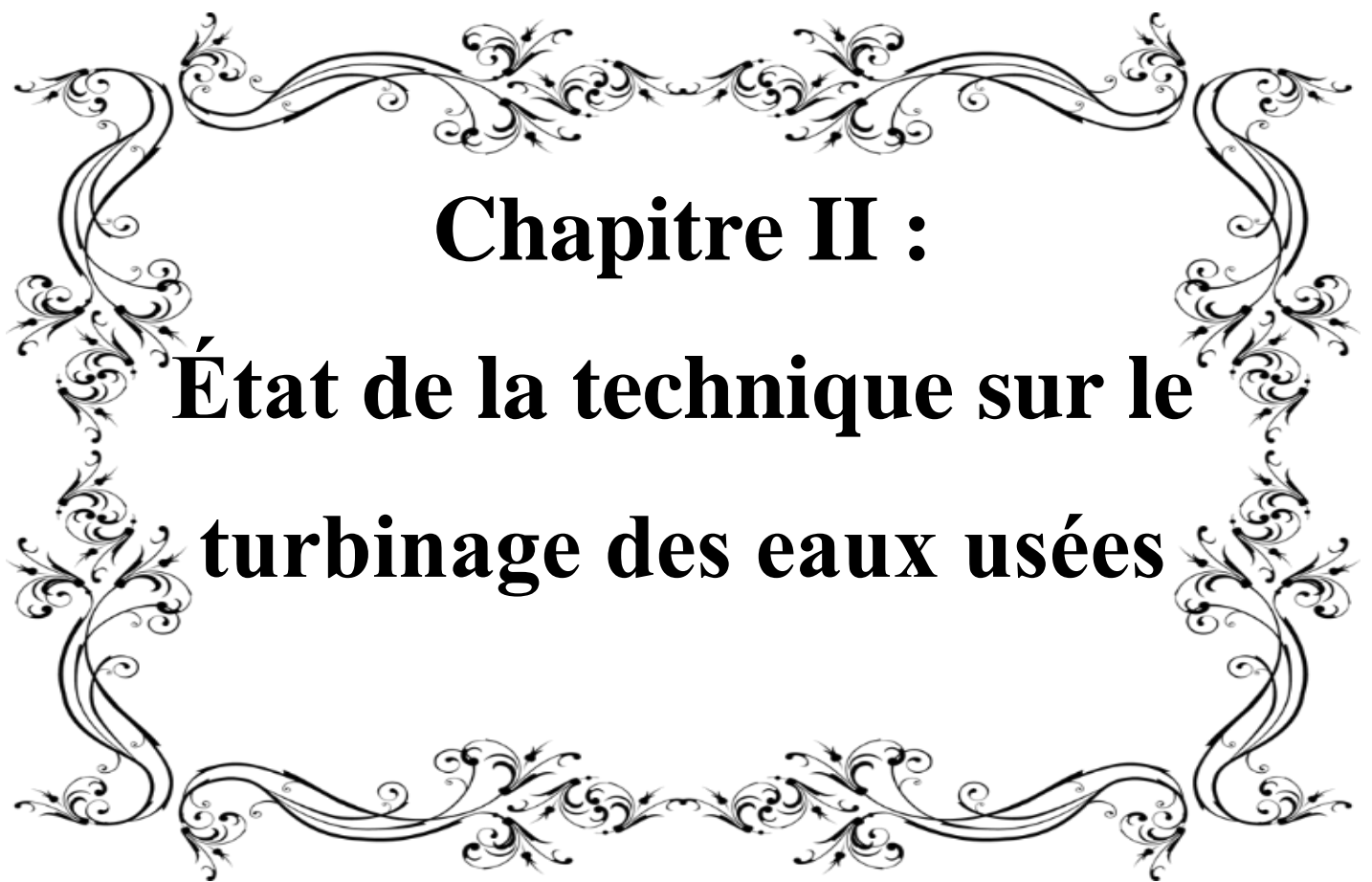
biodiversité. Par ailleurs, les plus gros barrages exigent parfois un déplacement de population et il y a toujours des risques de rupture de barrage qui peuvent engendrer des dégâts matériels et humains considérables.

I.8 Conclusion

La route vers les énergies renouvelables dans un pays pétrolier comme l'Algérie dans une vision du développement durable est certainement longue et difficile. Mais la motivation de basculer vers l'exportation de l'énergie renouvelable au lieu du pétrole serait une alternative forcée avec le scénario énergétique développé par nos voisins, elle implique volonté et enthousiasme politique forts.

La volonté de s'inscrire dans un cadre de développement durable, de protection de notre environnement, de sortir de la dépendance des hydrocarbures, de préserver de l'énergie pour les générations futures, doit se traduire par un réel plan d'action visant des objectifs précis en matière de développement des énergies renouvelables, d'acquisition du savoir permettant l'intégration de technologies dans notre industrie nationale.

Elle demande un engagement et un effort soutenu de tous les départements ministériels et à tous les niveaux. Elle implique sensibilisation, éducation, formation, dialogue avec toutes les parties. L'utilisation des énergies renouvelables est une clé de développement de toute la région et un facteur important pour préserver l'environnement.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Chapitre II :
État de la technique sur le
turbinage des eaux usées

II.1. Introduction

Ce chapitre présente s'intéresse au type d'installations hydroélectriques au turbinage des eaux usées, c'est-à-dire à la production d'hydroélectricité à partir des eaux usées.

Les installations hydroélectriques peuvent se diviser en plusieurs types, selon leur classe de puissance. Au vu des volumes disponibles et de la taille de la ville de Biskra, les installations des eaux usées rentrent majoritairement dans la catégorie des petites centrales hydrauliques. Certaines dispositions légales particulières encadrent ce type d'installation, notamment la rétribution à prix coûtant.

Il est de plus possible de qualifier ces installations comme étant de l'hydroélectricité sur des infrastructures existantes, c'est-à-dire que produire de l'électricité n'est pas la première fonction de l'installation. Dans ce cas présent, il est donc important de toujours considérer en priorité la fonction première de l'installation ou plutôt de la conduite, qui est le transport des eaux usées depuis sa source vers le traitement ou le rejet.

II.2. les réseaux d'eaux usées

Ci-dessous sont présentés quelques points de théorie sur les réseaux d'eaux usées, utiles à la compréhension de la suite du mémoire.

Le terme « eaux usées » désigne les eaux à évacuer, c'est-à-dire « les eaux altérées par suite d'usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre, ainsi que les eaux qui s'écoulent avec elles dans les égouts et celles qui proviennent de surfaces bâties ou imperméabilisées » [37]. Ces eaux doivent être transportées puis traitées dans une station d'épuration, avant d'être rejetées dans un milieu naturel (mer, cours d'eau, lac).

II.2.1. Production d'eaux usées

On distingue plusieurs sources d'eaux usées :

- **les eaux polluées communales** : les eaux produites par les ménages.
- **les eaux industrielles** : les eaux à évacuer provenant des exploitations artisanales et industrielles, ainsi que les eaux de qualité comparable, telles que les eaux d'hôpitaux et laboratoires [37]. Il est difficile d'estimer la production moyenne d'eaux usées industrielles dans les villes car celle-ci dépend souvent de la nature et du nombre d'industries. De plus, en fonction des normes de rejet et de la capacité du réseau à recevoir les eaux usées industrielles, il est possible d'exiger de certaines industries une usine de traitement propre et donc un rejet direct sans passer par le réseau.

Les eaux de ruissellement : les eaux de ruissellement provenant des surfaces bâties ou imperméabilisées. La quantité arrivant dans les réseaux dépend de l'hydrologie de la zone, de l'imperméabilisation des surfaces, de l'infiltration plus ou moins forte dans certaines zones, et de la topographie du terrain.

- **Les eaux claires parasites :** désignent les eaux non polluées présentes en permanence dans les réseaux d'assainissement

- **II.2.2. Le transport des eaux usées**

Le réseau d'eaux usées a pour fonction le transport des eaux usées depuis leur lieu de production jusqu'à la station de traitement et le rejet. Les eaux sont transportées par gravité à travers des conduites à surface libre, et ponctuellement en charge à travers des conduites de refoulement où les eaux sont pompées pour permettre leur transport sur des terrains plats ou en pente montante.

Pour transporter les différentes eaux usées, plusieurs types de réseaux existent :

- **Les réseaux unitaires :** ceux-ci transportent tous les types d'eaux usées dans les mêmes conduits.
- **Les réseaux séparatifs :** ceux-ci transportent séparément d'une part les eaux usées domestiques et industrielles, et d'autres parts les eaux de ruissellement. Les eaux de ruissellement ne sont souvent pas traitées ou ne bénéficient que d'un traitement primaire avant leur rejet dans le milieu naturel. Ces réseaux ont l'avantage de moins diluer les eaux à assainir ce qui permet un traitement plus efficace à la station d'épuration.
- **Les réseaux mixtes/pseudo-séparatifs :** certaines parties du réseau sont en unitaire et d'autres sont en séparatif.

On distingue plusieurs types de conduites dans le réseau :

- **Les branchements ou entrées de services :** conduites qui relient les maisons individuelles ou industrie au réseau d'égouts.

- **Les égouts locaux :** conduites qui collectent les branchements d'une ou de quelques rues.
- **Les collecteurs :** souvent des conduites principales dans lesquelles se desservent les conduites d'égouts locaux. Le débit dépend ici de la taille de la ville.

- **Les intercepteurs ou collecteurs principaux :** conduites qui reçoivent les eaux des collecteurs et les acheminent vers la station d'épuration. Ces conduites sont donc les plus importantes en termes de débit transporté.

Plusieurs éléments viennent compléter le réseau de conduites :

- **Les regards d'égout :** ouvrages qui permettent l'accès aux conduites et la ventilation du réseau.
- **Les déversoirs d'orage :** ouvrages permettant le déversement et le transport vers le milieu de rejet du trop-plein d'eau du réseau lors de certains événements de pluie. Ces éléments sont répartis à plusieurs endroits du réseau unitaire avant l'intercepteur.
- **Les bassins de rétention :** ouvrages qui permettent de stocker l'excédent d'eau lorsque la capacité maximale de la station d'épuration est atteinte, pour les traiter ultérieurement.
- **Les chambres brise-énergies :** celles-ci servent à réduire la vitesse des eaux dans le réseau et donc à ralentir l'arrivée des eaux à la station d'épuration (STEP). Un exemple de chambre brise-énergie est un régulateur de débit à vortex, qui produit une turbulence dans l'écoulement et donc réduit la vitesse de l'eau.
- **Les stations de pompage :** pompes permettant le transport des eaux usées quand celui-ci est impossible par simple gravité.

II.2.3. Traitement des eaux usées

Les eaux usées doivent être traitées pour éviter la contamination du milieu naturel. Les stations d'épuration (STEPS) traitent les eaux d'une ou plusieurs villes à la fois et les rejettent ensuite dans un milieu naturel. La STEP se trouve le plus fréquemment à un point situé en aval de la zone qu'elle traite. Elle est située le plus souvent proche d'un milieu récepteur, bien que dans certains cas, la topographie de la zone ne le permette pas.

La STEP est construite pour un nombre d'équivalents habitants raccordés donné et a donc une capacité maximale. Comme mentionné précédemment, des ouvrages existent dans le réseau pour déverser ou retenir les eaux pour ne pas excéder cette capacité maximale. Les ouvrages comme les réservoirs ou les déversoirs peuvent se trouver directement à l'entrée de la STEP.

Selon le type de traitement, il est possible d'avoir le même débit en entrée ou en sortie ou bien d'avoir une variation avec un stockage intermédiaire. Il est de plus possible qu'un déversement existe après le traitement primaire (traitement mécanique), en cas de pluie. Il sera cependant

considéré pour simplification dans l'étude que les débits d'entrée et de sortie de STEP sont les mêmes

II.2.4. Rejet

Le milieu naturel où les eaux sont rejetées doit être suffisamment robuste pour absorber et diluer la pollution restante des eaux. La récente problématique des micropolluants a remis en cause la capacité des cours d'eau à dégrader la pollution et a redéfini les critères pour lesquels la pollution des eaux rejetées n'est pas problématique. En termes de débits, il est aujourd'hui estimé que pour que le rejet des eaux usées traitées n'affecte pas le cours d'eau.

II.2.5. Situation en Biskra (38)

La longueur du réseau d'eau usée est évaluée à environ 295 km en Biskra. Celui-ci est constitué à 100% en réseau unitaire. La ville de Biskra compte une seule station au cours de la réalisation, elle couvre de 33000 équivalents-habitants (EH) pour l'horizon 2030, qui assainissent au total plus de 1825000 millions de m³ par an. Le taux de raccordement des habitants au STEPS est de 96.7 % en 2018.

II.3. Potentiel hydroélectrique dans les réseaux d'eaux usées

Lorsqu'il existe un dénivelé et un débit suffisamment importants dans le réseau d'eaux usées, il est envisageable d'installer une conduite forcée puis une installation hydroélectrique. Comme mentionné en introduction, ce turbinage peut être envisagé, en fonction des conditions locales, en entrée de STEP, en sortie de STEP ou en le rejet lui-même (état actuelle : rejet en milieu naturel).

II.3.1. Turbinage en entrée de STEP

Les eaux usées sont turbinées avant leur arrivée dans la STEP.

Configuration type : la collecte des eaux usées se fait plus en hauteur. Si le dénivelé entre la collecte des eaux et la station d'épuration est suffisamment conséquent, un turbinage est envisageable.

II.3.2. Turbinage en sortie de STEP

Les eaux sont turbinées après leur passage dans la station d'épuration et juste avant que celles-ci ne soient rejetées dans le milieu naturel.

Configuration type : La STEP se trouve en amont et le rejet doit se faire dans un milieu situé plus en aval, pour des questions de qualité de milieu naturel, ou bien de milieu disponible tout simplement.

II.3.3. Au rejet du réseau d'eaux usées

Configuration type : Un gros collecteur est présent au rejet d'eau usée de la ville, ou une chute ponctuelle existe avec un débit suffisant.

Les configurations les plus favorables se trouvent plutôt là où une chute est conséquente et où il y a un débit important. Par conséquent, les configurations les plus judicieuses se trouvent généralement plutôt en fin de réseau, où presque tous les apports du bassin versant sont présents. Lorsqu'on regarde les possibilités de turbinage, les collecteurs principaux vers le rejet donc souvent les plus intéressants.

II.4. Particularités du turbinage des réseaux d'eaux usées

II.4.1. Variabilité du débit : Le débit à l'intérieur d'un réseau d'eaux usées varie de plusieurs manières :

- **Variation journalière :** la production des eaux communales varie en fonction des heures de la journée, selon les besoins des ménages. Celle-ci peut aussi différer entre la semaine et le weekend.
- **Variation météo :** lors des précipitations, une partie des eaux claires est captée par le réseau d'eaux usées (cette part varie selon le type de réseaux).

Le dimensionnement et le choix de la turbine devra prendre en compte ces variations. Un système de rétention de l'eau (stockage) pourra aussi être installé pour permettre un débit plus constant.

II.4.2. Qualité de l'eau

Les eaux non traitées, au rejet, possèdent plusieurs caractéristiques qui peuvent affecter le bon fonctionnement d'une centrale hydroélectrique :

Matières grossières : Les matières grossières risquent d'obstruer la conduite et l'injecteur. Elles doivent impérativement être enlevées.

Matières en suspension (MES) : La concentration en MES dans les eaux usées non traitées est en moyenne de 0.444 mg/L.

Matières organiques (bactéries) : La formation de bio films entraîne une réduction de la section de la conduite forcée et donc des pertes de charges plus importantes. Cette déposition peut aisément réduire de 1 ou 2 mm le diamètre intérieur de la conduite.

- Le bassin de mise en charge qui doit être installé en amont de la conduite peut aussi servir de décanteur et/ou de dégraisseur pour retirer une partie des matières en suspension. Cela est à prendre en compte dans le dimensionnement du bassin.

- Les composants du groupe hydroélectrique en contact avec l'eau sont construits en acier inoxydable pour éviter la corrosion.
- Le support de l'injecteur doit être conçu de manière à ne pas retenir les matières fibreuses.
- Une fois par an, la conduite doit être vidée pour éliminer si possible les dépôts de bio films.

Malgré le prétraitement, une maintenance plus importante est à prévoir. Par conséquent, l'accès aux pièces usagées ou obstruées devrait être facilité.

Il est finalement intéressant de noter que la densité d'eaux usées est sensiblement la même que celle de l'eau pure. En considérant une concentration en MES de 444 mg/l, la masse volumique est de 1.01 g/L.

II.4.3. Obligation de sécurité de l'approvisionnement

La conduite qui est transformée pour le turbinage doit permettre l'acheminement des eaux usées, qui est son but premier. Par conséquent, la conduite doit en principe être dimensionnée pour le débit maximum qui doit transiter. Il est cependant possible que dans certains cas, l'ancienne conduite en surface libre puisse être utilisée pour transporter l'excédent d'eau, ce qui n'oblige pas le dimensionnement de la conduite pour Q_{max} .

Il est de plus nécessaire de garantir l'approvisionnement en cas d'arrêt de la turbine. Pour cela, un by-pass est obligatoire. Ce by-pass nécessite alors la présence d'un réservoir en sortie de turbine, qui n'est pas toujours prévu habituellement. Dans le cas du turbinage avant STEP, ce réservoir peut être la première étape du traitement.

II.4.4. Raccordement au réseau électrique

Si l'installation est située dans le même local que la station d'épuration, un nouveau raccordement électrique ne sera pas obligatoirement nécessaire, car la station de traitement est déjà consommatrice d'électricité et donc raccordée au réseau. Un nouveau câble sera nécessaire si l'installation produit plus que ce que la capacité du câble ne puisse transporter. Cela devra donc être déterminé au cas par cas.

II.5. Equipements hydromécaniques utilisés

II.5.1. Technologies existantes

Les types suivants de turbine sont bien adaptés pour le turbinage des eaux usées :

Turbine Pelton : Cette turbine est choisie pour des débits (relativement) faibles et des chutes élevées (>50 m). Les réseaux d'eaux usées transportant généralement des faibles débits (<10 m/s), les turbines Pelton constituent souvent une des technologies les plus adaptées.

Turbine Kaplan : Cette turbine est adaptée pour des débits importants et des faibles chutes. Elle serait donc adaptée pour les STEPS d'agglomérations de taille importante pour peu qu'il y ait quelques mètres de chute.

Pompe inversée (Acronyme anglais très utilisé : PAT (Pump as turbine)) : Cette technologie correspond à une pompe fonctionnant à l'envers pour produire de l'électricité. C'est une technologie moins coûteuse que les turbines usuelles. Cependant, elle supporte mal les variations de débit et doit être associée à un stockage pour pouvoir être efficace.

Vis hydraulique (ou Vis d'Archimède inversée) : Celle-ci inverse le principe des vis d'Archimède pour produire de l'électricité. Elle est dimensionnée pour des puissances jusqu'à 500 kW, et permet des rendements élevés même lors de variations du débit. Ces types d'installation sont adaptés pour de faibles chutes (de l'ordre de quelques mètres) et des débits importants, elles pourraient permettre d'ouvrir le champ des configurations possibles pour le turbinage des eaux usées. Le principal désavantage de ces vis est la place importante prise par celles-ci. Elles sont cependant robustes et donc particulièrement adaptées aux eaux usées, car elles laissent passer les déchets grossiers.

Roue hydraulique : Cette technologie correspond à la version actuelle productrice d'électricité du moulin. Très robuste mais peu efficace, cette technologie pourrait devenir populaire de par son côté éducatif.

Turbine Pelton à contre pression : Cette technologie consiste à utiliser une turbine Pelton classique dont l'habacle est mis sous pression. Normalement, une turbine Pelton doit être installée en amont du plan d'eau car la roue doit être dénoyée. Grâce au système de contre pression, le plan d'eau aval est artificiellement abaissé en comprimant l'air contenu dans la bache de la machine et la turbine Pelton peut être installée en dessous du niveau aval. Ce système convient bien lorsque le niveau d'eau à l'aval varie (il permet des récupérations plus importantes d'énergie), ce qui peut être le cas des stations d'épuration.

Certaines de ces technologies n'ont encore jamais été appliquées au cas des eaux usées. Cependant, leurs installations dans des cas similaires (exemple : de turbinage des eaux potables) rend probable leur application. [39]

Conclusion :

A partir de ce chapitre on peut conclure que les installations hydroélectriques a pour but de turbinage des eaux usées peuvent se diviser en plusieurs types, selon leur classe de puissance. Au vu des volumes disponibles et de la taille de la ville.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Chapitre III:

EVALUATION-GLOBALE

III.1 Introduction :

En Algérie ne dispose aucune installation sur le turbinage des eaux usées, mais la topographie de l'Algérie laisse penser qu'ils existent des sites potentiels. Dans ce chapitre nous avons démontré qu'il est possible que de nouveau potentiel rentable existe à la ville de Biskra au niveau de rejet d'eau usée, une nouvelle étude de potentiel pour la ville pourrait donc se révéler très intéressante. De plus, l'étude réalisée sur la base de la création d'un model réduit et sera développé pour évaluer le potentiel, sur la base de données globales disponibles de rejet des eaux usées plus importantes existent, ce qui justifie une étude plus systématique.

La méthode développée pourra aussi s'adapter à d'autres bases de données, pour évaluer le potentiel d'autres villes.

Le présent chapitre s'intéresse qu'au turbinage des eaux usées domestiques/industrielles, et considère les réseaux d'eaux pluviales.

OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE POTENTIEL

JUSTIFICATION D'UNE NOUVELLE ÉTUDE

III.A. ETUDES DU POTENTIEL DE TURBINAGE DES EAUX USÉES EN BISKRA

Le projet avait pour objectif de développer la petite centrale hydroélectrique qui sera installé au niveau de rejet, à l'aide et à avoir étudié le potentiel sur les eaux usées à l'échelle réduit (réalisation d'un model réduit).

Méthode utilisée :

- Analyse topographique de la ville de Biskra.
- Calcul des volumes disponibles des eaux usées rejeté, en utilisant la population résidente raccordée et les débits moyens quotidiens par habitant.
- Détermination du potentiel énergétique.
- Identification des rejets intéressants.
- Les hypothèses de base sont ainsi à revoir, en s'appuyant notamment sur la réalisation d'un model réduit concrètes d'installations réalisées au site choisir.
- Etude plus détaillée de site à l'aide de méthode de l'analyse dimensionnelle et similitude.

III.1. OBJECTIF DE LA NOUVELLE ÉTUDE

Comme mentionné précédemment, l'objectif d'une nouvelle étude est de créer un modèle réduit avec une méthode automatique qui pourrait être appliquée à d'autres jeux de données. La méthode ne se veut donc pas spécifique à la seule configuration de la ville de Biskra, mais

transposable et adaptable partout. La collecte d'informations se fera donc à partir de bases de données existantes.

Les procédures utilisées par l'étude peuvent néanmoins être reprises. En effet, en s'inspirant des études réalisables, l'étude se découpera en plusieurs parties :

- Une étude technique pour estimer la quantité d'énergie disponible.
- Une étude de rentable, et qui déterminera la puissance installée optimale des sites,
- Etude de sensibilité de l'étude en faisant varier les paramètres définis dans l'étude technique pour les optimiser.

III.2. EVALUATION GLOBALE DU POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE

III.2.1. DONNÉES DISPONIBLES

La méthodologie d'évaluation du potentiel a été développée à partir des données disponibles sur la ville de Biskra, dont les données étaient de qualité, puis a ensuite été appliquée sur le rejet.

DONNÉES RÉCOLTÉES

Les données suivantes sont utilisées pour l'étude de potentiel :

- Informations sur les stations d'épurations :

- Coordonnées des rejets.
- Débits moyens + Débits moyens par temps sec.
- Bassins versants de rejet.
- Nombre d'habitants.

- Informations sur les cours d'eau

Carte des cours d'eau

Type de cours d'eau

Débit moyen des cours d'eau.

- Modèle numérique de terrain 25 m (MNT)

- Cartes 1:100/000

Il est important de mentionner que les résultats dépendent de la base de données utilisée. Les données utilisées pour cette étude (datant de 2018).

III.2.2. HYPOTHÈSES PRÉLIMINAIRES

La méthode développée comporte une partie d'évaluation de potentiel énergétique théorique et une partie d'évaluation à l'aide de modèle réduit sur la base de l'analyse dimensionnelle et similitude. La partie technique calcule l'énergie disponible en kKWh/an dans le réseau d'eaux usées,

tandis que l'analyse optimise pour le potentiel de la puissance installée et l'énergie productible pour permettre une rentabilité maximale.

III.B. Etude de site proposé

III.1. La topographie

La topographie de la ville de Biskra laisse penser qu'il existe un potentiel énergétique à partir des eaux usées non exploité dans les rejets.

Dans notre travail présenté dans ce mémoire pour le cas de rejet de la ville de Biskra. La chute exploitée se situe entre les points haut et bas d'un réseau d'égouts, le point bas pouvant être le rejet d'eaux usées centre-ville BISKRA est de 4m.

III.2. Potentiel énergétique

L'étude s'est focalisée sur le potentiel énergétique autour de rejet, c'est-à-dire le turbinage des eaux usées rejetées. Le potentiel énergétique disponible a été défini selon l'équation 1, où E_{prod} (kWh/a) désigne l'électricité produite, ρ (kg/m^3) la masse volumique des eaux usées, H_{nette} (m) la chute nette, $V_{eaux_usées}$ (m^3/a) le volume d'eaux usées traitées annuellement et η (%) le rendement global de l'installation.

$$E_{prod} = \eta * \rho * g * H_{nette} * V_{eaux-usées} \quad (3.1)$$

III.3. Donnée (Q ; H ; η)

Il a été supposé pour les calculs que $\eta = 0,7$, valeur moyenne de rendements de petite centrale hydroélectrique, et que les pertes de charges seraient à hauteur de 10% de la chute brute.

Pour le turbinage, la chute est localisée entre le point de collection principal de toutes les eaux du système d'assainissement.

Les caractéristiques de site qui nous avons étudié :

- Caractéristique de rejet :
 - Diamètre existant de rejet DN1500 en CAO, avec une tête de rejet.
 - Volume d'eau usée à traiter : 55000 m^3/j ;
 - Dénivelé existant de rejet par rapport au lit d'oued 4m.



Figure 1 : rejet Biskra

Les installations de site qui nous avons proposé à l'échelle réelle:

- Un bassin de prétraitement.
- Un bassin de mise en charge.
- une conduite forcée de DN 1500 d'une hauteur de 4 m par apport l'horizontal (l'entrée de la turbine) donc pour notre installation qu'on doit réaliser est composé de :
 - Un coude 90° (arrondi) de diamètre 1500 mm de type Polyester Renforcée de fibres de Verre (PRV) placé à la sortie de cette conduite (conduite forcée) ;
 - Une conduite verticale en acier de diamètre 1500 mm.
- Une centrale hydroélectrique.
- Conduite de rejet vers l'oued DN1500.

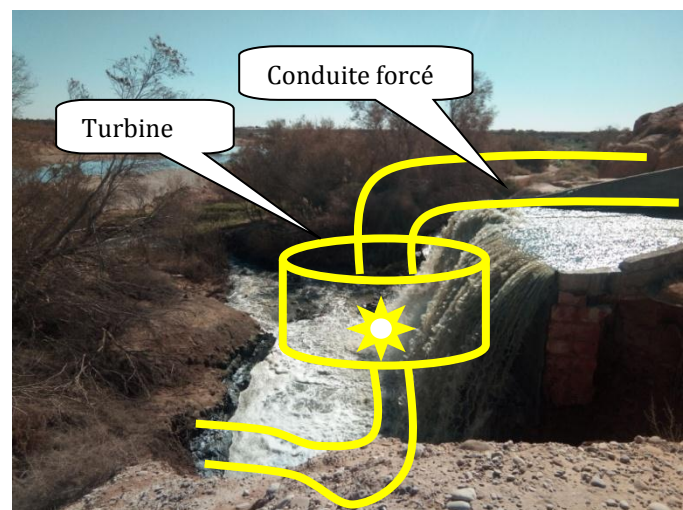
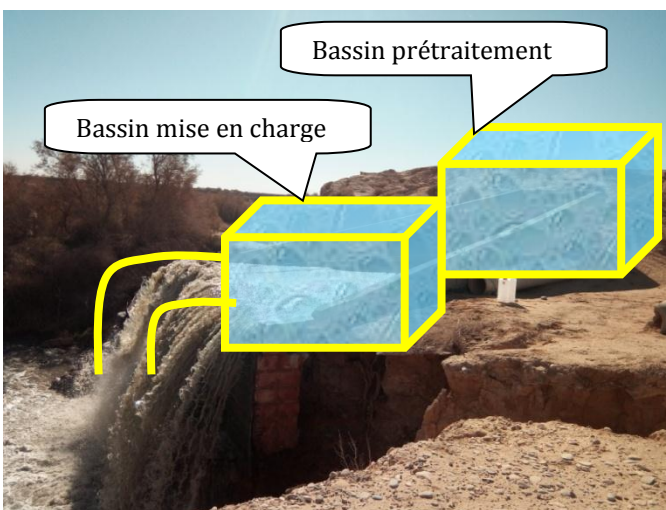


Figure 2: installation proposé au niveau de rejet

III.4. Rentabilité de site**III.4.1. Rentabilité énergétique****III.4.2. L'électricité produite de l'installation de site :**

On a la formule :

$$E_{prod} = \eta * \rho * g * H_{nette} * V_{eaux-usées}$$

Et On a :

$$\eta = 0,7$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (accélération due à la pesanteur (m/s}^2\text{))}$$

$$H_{nette} = 4 \text{ m}$$

$$V_{eaux-usées} = 5500 \text{ m}^3/\text{j} = 5500 * 365 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$= 20075000 \text{ m}^3 / \text{an}$$

Donc :

$$E_{prod} = 0.7 * 1000 * 9,81 * 4 * 20075000$$

$$= 55142010000 \text{ KWh/an}$$

$$= 5,514 \text{ TWh/an}$$

4.1.2 Calcule les pertes de charge :

✓ **Les pertes de charge singulière :**

$$HLs = \xi \times \frac{v^2}{2g} \quad (3.2)$$

HLs : pertes singulières, en [m]

ξ : 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].

- **Calcule le coefficient de pertes de charge :**

On a :

Un coude arrondi 90° de diamètre 1500 mm

R=1600mm (rayon de courbure du coude en mètres)

L=2000mm

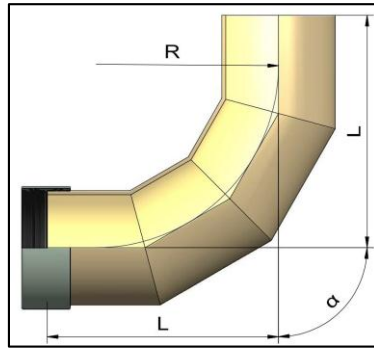


Figure 3 : Coude 61° - 90°

Pour un coude arrondi on utilise le tableau suivant :

R/D	ξ
0,5	0,9
0,75	0,45
1,0	0,35
1,5	0,25
2,0	0,2

Tableau 1 : coefficient de pertes de charge en fonction de rayon de courbure du coude et de diamètre intérieur du tuyau

On a :

$$R/D = 1600/1500 = 1,06 \rightarrow \xi$$

$$Q = 55000 / (24 * 60 * 60) = 0,636574074 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = \pi * R^2 = 3,14 * (1,5/2)^2 = 1,767145868 \text{ m}^2 \quad (S : \text{la section de la conduite circulaire pleine})$$

$$v = Q/S = 0,360227237 \text{ m/s}$$

Donc la relation (3.2) devient :

$$\Rightarrow H_{ls} = 0,002314846 \text{ m}$$

✓ **Les pertes de charge linéaire :**

Par la formule de Strickler :

$$HLf = v^2 \times \frac{L}{K^2 \times R h^{4/3}} \quad (3.3)$$

HLf : pertes linéaires, en [m]

v : vitesse de l'écoulement, en [m/s]

L : longueur de conduite considérée, en [m]

K : coefficient de rugosité selon Strickler, en [$m^{1/3}/s$], dépend du type de matériaux et de l'état de la surface de contact entre l'eau et la paroi.

R_h : le rayon hydraulique en [m]

$$R_h = \frac{\text{Section mouillée}}{\text{Périmètre mouillée}} = D/4 = 1,5/4 = 0,375 \text{ m (conduite circulaire pleine)}$$

$$L_{\text{conduite}} = 4 \cdot L_{\text{coude}} = 4 \cdot 2 = 2 \text{ m}$$

Pour une conduite en acier en bon état $K = 75 \text{ m}^{1/3}/s$

La relation (3.3) devient :

$$\Rightarrow H_{L_f} = 0,000170616 \text{ m}$$

III.4.1.2. Calcule la chute nette :

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 pratiquement en déduisant de la chute brute :

- les pertes de charge à l'amont et à l'aval de la turbine $\sum HL$;
- l'énergie cinétique résiduelle qui est perdue à la sortie de la turbine $v^2/2g$.

$$H_n = H_b - \sum HL - v^2/2g \quad (3.4)$$

$$v^2/2g = 0,006613846 \text{ m}$$

$$H_{L_s} = 0,002314846 \text{ m}$$

$$H_{L_f} = 0,000170616 \text{ m}$$

On néglige les pertes de charge ($(\sum HL + v^2/2g) \ll H$)

Donc $H_n = 4 \text{ m}$

III.4.1.3. La puissance hydraulique :

Le débit et la chute nette permettent de calculer la puissance hydraulique à disposition :

$$P_{hyd} = Q_t H_n \rho g \quad (3.5)$$

P : puissance, en [W]

Q_t : débit turbiné, en [m^3/s]

H_n : chute nette, en [m]

ρ : masse volumique de l'eau = 1000 [kg/m^3]

g : accélération due à la pesanteur = 9.81 [m/s^2]

Donc la relation (3.5) devient :

→ $P_{hyd} = 24979,1667 \text{ W}$

PRODUCTION HYDROÉLECTRIQUE

Le calcul du potentiel énergétique se base sur la formule suivante, qui permet de calculer l'énergie disponible:

$$E_{prod} = \eta * P * g * H_{nette} * V_{eaux\ usées} \quad (3.1)$$

Avec:

- E_{prod} (KWh/an) : électricité produite par an
- η (-) : rendement total de l'installation
- P $\{(\text{kg}/\text{m}^3)$: masse volumique de l'eau
- g (m/s) : constante gravitationnelle
- H_{nette} (M): chute nette
- $V_{eaux\ usées}$ (m^3/an): volume annuel d'eaux usées.

Le rendement total de l'installation est fixé pour ce calcul à $\eta = 0.7$, chiffre usuel pour les petites centrales hydroélectriques. Il est redéfini plus en détail pour l'évaluation économique.

III.4.1.3. Choix du type de turbine

Le choix du type de turbine se fait en fonction du débit nominal Q_n et de la chute nette H_n grâce au diagramme de la figure 3 :

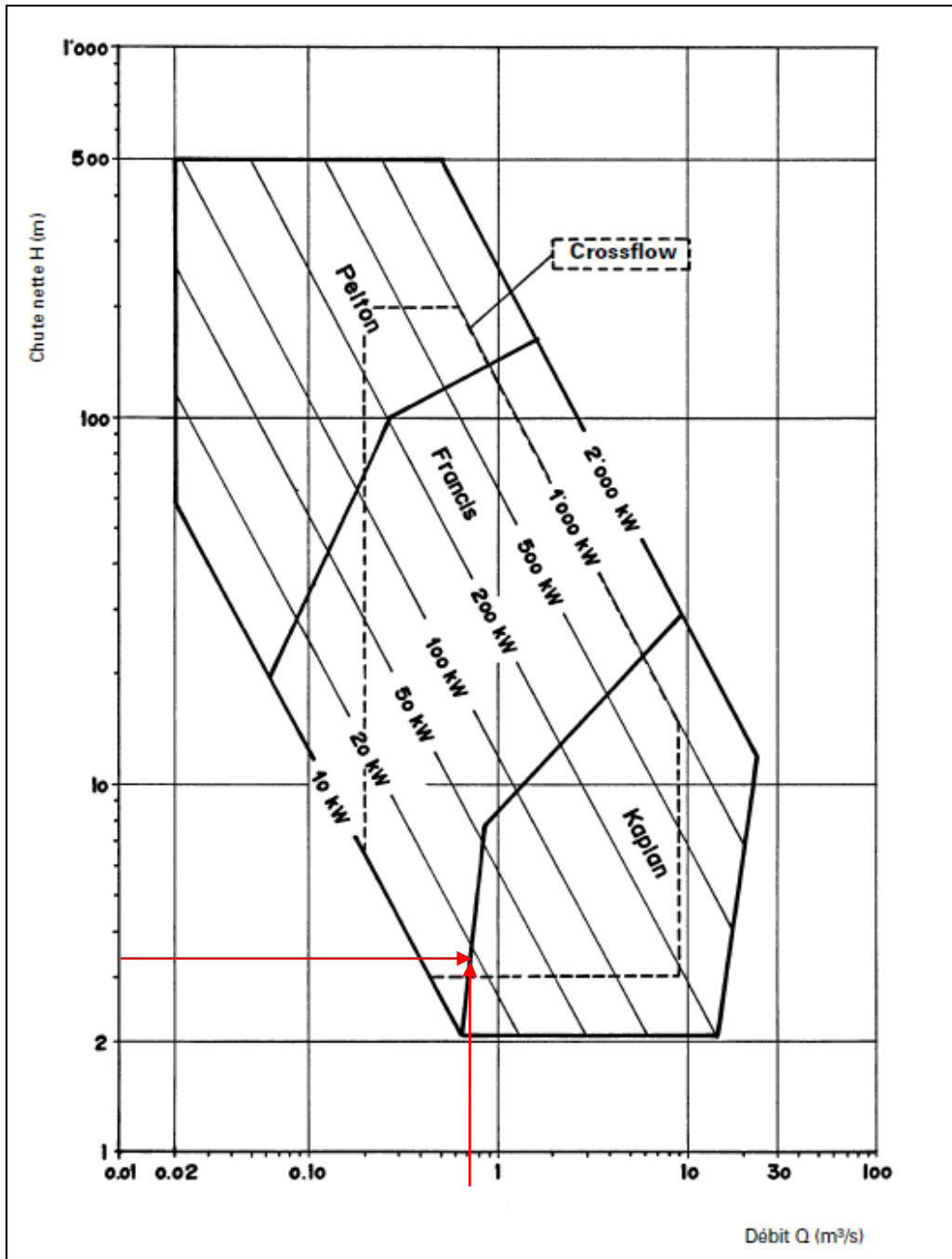


Figure 4 : Domaine d'utilisation des différents types de turbines (chutes nettes, débits, puissances)^[39]

On a :

$Q=0,636 \text{ m}^3/\text{s}$ et $H_{\text{nette}} = 4 \text{ m}$ par la projection → On choisit la turbine : **Crossflow (Banki)**

III.4.1.4. La puissance mécanique

La connaissance du rendement de la turbine permet de calculer la puissance mécanique :

$$P_{mec} = \eta_t P_{hyd} \quad (3.6)$$

$$P_{mec} = \eta_t Q t H n \rho g \quad (3.6')$$

Nom	Type	Rendement maximum	Débit min. turbinable	Chute brute jusqu'à	Voir fig.
Pelton	action	84 à 90%	10% de Q_{max}	l'axe du jet	3.5.1.a
Francis	réaction	84 à 90%	30% de Q_{max}	niveau aval	3.5.1.b
Kaplan	réaction	84 à 90%	20% de Q_{max}	niveau aval	3.5.1.b
Crossflow	action	78 à 84%	20% de Q_{max}	niveau aval ¹⁾	3.5.1.a
Pompe inversée	réaction	75 à 90%	débit fixe	niveau aval	-
¹⁾ avec aspirateur, sinon axe de la roue					

Tableau 2 : Caractéristiques des différents types de turbines, les valeurs supérieures des rendements concernant les turbines de grandes dimensions ^[39]

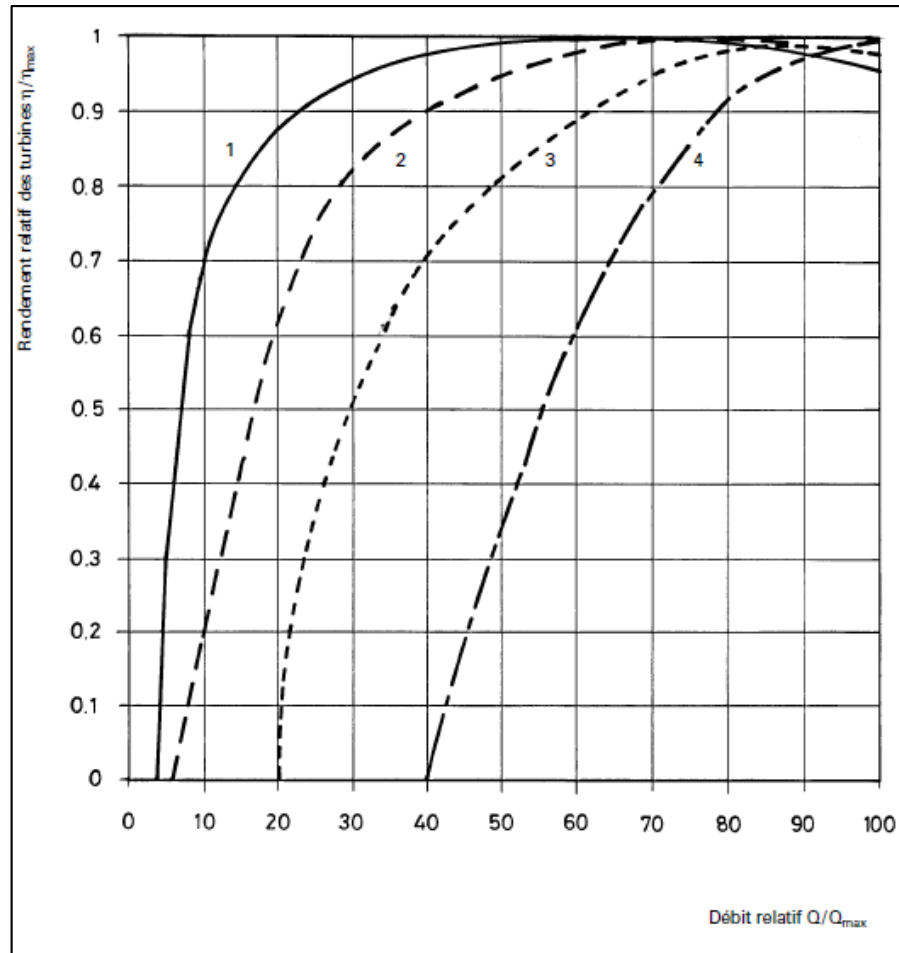


Figure 5: Forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables [39]

Tableau 2 → $\eta_{tmax} = 84\%$

Figure 5 → η_t (pour Q_{max}) = $0,98 * 0,84 = 0,82$

($Q/Q_{max}=0,636/0,636 = 100\%$ projection → $\eta_t = 0,82$)

→ $P_{mec} = 0,82 * P_{hyd} = 20482,91667 \text{ W}$

III.4.1.6.1. La puissance électrique

C'est la puissance directement disponible aux bornes du générateur.

Elle se calcule en introduisant le rendement du générateur.

$$P_{él} = \eta_g . P_{mec} \quad (3.7)$$

$$P_{él} = \eta_t . g . \eta_g . Q_t . H_n . \rho . g \quad (3.7')$$

La puissance électrique instantanée dépend du débit de la turbine.

$P_{él}$ [kW]	η_{gmax}
1 à 5	80% – 85%
5 à 20	85% – 90%
20 à 100	90% – 95%
> 100	95%

Tableau 4 : Rendement des générateurs à charge totale ^[39]

Tableau 4 → η_g pour $(Q_{max}) = 0.90$

$$P_{él} = 9.81 * 0,82 * 0.90 * 0,636 * 4 * 1000 = 18.434 \text{ [kW]}$$

< $P_{él} < 20$ [kW] choix du η_g correct.

III.4.1.6.2. Calcul de la production annuelle d'énergie

Production annuelle : 8760 heures / année

$$E_{annuelle} = 8760 * P_{él}$$


$$E = 18.434 * 8760 = 161487.315 \text{ KWh /an}$$

Conclusion

Pour notre travail qui a été approfondi sur le turbinage des eaux usées rejeté de la ville de Biskra. Une évaluation du potentiel de turbinage de ce système a été étudiée théoriquement pour évaluation de potentielle énergétique.

On conclue pour un volume d'eaux usées de 55 000 m³/j de la ville de Biskra avec une chute nette d'eau de 4m, et à l'aide d'une installation d'une turbine de type Banki, une production d'électricité environ de 161 487.315 KWh/an

Notre calcul donné un résultat fiable, que le turbinage des eaux usées c'est une source d'énergie renouvelable.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Chapitre IV :
ANALYSE DIMENSIONNELLE - SIMILITUDE ET
ESSAIS SUR MODELE

Introduction

Il est assez évident que l'analyse mathématique seule est insuffisante pour résoudre tous les problèmes que l'on peut rencontrer, en mécanique des fluides comme en bien d'autres domaines, et cela malgré les progrès énormes réalisés ces dernières années aussi bien dans le domaine de l'analyse numérique que dans celui des moyens de calcul.

Dans ces conditions, l'expérimentation reste encore bien souvent la façon la plus sûre, la plus rapide et la moins onéreuse pour résoudre un problème donné. Ce recoupés l'expérience n'est pas inutile lorsqu'une solution théorique a été obtenue, ne serait ce que pour en vérifier la validité, notamment au niveau des hypothèses.

D'autre part, dès que problèmes présente quelque complexité, il est certain que le choix judicieux des paramètres, l'analyse de la façon dont ils interviennent sont autant des 'éléments qui, aussi bien dans l'étude théorique que dans l'exploitation des résultats expérimentaux, sont essentiels.

IV.1. ANALYSE DIMENSIONNELLE :

L'analyse dimensionnelle est basée sur le principe fondamental très simple qu'une relation rationnelle des grandeurs physiques doit être dimensionnellement homogène, c'est-à-dire indépendante du système d'unités de mesure choisi.

IV.1.1. Théorème de Vashy Buckingham ou théorème des π : [40]

Ce principe de base est traduit par théorème de Vashy-Buckingham ou théorème des π que l'on peut énoncer ainsi :

Toutes fonctions G de p variables indépendantes x_1, x_2, \dots

x_p : mesurés par q unités fondamentales, et traduire la variation d'un phénomène ont fonction de p causes indépendantes, s'exprime nécessairement à partir d'une relation fonctionnelle de la forme :

$$G = X_1^{g_1} \cdot X_2^{g_2} \dots X_q^{g_q} \quad F(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_p)$$

Les variables x_1, \dots, x_q étant choisies dimensionnellement indépendantes.

Dans la pratique on choisit pour x_1, x_2, \dots, x_q les paramètres que l'on considère (H : la charge, Q : le débit, V : vitesse, p : pression, P : Puissance) comme essentiel pour le problème considéré et que l'on veut voir figurer explicitement dans l'expression de G.

IV.1.2 Similitude et les essais sur le modèle :

Si l'étude expérimentale est comme l'a vu, le plus souvent une nécessité, les en vraie

grandeur ne sont cependant possibles que dans nombre limité de cas.

La plupart du temps, l'étude se fait sur un modèle qui est une représentation à une échelle différente du système (prototype) que l'on désire expérimenter.

En hydraulique (construction portuaire, barrage, étude de navire en bassin de carène, turbine) tout comme en aérodynamique (étude de profile d'aile, d'avion en soufflerie, essais de structure de turbomachine ...) les essais sur modèle constituent un moyen d'investigation courant et même systématique pour les projets de quelque importance.

La possibilité d'extrapolation au système réel des résultats de l'étude faite sur modèle implique outre une certaine analogie de forme entre modèle et prototype le respect de certains principes de base .cela sous entend tout d'abord que l'on puisse faire correspondre choisie défini un ensemble de points homologues ou correspondants et nous dirons qu'il a similitude entre une grandeur g_1 (M_1, t_1) du prototype et la grandeur homologue g_2 (M_2, t_2) du modèle s'il existe un rapport constant k_g entre ces 2 grandeurs.

Application sur le modèle réduit

Nous commencerons par l'analyse dimensionnelle qui, au sens large, est l'étude de la forme générale des relations existant entre les grandeurs caractérisant un phénomène physique. Et pour facilité le travail, nous avons construit un modèle réduit qui base sur les installations qui nous avons proposé à l'échelle réelle:

- Un bassin de prétraitement de dimension (15cmx15cm).
- Un bassin de mise en charge de dimension (15cmx15cm)..
- une conduite forcée de DN 80 en PVC d'une longueur 0.3m et d'une hauteur de 0.5 m par apport l'horizontal (l'entrée de la turbine), ainsi pour notre installation qu'on doit réaliser de :
 - Un coude 90° (arrondi) de diamètre 80 mm de type PVC placé à la sortie de cette conduite (conduite forcée) ;
- Une petite turbine.
- Conduite verticale DN 80 en PVC d'une longueur 0.5m.
- Deux coude 90° (arrondi) de diamètre 80 mm de type PVC placé à la sortie de cette conduite ;
- Conduite horizontale DN 80 en PVC d'une longueur 0.2m.

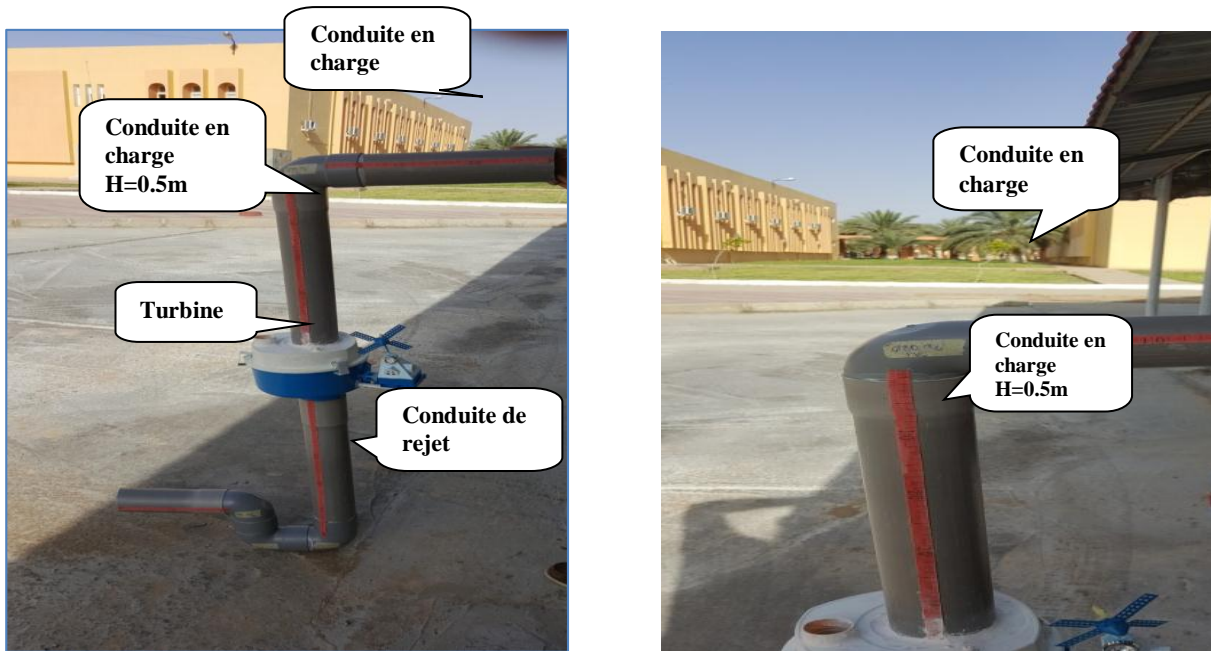


Figure 6 : le Modèle réduit

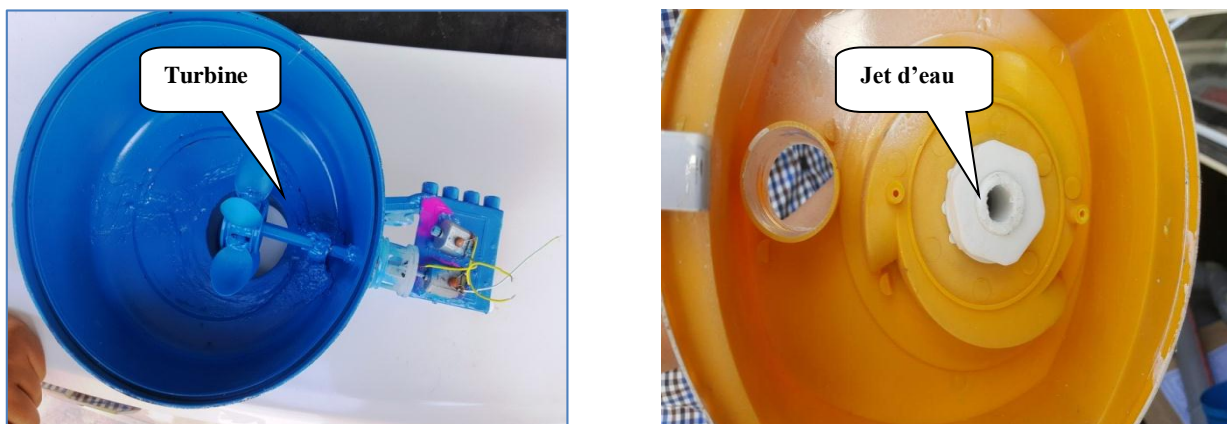


Figure7 : turbine

Malgré l'évaluation théorique du potentiel de turbinage des eaux usées de la ville de Biskra précédente, il est souvent très difficile de calculer numériquement ou théoriquement le fonctionnement de l'ouvrage ou le comportement de l'écoulement, il peut alors être intéressant de précéder à des essais à l'échelle réduite.

Donc, nous avons utilisé les données obtenues à l'échelle réduite pour déduire les caractéristiques du phénomène en grandeur réelle.

Choix de la formulation la plus rationnelle :[41]

IV.1. Lois de similitude :

IV.1.1. similitude géométrique :

La similitude géométrique définit des dimensions linéaires du modèle d_m et du prototype,

IV.1.1.1 Echelle de modèle : $\lambda = \frac{d_m}{d_p}$

Donc ; échelle de modèle : $\lambda = \frac{D_m}{D_p} = \frac{80}{1500} = 0.05 = \frac{1}{20}$

IV.1.2. similitude cinématique :

la similitude cinématique exige que les vitesses et les accélération soient dans un rapport défini et constant on tout les points de l'écoulement dans le modèle et dans le prototype si t_1 correspond temps mis à parcourir la distance l_1 dans le modèle .

t_2 Correspond au temps mis à parcourir la distance l_2 dans le prototype .

Alors

- L'échelle de temps $\lambda_t = \frac{t_2}{t_1} = \frac{t_m}{t_p}$
- L'échelle de vitesse $\lambda_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_m}{v_p}$

On peut écrire par définition que $v_m = \frac{l_m}{t_m}$ et que $v_p = \frac{l_p}{t_p}$, on division ces équations on peut écrire que $\frac{v_m}{v_p} = \lambda_v = \frac{l_m}{l_p} =$

$$\frac{t_p}{t_m} = \frac{\lambda}{\lambda_t}$$

- L'échelle d'accélération $\lambda_a = \frac{a_1}{a_2} = \frac{v_m}{v_p}$

Pour les accélérations on peut écrire que : $\gamma_m = \frac{l_m}{t_2} , \gamma_p = \frac{l_p}{t_2}$

On division ces équations on peut écrire que :

$$\frac{\gamma_m}{\gamma_p} = \lambda_a = \frac{l_2}{l_1} \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^2 = \frac{\lambda}{\lambda_t^2}$$

IV.1.3. Similitude dynamique :

La similitude dynamique est la similitude des forces, c'est à dire que des points matériels homologues sont soumis à des systèmes de forces homologues.

A partir des résultat obtenue par les lois similitude, nous pouvons démontrer les formelles usuelles suivants :

- temps : $\lambda_t = \sqrt{\lambda}$
- vitesse : $\lambda_v = \sqrt{\lambda}$
- débit : $\lambda_Q = \lambda_v \cdot \lambda^2 = \lambda^{5/2}$
- accélération : $\lambda_a = \frac{\lambda}{\lambda_t^2} = 1$
- force : $\lambda_f = \lambda_m \cdot \lambda_v = \lambda_p \cdot \lambda^3$
- pressions : $\lambda_p = \frac{\lambda_f}{\lambda^2} = \lambda_f \cdot \frac{\lambda}{\lambda_t} = \lambda_f \cdot \lambda^{7/2}$

A partir des résultats obtenus par les lois de similitudes, nous pouvant démontrer les formules suivants :

- 1) A partir de l'échelle de temps de modèle réduit : $\lambda_t = \sqrt{\lambda} = \frac{t_m}{t_p}$

Nous pouvant obtenir le temps de prototype.

$$t_p = \frac{t_m}{\sqrt{\lambda}}$$

- 2) À partir de l'échelle de vitesse de modèle réduit $\lambda_v = \sqrt{\lambda} = \frac{v_m}{v_p}$ Nous pouvant obtenir la vitesse de prototype.

$$v_p = \frac{v_m}{\sqrt{\lambda}}$$

- 3) À partir de l'échelle de débit de modèle réduit $\lambda_Q = \frac{Q_m}{Q_p} = \lambda_v \cdot \lambda^2$

Nous pouvant obtenir le débit de prototype.

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{v_m}{v_p} \cdot \lambda^2 \quad Q_p = \frac{Q_m}{\lambda_v} \cdot \frac{1}{\lambda^2}$$

- 4) À partir de l'échelle de l'accélération : $\lambda_a = \frac{a}{a_t} = \frac{\lambda}{\lambda_t^2}$

Nous pouvant obtenir l'accélération de prototype.

$$\lambda_a = \frac{\lambda}{\lambda_t^2} = 1$$

- 5) À partir de l'échelle de forces :

$$\lambda_f = \lambda_m \cdot \lambda_v = \lambda_p \cdot \lambda^3 = \frac{F_m}{F_p} = \lambda_f \cdot \lambda^3$$

Nous pouvant obtenir la force de prototype.

$$F_p = \frac{F_m}{\lambda_f} \cdot \frac{1}{\lambda^3}$$

- 6) À partir de l'échelle de pressions :

$$\lambda_p = \frac{\lambda_f}{\lambda^2} = \lambda_p \cdot \lambda = \frac{P_m}{P_p}$$

Nous pouvant obtenir la pression de prototype.

$$P_p = \frac{P_m}{\lambda_p \cdot \lambda}$$

- 7) À partir de l'échelle de puissance :

$$\lambda_P = \lambda_f \cdot \frac{\lambda}{\lambda_t} = \lambda_f \cdot \lambda^{7/2} = \frac{P_m}{P_p}$$

Nous pouvant obtenir la puissance de prototype.

$$P_p = \frac{P_m}{\lambda_f} \cdot \frac{1}{\lambda^{7/2}}$$

Conclusion et recommandation :

Bien entendu, qu'à partir des lois de similitude de l'échelle réduit, nous avons démontrées des relations de prototype en fonction de l'échelle de modèle (λ). En fin, on procède à une estimation qui doit être apportées aux résultats du fait des paramètres physiques précédents en première approximation.

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text. The border is composed of four main sections, one for each side, with smaller decorative elements at the corners and midpoints.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette mémoire de fin d'étude a été évalué le potentiel hydroélectrique sur les eaux usées de la ville de Biskra, à l'aide de la création d'un modèle réduit pour une similitude réel. Sur la base des résultats des lois de similitude, nous avons envisagé des relations entre le modèle réduit et le prototype.

En effet, les hypothèses utilisées dans ce travail se basent sur les données globales centralisées. Cependant, les conditions locales (par exemple les caractéristiques détaillées des réseaux de collectes ou les données de débits et la hauteur) peuvent influencer les résultats obtenus, ce qui montre l'importance d'études plus détaillées pour prendre en compte les spécificités propres à chaque installation.

A partir le débit et la charge de rejet de la ville de Biskra, montre que le turbinage des eaux usées offre un potentiel intéressant qui peut utiliser.

Finalement, les évolutions futures technologiques sont à surveiller : de nouvelles turbines hydrauliques adaptées aux petites puissances pourraient rendre rentables des sites jusqu'à présent non considérés, et rendre la récupération d'énergie hydraulique des eaux usées plus courante. Dans le cadre de la transition énergétique, la production d'hydroélectricité sur la base des eaux usées offre ainsi un potentiel intéressant, non seulement économique, mais également en termes de communication avec la population en mettant en place une production locale, pratiquement sans impact sur l'environnement.

A decorative rectangular border composed of intricate black and white floral and scrollwork patterns, framing the central text.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : www.energies-renouvelables.org
- [2] Amory B, LOVINS. Stratégies énergétiques planétaires. Édition Christian Bourgeois, Paris 1975, page 97.
- [3] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/le-developpement-durable/qu-est-ce-qu-une-energie-renouvelable> 17/03/2017
- [4] Quinzième inventaire Édition 2013 La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde ; réalisé par Observ'ER et la Fondation Énergies pour le Monde avec le soutien financier d'EDF.
- [5] Le Rapport sur le statut mondial des énergies renouvelables 2015
- [6] Le Rapport sur le statut mondial des énergies renouvelables 2016
- [7] BOUBOU Naima, « Eau, environnement et énergies renouvelables : vers une gestion intégrée de l'eau en Algérie », Thèse de doctorat en sciences de gestion, Université Abou bakr Belkaid de Tlemcen, 2015.
- [8] « Guide des dispositifs d'appui à l'entrepreneuriat vert », Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Juillet 2012, P13.
- [9] « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Ministère de l'Énergie et des Mines, Mars 2011, P 28-29.
- [10] Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER), Alger, 2015.
- [11] Ministère des Ressources en Eau (MRE), Alger, 2015.
- [12] Société de l'Eau et de l'assainissement d'Oran (SEOR), 2015.
- [13] Office Nationale de l'Assainissement (ONA), Alger, 2015.
- [14] Le triptyque des industries vertes», Revue Produire Propre du Centre national des Technologies de Production Propre, Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, N°12, Juin 2014, P 10.
- [15] <https://www.picbleu.fr/page/les-vraies-energies-renouvelables-soleil-vent-eau> 17/03/2017
- [16] <http://www.andi.dz/index.php/fr/les-energies-renouvelables> 16/03/2017
- [17] A. Attar, "Les énergies renouvelables" ancien PDG de Sonatrach et ancien Ministre des Ressources en Eau.
- [18] Soltane BELAKEHAL, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables ». Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE CONSTANTINE, 10/06/ 2010.

- [19] Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique mars 2011 Ce document a été élaboré par le ministère de l'énergie et des mines Conception et réalisation SATINFO Société du Groupe Sonelgaz
- [20] ABDEDDAIM Sabrina, « Optimisation de deux systèmes de génération renouvelable (photovoltaïque et éolienne) connectés au réseau ». Thèse de doctorat ; 19/12/2013
- [21] Energie solaire photovoltaïque.doc, B. Flèche - D. Delagnes, juin 07, p18
- [22] F. POITIERS «Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne-Machine asynchrone à cage autonome-Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau». Thèse de Doctorat Université de Nantes, 2003.
- [23] TIR ZOHEIR «Contribution à l'Etude d'un Aérogénérateur Asynchrone en Cascade». Mémoire de magister Université Ferhat Abbas de Setif, 2010.
- [34] La biomasse - Énergies nouvelles et renouvelables Un élément clé au service d'une croissance durable, Union des Industries Chimiques, PARIS, 2013
- [25] Paul MATHIS, Biomasse énergie, pollution atmosphérique et santé, JUIN 2014, 9 p
- [36] ENGIE RÉSEAUX DIFFUSEUR DE CHALEUR RENOUELEBLE <http://www.engie-reseaux.fr/lexique/geothermie/>
- [27] Observ'ER : http://www.energies-renouvelables.org/f-energie_geothermie.asp
- [28] Pr. Mohamed Boumehraz. (2015_2016), Énergies et Environnements, Département de Génie Électrique, UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER BISKRA, 120 p
- [29] B. Multon, A. Clément, M. Ruellan, J. Seigneurbieux, H.B. Ahmed, 2006. Systèmes de conversion des ressources énergétiques marines. « Les Nouvelles Technologies de l'Énergie », Hermès Publishing, ISBN 2-7462-1376-1.
- [30] Henri BOYE CGEDD, Emmanuel CAQUOT CGEIET, Pascal CLEMENT CGEIET, Loïc de LA COCHETIERE CGEIET, Jean-Michel NATAF CGEDD, Philippe SERGENT CETMEF. (2013), Rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables, république française, 260 p.
- [31] SAGE Haute Vallée de l'Aude---ETAT INITIAL---. (2010), Cahier 4 : EVALUATION DU POTENTIEL HYDROELECTRIQUE, Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières, 29p.
- [32] G. V. Lucien MEGNINT, Robert REY, "Turbines hydrauliques," Technique de l'ingénieur, vol. BM4 405-1
- [33] P. LA VY, "Production d'énergie par petites centrales hydroélectriques," technique de l'ingénieur, vol. D4009-1.

- [34] PAUL MAKANGA KOUMBA. (2013). MÉMOIRE, « ÉTUDE D'INTÉGRATION DE SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE À UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE AUTONOME », UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, 173 p.
- [35] MHyLab. (2008), CADASTRE HYDRAULIQUE DU CANTON DE VAUD EAUX DE SURFACE EAUX DE RESEAU, Service de l'Environnement et de l'Energie (SEVEN), 75p
- [36] http://www.energies-renouvelables.fr/avantage_inconvenient_energies_reouvelables.php 12/03/2017
- [37] Mathieu Jenny. (2010-2011) Machines à fluides – Turbomachines. Cours de l'école des Mines de Nancy, Deuxième année Département Energie : Production, Transformation, 77 p
- [38] André L. JAUMOTTE, Pierre DECOCK, Lucien MEGNINT et Georges VERDURAND. Turbines hydrauliques Description et évolution [B 4 407], Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique, 19 p
- [39] le Programme d'action énergies renouvelables (PACER) de l'Office fédéral des questions conjoncturelles (1995) Turbines hydrauliques, 129 p.
- [40] Société Hydraulique D'études Et De Missions D'assistance (SHEMA) et EDF (2010) Dimensionnement des Turbines. Lycée Chevrollier, 30p.
- [41] R. Chenal, ingénieur-conseil, Clarens, C.-A. Vuillerat et J. Roduit, B+C Ingénieurs, Montreux. (2000) L'Eau usée génératrice d'électricité. Direction du projet DIANE, Petites centrales hydrauliques, 84p.

Résumé :

L'intégration des énergies renouvelables dans le mixe énergétique national constitue un enjeu majeur dans la perspective de préservation des ressources fossiles, de diversification des filières de production de l'électricité et de contribution au développement durable. Dans ce contexte, la petite hydroélectricité sur les réseaux se développe rapidement et présentent l'avantage de ne pas être soumis à un régime de concession et de ne générer aucun impact sur l'environnement, ce qui en facilite la réalisation. Parmi les installations de petite hydroélectricité figurent les installations de turbinage des eaux usées, qui consistent à produire de l'hydroélectricité à partir des eaux usées de rejet de la ville de Biskra.

Cette mémoire à été consacré pour la création d'un modèle réduit à fin de faciliter l'évaluation de potentiel hydroélectrique des eaux usées de la ville de Biskra sur un modèle de prototype.

Mots clés : Energie renouvelable, turbinage, potentiel hydroélectrique, eaux usées, modèle réduit,

ملخص

إدماج الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الوطني يمثل تحديا كبيرا في ضوء الحفاظ على الموارد الأحفورية، والتنوع في إنتاج تيارات الكهرباء والمساهمة في التنمية المستدامة. في هذا السياق، الطاقة الكهرومائية الصغيرة على الشبكات تنمو بسرعة ولها ميزة عدم خضوعها لنظام الامتيازات ولا تنتج أي تأثير على البيئة، مما يسهل تحقيقها. ومن بين مرافق الطاقة الكهرومائية الصغيرة تشمل تركيب توربينات المياه المستعملة والتي هي لإنتاج الطاقة الكهرومائية من مياه الصرف الصحي. هناك عدة احتمالات لإنتاج الطاقة الكهرومائية على شبكات الصرف الصحي. توربين مياه الصرف الصحي قبل أن يتم التعامل معها في محطة معالجة مياه الصرف الصحي تم تخصيص هذه المذكرة لإنشاء نموذج مصغر من أجل تسهيل تقييم الطاقة الكهرومائية لمياه الصرف الصحي لمدينة بسكرة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة، توربينات، المياه المستعملة، الطاقة الكهرومائية، نموذج مصغر.