



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE DES ELECTRONIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2020

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN ELECTRTECHNIQUE

Option : Energies Renouvelables En Electrotechnique

Par

**Nom et Prénom :**

**ZAHAF Hichem**

**RAHOU Ibrahim**

#### Intitulé du sujet

**Dimensionnement et simulation d'une système multi-sources (géothermique, capteur Cylindro-parabolique et STEP) relie au réseau pour alimenter la ville touristique de BOUHANIFIA  
mascara**

Soutenu le.../... 2020

devant le jury composé de :

Président : Nom et Prénom Grade Université de .....

Examineur : Nom et Prénom Grade Université de .....

Rapporteur : Nom et Prénom Grade Université de .....

Rapporteur : Nom et Prénom Grade Université de .....

Année Universitaire 2019/2020

## ملخص:

إن سعي الإنسان لاستغلال شتى أنواع الطاقات المتوفرة في مختلف المجالات و الأماكن لتوليد الكهرباء و مع تقدم العلوم و التطور الديمغرافي الهائل إختلفت أنظمة الطاقة و أصبح من السهل استغلال شتى مصادر الطاقة لسد احتياجات الإنسان من كهرباء.

رغم ذلك, يبقى الإنسان في مواجهة تحديات عصره و خصوصا كون مختلف المصادر ملوثة للبيئة, لذلك يسعى الإنسان لسد حاجياته من طاقة كهربائية ذات كفاءة عالية من خلال المصادر الطاقوية الطبيعية مع الحفاظ على البيئة حيث يشغل هذا الموضوع اذهان مختلف الباحثين, العلماء و الشركات الصناعية الكبرى لتقديم نماذج و حلول طاقوية مبدعة

تمثل الأنظمة الهجينة مثلا حيا لهذه الحلول, حيث تمكن من استغلال أكثر من مصدر طاقي واحد لرفع كفاءة الأنظمة الكهربائية, إما عن طريق ربط إنتاجية مصادر ذات طبيعة مختلفة ( طاقة الحرارة الأرضية, طاقة شمسية, طاقة الرياح) أو عن طريق استغلال مختلف التقنيات من مصدر طاقي واحد ( طاقة حرارية شمسية, طاقة ضوئية شمسية)

كلمات مفتاحية : أنظمة الطاقة, أنظمة هجينة, الطاقة المتجددة, طاقة كهربائية.

## Résumé :

---

Avec le développement humain et l'adaptation des ressources disponibles, quel que soit le type ou le lieu, pour créer et utiliser l'énergie, sous toutes ses formes, et avec la révolution de la science et sa vitesse de croissance exponentielle, nous sommes arrivés à un point où les systèmes énergétiques sont si nombreux qu'il est facile de choisir, d'adapter et de fournir de l'énergie aux consommateurs.

Pourtant, un aspect apparaît toujours comme un défi que nous devons relever : L'écologie de l'énergie, la capacité à fournir une énergie propre mais efficace grâce aux ressources naturelles sans nuire à la planète, est devenue l'intérêt de nombreux chercheurs, entreprises et grandes industries, ce qui a conduit à de nombreux modèles énergétiques réussis.

L'hybridation des systèmes offre un grand avantage auxdits systèmes, soit à des endroits disposant de ressources multiples (eau + soleil), soit à une ressource utilisée de manière multiple (rayons du soleil et chaleur du soleil).

Mots clés : Les énergies renouvelables, Les system hybrides, L'énergie électrique, Hybridation.

## Abstract:

---

With human developing and adapting available resources, no matter the type or location, to create and utilize energy, in all its forms, and with science's revolution and exponential speed of growth, we arrived at point where energy systems are so numbered that it is easy to pick, adapt and provide energy for consumers.

Yet, one aspect appears always as a challenge that we have to fulfill: Greenness of energy, the ability to provide clean yet efficient energy through natural resources without harming the planet became the interest of many researchers, companies, and big industries, leading to many successful energetic models.

The hybridization of systems offers great advantage to in said systems, either to locations with multiple resources (water + sun) or with one resource used in multiple way (sun's rays and sun's heat).

Key words: Energy systems, hybrid system, renewable energy, hybridization, electric energy.

## Dédicaces

---

*Je dédie ce mémoire de fin d'étude : A mes chers parents, Ma très chère mère qui m'a toujours apportée son amour et son affection, mon père qui m'a toujours encouragée, conseillée et soutenue dans mon travail que Dieu les gardes pour moi. À mon université et aux enseignants qui ont rendu cela possible.*

*A tous mes enseignants, qui m'ont suivie de mes premières années d'école*

*Jusqu'ici.*

*Pour ma classe pour les moments inoubliables.*

*Pour tous ceux qui m'ont aidé.*

## Remerciements

---

*En tout premier, je remercie Dieu qui m'a donné la santé, et la volonté pour Poursuivre mes études.*

*Remerciements vont à mon promoteur M. Bekouche Ben Aïssa professeurs à l'Université de Mostaganem, qui a accepté de diriger ce mémoire et d'avoir contribué par son savoir-faire et son sérieux à l'enrichissement de ce modeste travail.*

*Mes remerciements sont aussi dirigés aux membres du jury, le professeur ..... (Président) et Dr..... pour avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire.*

*Un grand remercie à mes très chers amis de master 2 Energie renouvelable en électrotechnique.*

*Mille mercis à tous les membres de nous famille qui nous soutenons au long de nous travail.*

*Enfin, j'exprime ma vive et profonde reconnaissance à tous ceux que j'ai oubliés de citer et qui, de près ou de loin se sont associés pour l'élaboration de ce travail, que ce soit sur le plan éducatif ou instructif.*

*Je voudrais également remercier le service client d'Epsilon pour m'avoir fourni une version gratuite d'Epsilon Professional.*

## List des Figures et des tableaux

---

### FIGURE :

Figure I-1 Pourcentages de capacité installée de différentes sources d'énergies renouvelables en 2017 dans le monde.....	4
Figure I-2 Les différentes couches de la terre.....	4
Figure I-3 Le gradient Géothermique.....	5
Figure I-4 Carte mondiale du flux de chaleur à la surface du globe.....	6
Figure I-5 Les zones géothermiques principales en Algérie.....	6
Figure I-6 La gradient géothermique sur le Sahara Algérien.....	7
Figure I-7 Le gradient géothermique sur le nord d'Algérie.....	7
Figure I-8 Les zones géothermiques important en Algérie.....	7
Figure I-9 Schémas simplifié d'une cycle binaire géothermique cycle Kalina.....	9
Figure I-10 Schéma descriptif d'une centrale géothermique à fluide.....	10
Figure I-11 Cycle direct a contre-pression.....	10
Figure I-12 Le mouvement de la terre-soleil.....	12
Figure I-13 Schéma descriptif de L'équateur.....	13
Figure I-14 La latitude et la longitude.....	13
Figure I-15 La répartition du rayonnement solaire sur l'atmosphère terrestre.....	14
Figure I-16 La phénomène de filtrage de l'atmosphère Solaire(11).....	14
Figure I-17 L'azimut et la hauteur du soleil.....	14
Figure I-18 La masse d'air optique.....	15
Figure I-19 Irradiation solaire global.....	16
Figure I-20 Le gisement solaire en Algérie.....	16
Figure I-21 Principe de fonctionnement d'un system solaire thermique.....	17
Figure I-22 Central solaire a collecteurs cylindro-parabolique.....	18
Figure I-23 Centrale solaire aux collecteurs de Fresnel.....	18
Figure I-24 Collecteur parabolique.....	19
Figure I-25 Centrale a tour.....	19
Figure I-26 Schéma de fonctionnement d'un barrage hydroélectrique.....	20
Figure I-27 Les ressource hydraulique en Algérie.....	21
Figure I-28 Les principes de fonctionnement d'une centrale STEP.....	22
Figure I-29 Les types des turbines hydraulique.....	22
Figure II-1 Configuration d'une centrale solaire a DSG.....	26
Figure II-2 Schéma de fonctionnent du system multi source.....	26
Figure II-3 Un collecteur cylindro-parabolique.....	28
Figure II-4 Architecture a recirculation.....	30
Figure II-5 L'architecture Once-through.....	32
Figure II-6 Le changement de phase dans le récepteur.....	32
Figure II-7 Architecture à réinjection.....	33
Figure II-8 Le cycle idéal de Rankine.....	34
Figure III-1 La situation géographique de Bou-Hanifia.....	38
Figure III-2 Vue aérienne de la ville de Bou-Hanifia sur Google Mapsyh.....	39
Figure III-3 L'évolution de l'irradiation direct normal DNI.....	39
Figure III-4 La variation horaire de l'irradiation normale Directe (DNI).....	39
Figure III-5 Le barrage de Bou-Hanifia.....	40
Figure III-6 Schéma global du system multi source.....	40
Figure III-7 Schéma de fonctionnement d'un system hybride solaire-géothermique.....	41
Figure III-8 Configuration du champ solaire.....	41



## Liste des Tableaux

Figure III-9 Bilan énergétique de la turbine à vapeur .....	42
Figure III-10 L'influence de la température sur le rendement du collecteur .....	43
Figure III-11 L'évolution horaire d'irradiation directe normale .....	44
Figure III-12 La variation annuelle d'irradiations directes normales .....	44
Figure III-13 La configuration des collecteurs solaire .....	45
Figure III-14 principe de fonctionnement d'un station STEP .....	46
Figure III-15 La puissance électrique annuelle produite par la centrale hybride.....	47
Figure III-16 La puissance électrique produite par la central hybride à 17 juillet.....	47
Figure III-17 La puissance électrique produite par la central hybride a 19 Février.....	47
Figure III-18 Les diffèrent turbines hydrauliques.....	48
Figure III-19 La turbine HLA551-LJ110 .....	48
Figure III-20 Exemple sur la répartition en puissance de la production électrique .....	50
Figure III-21 Algorithmme de la gestion d'énergie .....	51
Figure III-22 La configuration de la centrale hybride.....	52
Figure III-23 le Modèle de la centrale hybride .....	52
Figure III-24 Les paramètres solaires de la simulation .....	53
Figure III-25 La Production électrique de la centrale Hybride pour le mois de juillet.....	53
Figure III-26 La Production électrique de la centrale Hybride pour le mois de février.....	54
Figure III-27 L'énergie hydraulique stockée par rapport à l'énergie électrique mensuelle produite par la centrale .....	54
Figure III-28 La puissance moyenne consommée .....	55
Figure III-29 La répartition des puissance consommées.....	55
Figure III-30 L'énergie produite par le system ENR par rapport a l'énergie consommée.....	56
Figure III-31 Le fonctionnement du system multi source en juin (irradiation forte).....	56
Figure III-32 Le fonctionnement du system multi source en février (irradiation faible).....	57
<u>TABLEAUX :</u>	
Tableau I-1 L'énergie thermique des principales sources chaudes.....	8
Tableau I-2 La distribution des ressources hydraulique en Algérie.....	21
TableauIII-1 Les caractéristique Techniques de la turbine EENKS 32/36/80-3 .....	42
Tableau III-2 Les caractéristiques techniques du collecteur Eurothrough ET100.....	43
Tableau III-3 La centrale hybride Géothermique-solaire .....	45
Tableau III-4 Une centrale solaire thermique traditionnelle.....	46
Tableau III-5 Les caractéristiques techniques de la turbine HLA551-LJ110 .....	48
Tableau III-6 Descriptions de la station STEP .....	49

## Nomenclature :

---

STEP	: Station de Transfer d'Energie par pompage.
DSG	: Génération directe de vapeur (Direct Steam génération).
DNI	: L'irradiation normale directe (Direct normal irradiation).
ORC	: Cycle organique de Rankine (Organic Rankine cycle).
CCP	: Concentrateur Cylindro-Parabolique.
$I_h$	: Le rayonnement direct reçu par une surface horizontale. (W/m <sup>2</sup> )
$D_h$	: Le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale. (W/m <sup>2</sup> )
$G_h$	: Le rayonnement global reçu par une surface horizontale.(W/m <sup>2</sup> )
$R_d$	: Le rayonnement direct reçu par un plan incliné. (W/m <sup>2</sup> )
$D_c$	: Le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par Un plan incliné.(W/m <sup>2</sup> )
$D_s$	: Le rayonnement diffus isotrope reçu par Un plan incliné (W/m <sup>2</sup> )
Rb	: Facteur d'inclinaison.
Se	: La surface effective d'un réflecteur du capteur cylindro-parabolique.(m <sup>2</sup> )
$q_{absorbe}$	: L'Energie absorbée par le réflecteur du capteur Cylindro parabolique.(J)
$\rho_m$	: Facteur de réflectivité du miroir.
$\alpha$	: Coefficient de l'absorption du tube de l'absorbeur.
$\tau$ :	: Coefficient de transmission de la couverture.
$k(\theta)$	: Angle incidence modifié.
$X_{th,o}$	: La quantité de vapeur de sortie.
A	: La pression nominale du vaporiseur. (Pa)
$h_0, h_i$	: Sont les valeurs des enthalpies massiques d'entrée et de sortie. (KJ/Kg)
$h_{sat,l}$	: L'enthalpie massique de saturation liquide.(KJ/Kg)
$h_{sat,v}$	: L'enthalpie de saturation vapeur.(KJ/Kg)
$Q_{feed}$	: Le débit massique d'eau alimentaire. (Kg/s)
$h_{feed}$	: Enthalpie massique d'eau alimentaire.(KJ/Kg)
$Q_{recir}$	: Le débit massique de recirculation.(Kg/s)
$h_{recir}$	: L'enthalpie massique de l'eau recirculée.(KJ/Kg)
U	: L'Energie interne.(J)

$(pv/J)$	: L'énergie d'écoulement.(J)
$m$	: Le débit massique de vapeur.(Kg/s)
$h_1, h_2$	: Les enthalpies spécifiques aux conditions d'entrée et de sortie de la turbine respectivement. (KJ/Kg)
$h_f$	: Enthalpie d'eau d'alimentation water.(KJ/Kg)
$P_{h \rightarrow p}(t)$	: La puissance de charge du générateur hybride à la pompe.(W)
$h$	: La hauteur manométrique.(m)
$g$	: L'accélération gravitaire.(9,8 $m/s^2$ )
$r$	: La densité de l'eau.(1000 $kg / m^3$ )
$hp$	: L'efficacité globale de pompage.
$cp$	: Le coefficient de pompage de l'eau de l'unité pompe / moteur.( $m^3 / kWh$ )
$ht$	: L'efficacité globale de l'ensemble turbine / générateur.
$qt (t)$	: Le débit volumétrique d'eau entrant dans la turbine.( $m^3 / s$ )
$ct$	: Le coefficient de génération de turbine. ( $kWh / m^3$ )
$Ec$	: La capacité de stockage d'énergie d'un réservoir d'eau.(kWh)
$n_{day}$	: Le nombre de jours d'autonomie.
$E_{load}$	: L'énergie de charge quotidienne consommée.
$V$	: Le volume ou la capacité de stockage de l'eau réservoir.( $m^3$ )
$\alpha$	: La perte par évaporation et fuite.
$Hg$	: L'enthalpie spécifique de l'eau géothermique.(KJ/Kg)
$H_{entree}$	: L'enthalpie d'eau à l'entrée de la turbine à vapeur.(KJ/Kg)
$P_{entree}$	: La puissance d'eau à l'entrée de la turbine à vapeur.(KJ/Kg)
$P_{csp}$	: La puissance du champ solaire.(W)
$P_{turbin}$	: La puissance de la turbine.(W)
$A_{solaire}$	: La surface du champ solaire.( $m^2$ )
$A_{csp}$	: La surface de la concentrateur solaire CCP.( $m^2$ )
$\eta_{solaire-electrique}$	: Rendement solaire électrique.
$P_{electrique}$	: Puissance électrique.(W)
$P_{solaire-incident}$	: Puissance solaire incidente.(W)
$V$	: Volume d'eau.( $m^3$ )

$V_{reservoir}$  : Volume de réservoir.( $m^3$ )

$P_{consommation}$  : Puissance électrique de la charge.(W)

$P_{STEP}$  : Puissance électrique du stockage hydraulique.(W)

$P_{Reseau}$  : Puissance délivrée par le réseau électrique.(W)

$P_{Hybride}$  : Puissance électrique de la centrale hybride.(W)

# SOMMAIRE:

---

RESUME	.....	I
DEDICACES	.....	IV
REMERCIEMENTS	.....	V
LIST DES FIGURES ET DES TABLEAUX	.....	VI
NOMENCLATURE	.....	VIII
SOMMAIRE	.....	XI
INTRODUCTION GENERALE	.....	1
<b>I CHAPITRE 01: GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES</b>	.....	<b>4</b>
I.1 INTRODUCTION	.....	4
I.1 L'ENERGIE GEOTHERMIQUE	.....	4
I.1.1 Définition de la géothermie	.....	4
I.1.2 Les type de la géothermie	.....	5
I.1.3 Gradient géothermique	.....	5
I.1.4 Le potentiel géothermique en Algérie	.....	6
I.1.5 La centrale géothermique:	.....	9
I.2 L'ENERGIE SOLAIRE	.....	12
I.2.1 Définition de l'énergie solaire	.....	12
I.2.2 Couple terre-soleil	.....	12
I.2.3 Atmosphère terrestre	.....	13
I.2.4 Rappel astronomie	.....	14
I.2.5 Le rayonnement solaire	.....	15
I.2.6 L'énergie solaire en Algérie	.....	16
I.2.7 La centrale solaire thermodynamique:	.....	17
I.3 L'ENERGIE HYDRAULIQUE	.....	19
I.3.1 Définition de l'énergie hydraulique	.....	19
I.3.2 Principe de fonctionnement des centrales hydroélectriques	.....	19
I.3.3 Les type des centrales hydrauliques	.....	20
I.3.4 Le potentiel hydraulique en Algérie	.....	20
I.3.5 Station de Transfer d'énergie par pompage STEP	.....	21
I.4 CONCLUSION	.....	25
<b>II CHAPITRE II: PRESENTATION DU SYSTEM MULTI SOURCE</b>	.....	<b>26</b>
II.1.1 System hybride géothermique-solaire:	.....	26
II.1.2 Stockage Hydro-électrique STEP:	.....	27
II.2 MODELISATION D'UNE CENTRALE SOLAIRE A GENERATION DIRECTE DE VAPEUR	.....	27
II.2.1 Modélisation d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique	.....	27
II.2.2 L'architecture d'un champ solaire linéaire DSG	.....	30
II.3 MODELISATION D'UNE TURBINE A VAPEUR:	.....	33
II.4 MODELISATION DE LA STATION DE TRANSFER ELECTRICITE PAR POMPAGE STEP	.....	34
II.4.1 La charge	.....	35
II.4.2 La décharge:	.....	35
II.4.3 Réservoir d'eau:	.....	35
II.5 LA CHARGE:	.....	35
II.6 LES HYPOTHESES:	.....	36
II.7 CONCLUSION:	.....	36
<b>III CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT ET SIMULATION</b>	.....	<b>38</b>
III.1 INTRODUCTION:	.....	38
III.2 DIMENSIONNEMENT ET SIMULATION DU SYSTEM MULTI-SOURCE	.....	38
III.2.1 Dimensionnement du system hybride:	.....	38
III.2.2 Les coordonnées géographies du site:	.....	38
III.2.3 Le barrage de Bou-Hanifia	.....	39

III.2.4	<i>Dimensionnement du system multi sources :</i> .....	40
III.2.5	<i>Dimensionnement du central hybride géothermique/solaire :</i> .....	40
III.2.6	<i>Dimensionnement du stockage Hydraulique:</i> .....	46
III.2.7	<i>Gestion d’Energie:</i> .....	49
III.3	SIMULATION:.....	52
	<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>60</b>
BIBLIOGRAPHIE		

# Introduction Générale

---

Au cours de la dernière décennie, il y a eu un intérêt croissant pour les sources d'énergie renouvelables, elles sont considérées comme une alternative durable aux homologues non renouvelables.

Les sources d'énergie géothermiques à basse température présentent un intérêt particulier en raison de leur large disponibilité dans le monde. L'énergie géothermique en particulier présente un bon marché, durable et a un potentiel élevé pour répondre à la demande mondiale d'énergie. Cependant, la température et le débit massique de l'eau géothermique extraite des puits de production diminuent régulièrement au fil du temps et peuvent entraîner une réduction significative de la production d'électricité et des performances. En plus dans le cas des ressources géothermiques à basse température, il est un peu compliqué de produire de l'électricité à partir de ces ressources.

L'hybridation de différentes sources d'énergie renouvelables peut compenser et surmonter les ce dernier inconvénient. En 2014, les chercheurs **Peterseim** et **al** ont envisagé différentes options d'hybridation des systèmes de concentration d'énergie solaire (CSP) avec les sources géothermiques. Outre l'hybridation avec les centrales électriques alimentées au charbon et au gaz naturel. Dans leurs recherches, ils ont aussi évalué la combinaison du CSP avec la biomasse et les déchets, la géothermie et l'énergie éolienne. En ce qui concerne la combinaison géothermie-CSP, les auteurs ont confirmé que l'énergie solaire est la mieux adaptée pour surchauffer la vapeur géothermique généralement disponible dans les installations à des températures modérées entre 150 et 200 ° C, en utilisant une technologie solaire cylindro-parabolique. Toutefois cette technologie permet d'augmenter l'enthalpie des eaux sortantes des puits géothermiques et de les surchauffer afin de produire de l'électricité, c'est une solution plus appropriée pour les ressources géothermiques à basse température.

Bien que l'hybridation de l'énergie solaire dans les centrales électriques à simple et double flash puisse sembler particulièrement intéressante pour atteindre des températures et des rendements thermiques élevés, mais, elle est encore limitée aux emplacements avec des sources géothermiques à enthalpie moyenne et élevée. Ainsi, un intérêt majeur est actuellement porté à l'hybridation solaire de centrales géothermiques alimentées par des ressources d'enthalpie faible basées sur des systèmes ORC. Dans le système ORC hybride proposé par **Lentz** et **al** en **2004**. L'énergie solaire été utilisée pour la production directe de la vapeur, le groupe des capteurs solaires est considéré comme un générateur de vapeur, il utilise l'énergie solaire pour transférer une forme liquide d'eau à une vapeur surchauffée, avec suffisamment d'énergie pour entraîner une

## **Introduction Générale**

turbine. Ce processus signifie une augmentation de la qualité de la vapeur pour une meilleure production d'énergie Ou bien Enthalpie spécifique de la vapeur, avec une modification de ce concept ou l'eau géothermiques est injecter sur les concentrateurs solaire, l'énergie solaire peut être également utilisée pour évaporer l'eau géothermique et surchauffer la vapeur résultante dans une génération directe de vapeur.

En raison de la nature intermittente des énergies renouvelables, en particulier de l'énergie solaire, les réseaux électriques existant ne sont pas équipés pour gérer l'intégration à grande échelle des sources d'énergie intermittentes sans perturbation grave du réseau. Les pénétrations des énergies renouvelables intermittentes peuvent déstabiliser considérablement le réseau. Donc, les systèmes de stockage d'énergie électrique sont exigés. Ces stockages peuvent atténuer un bon nombre des inefficacités et des lacunes inhérentes au système de réseau. Ils aident à améliorer la fiabilité du réseau, faciliter l'intégration complète des sources renouvelables intermittentes et gérer efficacement la production d'électricité. Le stockage d'énergie électrique offre deux autres avantages importants. Premièrement, il répond aux besoins de la charge en cas de pénurie de production, ce qui facilite la régulation de l'offre et de la demande. Deuxièmement, il assure la continuité d'alimentation en absence de l'énergie solaire.

Il existe actuellement plusieurs technologies de stockage d'énergie prometteuses, néanmoins le stockage hydro-électrique par pompage réversibles (STEP) présente plusieurs avantages. Actuellement, il n'y a que 170 GW de capacité de stockage installée dans le monde, mais plus de 96% sont fournis par l'hydroélectricité. Ce stockage est très économique pour les régions côtières et les villes qui abritent des barrages hydrauliques ou bien des grandes retenues d'eau.

Malgré cela les micro-réseaux d'énergies renouvelables rencontrent souvent des perturbations pour répondre à la demande de la charge, soit une production insuffisante pour les pointes qui provoquera des pénuries, soit une production supérieure à l'appelle de la charge ce qui représente un gaspillage énergétique. En conséquence, un organigramme de gestion de l'énergie dans les systèmes hybrides est nécessaire pour résoudre ce problème. Ce superviseur peut prévoir la demande de la charge en gérant l'intervention quantitative et temporaire de chaque source renouvelable. Dans le cas d'un déséquilibre extrême entre la génération et la charge, la solution à cet inconvénient consiste à échanger de l'électricité avec le réseau électrique, mais cette solution malgré son secours de l'alimentation, entraîne une augmentation de la pollution et des coûts. Donc la priorité dans l'organigramme de gestion doit être donnée aux sources d'énergie renouvelable.

Dans la plupart des cas, des centrales utilisent les systèmes de gestion d'énergie pour maintenir l'équilibre de puissance entre la production et la consommation en stockant l'électricité pendant



## **Introduction Générale**

les heures peu coûteuses ou hors pointe et en déchargeant cette énergie pendant les heures de pointe ou les prix élevés.

Dans ce travail de mémoire de fin d'étude, on s'intéresse au dimensionnement et la simulation d'un système multi-sources primaires d'énergie renouvelables (géothermique-solaire et STEP), reliée au réseau électrique, pour alimenter la ville de Bou-Hanifia. Cette ville contient plusieurs sources géothermiques, caractérisée par gisement solaire très important et un barrage contenant une centrale hydroélectrique de l'époque coloniale. Ce projet représente une modeste contribution universitaire dans le programme national de promotion des énergies renouvelables.

Notre méthodologie de dimensionnement sera devisée en trois parties

- ◆ La première partie présentera un rappel général sur les énergies renouvelables (La géothermie, l'énergie solaire et l'énergie hydraulique). Les technologies d'exploitation de ces énergies et les principes de fonctionnement chaque une de ces technologies seront exposés. Une représentation de gisement énergétique géothermique en Algérie sera décrite.
- ◆ La seconde sera consacrée à une présentation du system multi-source et a tous ces éléments, ainsi que la structure du système a étudié. Une modélisation de tous les éléments du système sera étudiée.
- ◆ Dans la dernière partie, on effectuera le dimensionnement avec les calculs énergétiques détaillés des différents éléments du Systèmes. Afin de confirmer le fonctionnement du système une simulation sera réalisée en utilisant un logiciel numérique.
- ◆ En fin le travail sera achevé par une conclusion générale et quelques recommandations simples

*CHAPITRE I :*  
*Situation énergétique et ressources en eau*

## CHAPITRE I: Généralités sur les énergies renouvelables.

### I.1 Introduction :

Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens pour produire de l'énergie à partir de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées.

On parle généralement des énergies renouvelables par différence à l'énergie traditionnelle des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel...). Au contraire, les énergies renouvelables primaires sont produites à partir des sources comme les rayonnements solaires, ou le vent.

Selon l'agence internationale de l'énergie, il existe cinq grandes familles d'énergies renouvelables comme il est indiqué par le graphique de 2017 présenté par la figure (I-1).

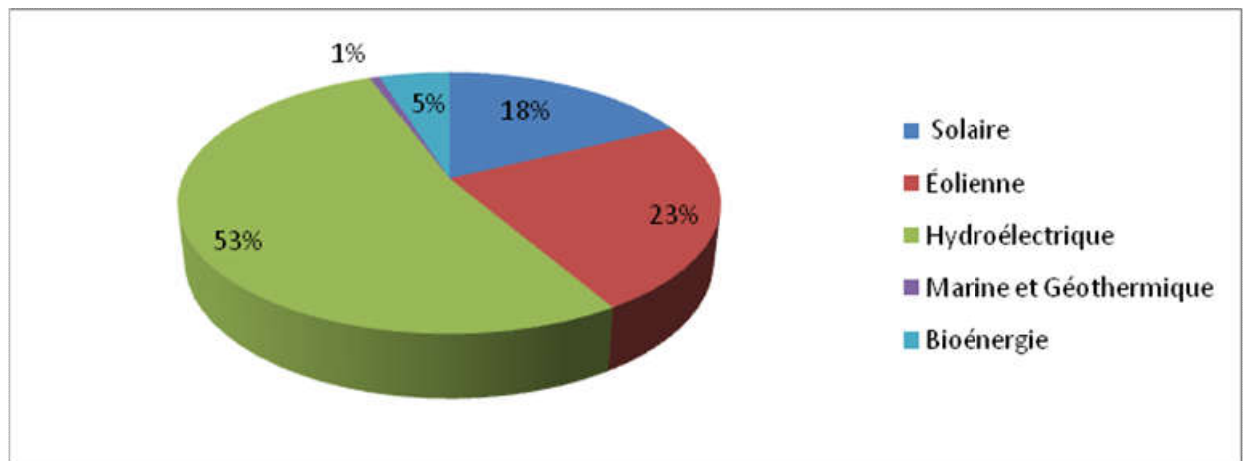


Figure I-1 Pourcentages de capacité installée de différentes sources d'énergies renouvelables en 2017 dans le monde.

### I.2 L'énergie géothermique :

#### I.2.1 Définition de la géothermie :

La géothermie (mot issu du grec « **géo** » = terre et « **thermos** » = chaud) est la science qui étudie les phénomènes thermiques interne de la terre. C'est l'ensemble des technologies qui permet d'exploiter les sources d'énergie géothermique.

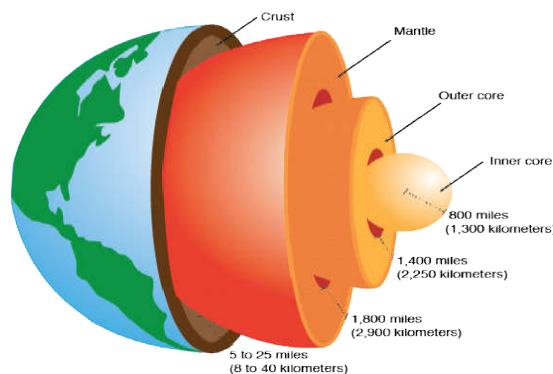


Figure I-2 Les différentes couches de la terre

L'énergie géothermique peut être définie comme « l'énergie emmagasinée sous forme de chaleur sous la surface de la terre ». Cette définition fixe le cadre, mais est assez générale et

nécessite une classification plus approfondie des différents types de géothermie. Plusieurs classifications peuvent être réalisées sur base de différents paramètres (la température, La profondeur et qui sera fait de l'énergie produite)

### I.2.2 Les type de la géothermie

L'exploitation de la géothermie dépend du type de gisements et du fluide géothermique existant, ainsi, se distingue deux types de géothermie dans le monde (1)

#### I.2.2.1 La géothermie a basse enthalpie :

La géothermie basse enthalpie se caractérise par une température comprise entre 30°C et 100° C, avec une profondeur moyenne de 1000 à 2500 m de profondeur (bassin parisien, bassin aquitain...). Ce type est utilisé principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, et certaines applications industrielles.

#### I.2.2.2 La géothermie a haute enthalpie :

La géothermie haute énergie, ou géothermie haute enthalpie, est une source d'énergie provient de la croûte terrestre, où la profondeur est généralement plus de 1500 mètres. Se caractérisent par des températures supérieures à 150°C. La géothermie à haute enthalpie exploite les gisements de vapeur sèche ou humide (mélange eau et vapeur).

La géothermie a haute enthalpie se trouve dans les régions volcaniques (volcans) et sismiques

(frontières de plaques) ou le gradient géothermique est particulièrement élevé. La géothermie haute énergie est destinée principalement à la production d'électricité. La vapeur, qui est puisée dans le réservoir géothermique, est déchargée dans une turbine, reliée à un alternateur pour la production d'électricité. La vapeur sèche est directement utilisée alors que la vapeur humide qui est plus fréquente nécessite l'utilisation d'un séparateur.

### I.2.3 Gradient géothermique

La chaleur de la terre augmente avec la profondeur. Les mesures récentes de l'accroissement de la température avec la profondeur, appelée **gradient géothermique**, ont montré que cette valeur n'était pas uniforme à la surface du globe. En moyenne, la température croît d'environ 3°C pour 100 mètres (2), mais de nombreuses régions ont des gradients géothermiques anormaux: 10°C par 100 mètres en **Alsace** et même exceptionnellement 100°C Par 100 mètres à **L'Italie**, par contre 1°C par 100 mètres près de **Padoue**. Dans le nord-est du **Maroc**. Le gradient géothermique dépend de la conductivité thermique des roches et du flux géothermique qui est de l'ordre de 0,05 W/m<sup>2</sup>, soit environ 4 000 fois moins que la valeur moyenne du flux solaire 200 W/m<sup>2</sup> voir figure (I-3) (3)

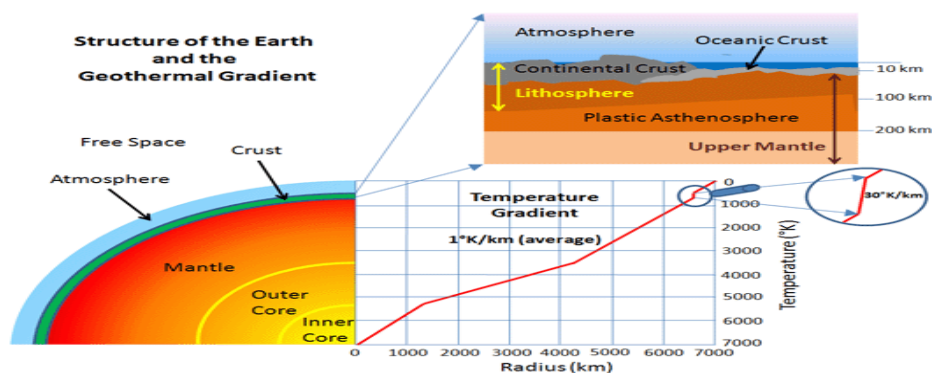
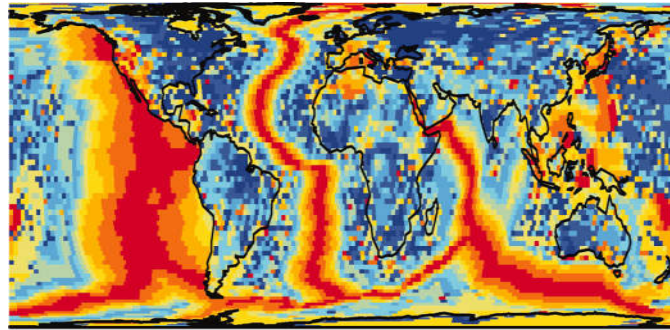


Figure I-3 Le gradient Géothermique

La carte de flux thermique est une étape importante en géothermie. Elle montre la variation du flux en chaque point de la région d'étude.

La figure (I : 4), montre la variation du flux de la chaleur sur la carte géographique du monde (4)



Final Estimate of Heat Flow (mW m<sup>-2</sup>) (Area-weighted Mean)

3 - 51	61 - 62	66 - 68	73 - 77	95 - 131
52 - 60	63 - 65	69 - 72	78 - 94	132 - 1237

Figure I-4 Carte mondiale du flux de chaleur à la surface du globe

### I.2.4 Le potentiel géothermique en Algérie

Les ressources géothermiques en Algérie sont de basse enthalpie. La plupart de ces ressources géothermiques se trouve dans le nord-est du pays. L'Algérie comporte plus de 240 sources thermales. Trois zones géothermiques ont été délimitées selon certaines considérations géologiques et thermiques, comme et montré sur figure (1-5) (5) :

- ◆ Les dolomites de Tlemceniens dans le nord-ouest de l'Algérie,
- ◆ Les formations carbonatées dans le nord-est de l'Algérie
- ◆ Le réservoir de grès d'Albion au Sahara (sud de l'Algérie)

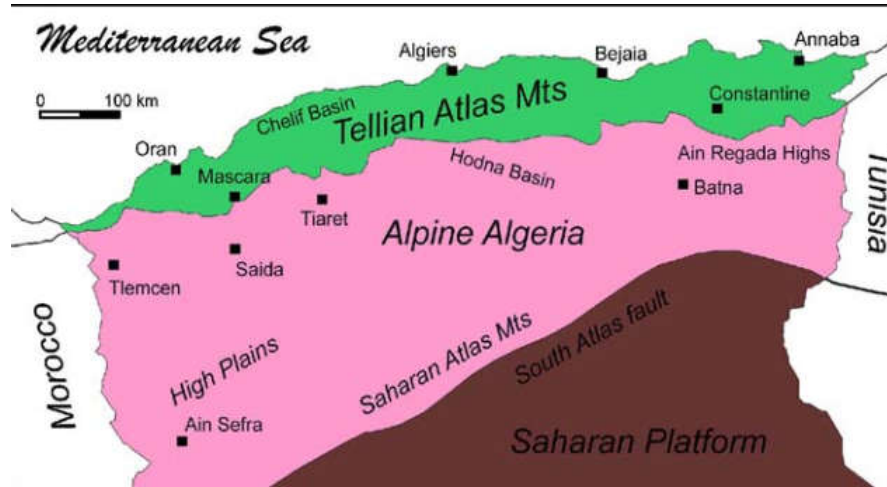


Figure I-5 Les zones géothermiques principales en Algérie

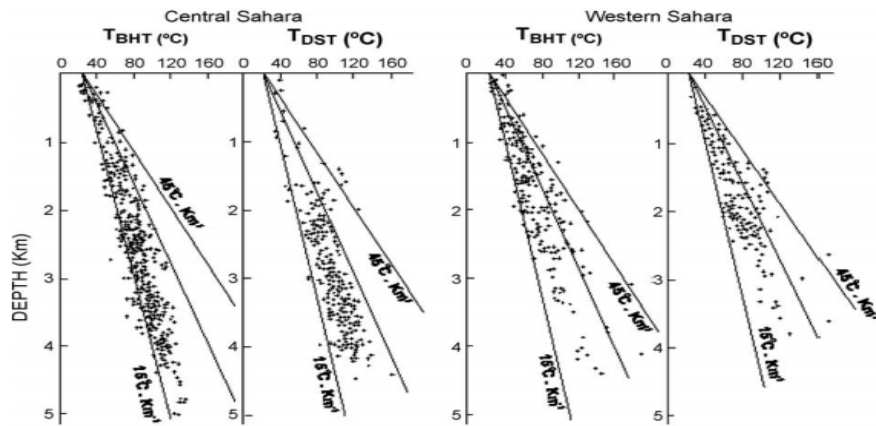


Figure I-6 La gradient géothermique sur le Sahara Algérien

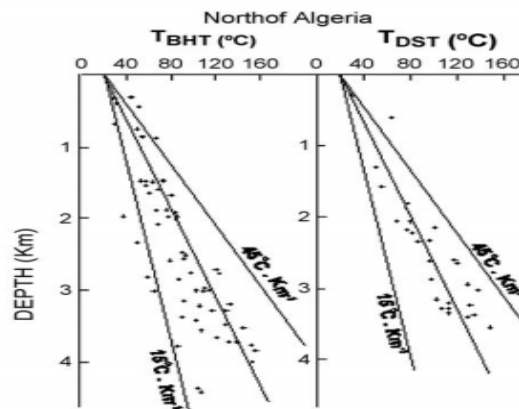


Figure I-7 Le gradient géothermique sur le nord d'Algérie

Les figures (I-6 & I-7) montrent la distribution de la température avec la profondeur appelée aussi le gradient géothermique. Le Sahara central, où se trouvent la plupart des mesures, montre un gradient moyen de 21°C/km. Par contre, les deux autres régions présentent un gradient moyen de 32 C/km pour le western Sahara et 26 C/km pour le nord de l'Algérie (5)

La figure 8 montre les principales ressources géothermiques en Algérie.

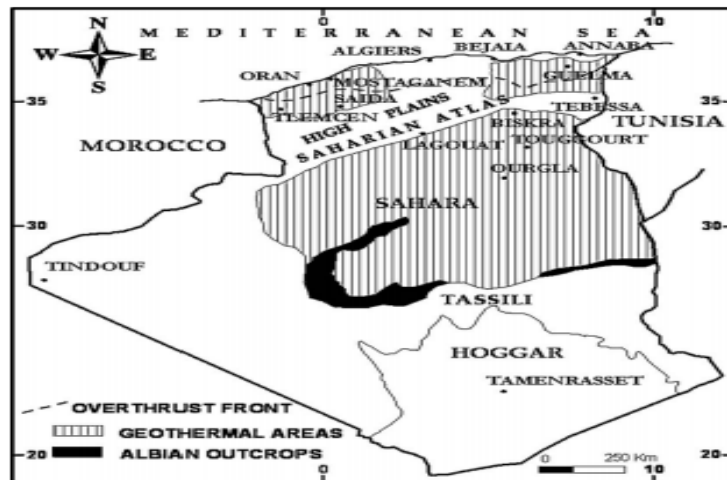


Figure I-8 Les zones géothermiques important en Algérie

Pour mieux quantifier le potentiel énergétique disponible pour l'utilisation directe, une évaluation préliminaire a été effectuée de l'énergie thermique des principales sources chaudes.

(5)

Tableau I-1 L'énergie thermique des principales sources chaudes

Location	Débit massique	Température	Capacité	Type
Maskhoutine	80	90	23	B
Oulad Al	83	50	10.8	B
Ain Berda	100	28	3.4	B
Soukhna	83	50	10.4	B
Teleghma	10	48	1.17	B
Bougharara	7	37	0.5	B
Bouhanifia	9	68	1.8	B,D
Chiguer	5	35	0.3	B
Bouhadjar	5	64	0.9	B
Rabi	6	47	0.7	B
El Biban	2	80	0.5	B

B : chauffage et natation (inclus bal néologie).

D : chauffage urbain (autre que les pompes à chaleur).

### I.2.5 La centrale géothermique:

À l'intérieur du réservoir géothermal, l'eau est soit sous forme liquide, soit sous forme gazeuse.

- ◆ Lorsque l'eau du réservoir est vaporisée, elle est récupérée sous la forme de vapeur sèche en tête de puits et directement utilisable pour faire tourner les turbines des centrales géothermiques.
- ◆ Lorsqu'elle est sous forme liquide dans le réservoir, l'eau subit une baisse de pression lors de la remontée dans le forage, et se transforme partiellement en vapeur. Cette vapeur est alors séparée en surface et utilisée pour alimenter des turbines.

Dans la plupart des centrales géothermiques, la vapeur naturelle sous pression fait tourner une turbine (à vapeur) qui à son tour actionne un alternateur. Mais d'autres dispositifs sont employés notamment lorsque la température est moins élevée, ou parce que le fluide pose problème pour l'environnement.

Au total, en fonction de la nature et des propriétés du fluide géothermal, différents systèmes de production d'électricité sont utilisés dans les centrales géothermiques :

#### I.2.5.1 La production d'électricité par la géothermie à moyenne enthalpie :

##### I.2.5.2 Cycle binaire:

Lorsque la température du fluide géothermal est moins de 100°C seulement un cycle binaire pourrait être considéré pour la production d'électricité. La centrale géothermique à cycle binaire transforme l'énergie thermique du fluide géothermal en énergie mécanique, puis grâce à un générateur en énergie électrique. Le schéma de l'installation est montré en (Figure I-9) (6) le fluide géothermal chaud passe à travers un côté d'un échangeur de chaleur pour chauffer une pipe. Habituellement le fluide de fonctionnement est un hydrocarbure. Tel que l'iso-pentane ou un réfrigérant, pour des raisons environnementales, le fluide de fonctionnement approprié est le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>. Le fluide de fonctionnement est vaporisé au contact de la chaleur d'origine géothermique, ensuite passé à travers une turbine pour générer de l'électricité.

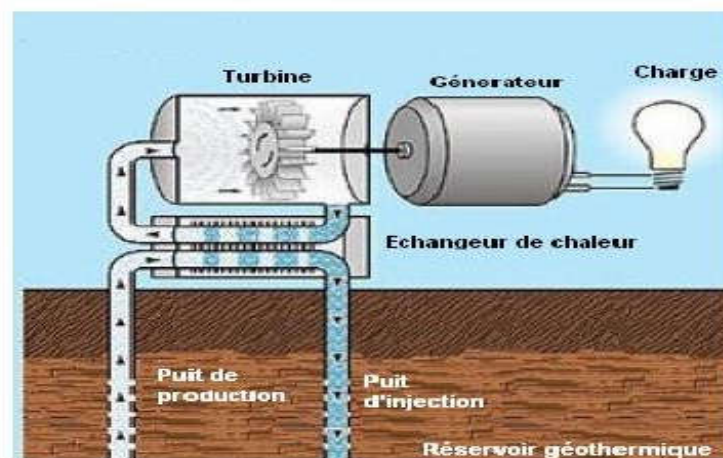


Figure I-9 Schémas simplifié d'un cycle binaire géothermique cycle Kalina

Le cycle Kalina est un cycle à fluide binaire relativement nouveau (figure I-10), qui utilise un mélange eau-ammoniaque comme fluide de travail pour permettre une production d'énergie



plus efficace. Cela en fait une option intéressante pour la production combinée de chaleur et d'électricité. (7)

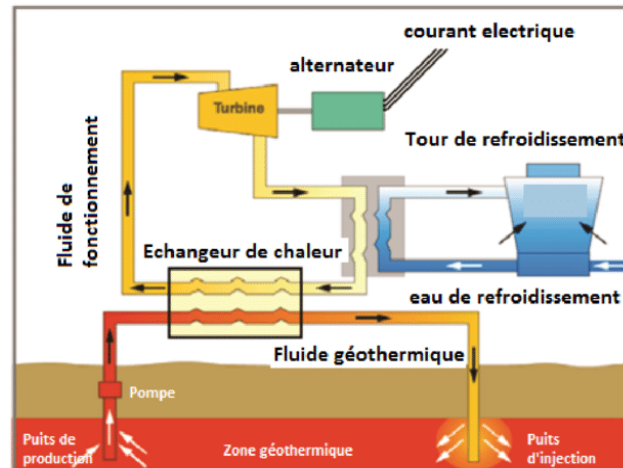


Figure I-10 Schéma descriptif d'une centrale géothermique à fluide

### I.2.5.3 La production d'électricité par la géothermie à haute enthalpie :

#### I.2.5.3.1 Cycle direct à contre-pression :

La vapeur, directement ou après séparation de la phase liquide, entraîne une turbine. À la sortie de la turbine, la vapeur d'eau - encore à une température élevée - est soit envoyée dans l'atmosphère, soit dirigée vers un utilisateur de chaleur situé à proximité. Dans ce dernier cas, il y a cogénération c'est-à-dire production combinée de chaleur (énergie thermique) et d'électricité (énergie électrique).

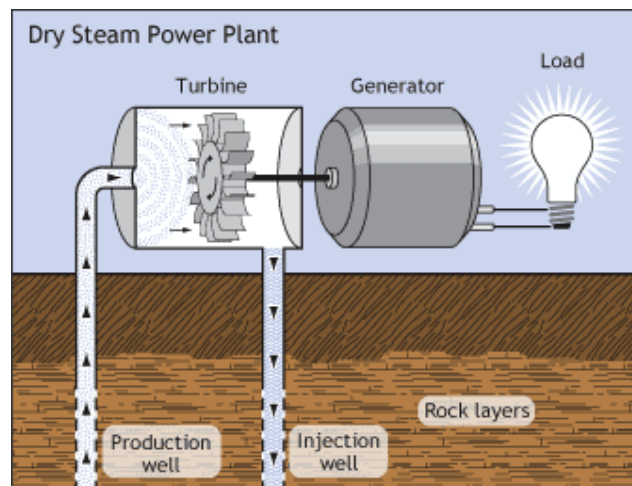


Figure I-11 Cycle direct à contre-pression

#### I.2.5.3.2 Cycle direct à condensation :

Le système est similaire au précédent. Toutefois la vapeur à la sortie de la turbine est condensée pour être évacuée sous forme liquide. Le rendement de production électrique est ainsi amélioré et l'impact atmosphérique minimisé.

#### I.2.5.3.3 Cycle à vaporisation :

Le fluide extrait du réservoir géothermal, constitué de vapeur et liquide, passe par un séparateur de phase :

- ♦ La vapeur est dirigée dans un premier circuit à haute pression vers la turbine ;

- ♣ L'eau liquide est vaporisée par abaissement de sa pression puis dirigée par un deuxième circuit vers la turbine.

#### **I.2.5.4 Les échangeurs thermiques:**

Un **échangeur de chaleur** est un système servant à transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. (8)

La plupart du temps, on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou complexe de refroidir ou chauffer directement, par exemple l'eau d'un circuit primaire de refroidissement, d'une centrale nucléaire.

##### ***I.2.5.4.1 Mode de transfert de chaleur :***

Il existe trois types d'échangeurs de chaleur principaux :

- ♣ À courant parallèle : les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens.
- ♣ À contre-courant : idem, mais les courants vont dans des sens opposés.
- ♣ À courant croisé : les deux fluides sont situés perpendiculairement.

Certains échangeurs sont hybrides

- ♣ À tête d'épingle : un des deux fluides fait un demi-tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse. Dans cette configuration, nous pouvons comparer ce dernier à un échangeur à courant parallèle sur une distance identique à la moitié de l'échangeur, et pour l'autre moitié à un échangeur à contre-courant.
- ♣ A contact direct ou à mélange : les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, l'air chaud monte de bas en haut dans une grande tour et des buses projetant de l'eau froide sortent des parois donnant la possibilité ainsi de refroidir l'air.

#### **I.2.5.5 Les générateurs électriques (alternateurs):**

Un générateur est une machine électrique tournante qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique sous forme des tensions alternatives.

Il se divise essentiellement en deux catégories : les machines synchrones et asynchrones. La différence principale entre ces deux types de machine réside dans la conception du rotor.

##### ***I.2.5.5.1 Les machines asynchrones:***

Pour les machines synchrones, le rotor peut être constitué :

- ♣ D'un ou de plusieurs aimants permanents. C'est le cas pour les petites et moyennes puissances.
- ♣ De bobinages alimentés en courant continu et d'un circuit magnétique. On parle alors d'électro-aimants. Ce type de rotor est très courant.

Lorsque le rotor est entraîné par une turbine par exemple, le champ magnétique tourne à la vitesse de rotation de la turbine : il est appelé "champ tournant". Il induit dans les bobinages du stator un courant alternatif de forme sinusoïdale pour autant que les circuits du stator soient fermés sur une charge. Dans ce cas, la machine tournante est "génératrice" ou communément appelée "alternateur".

La vitesse du champ tournant est aussi appelée vitesse de synchronisme pour autant qu'elle soit la même que celle du champ tournant généré par le réseau sur lequel la machine synchrone sera connectée.

### I.2.5.5.2 Les machines asynchrones

Contrairement aux machines synchrones, L'alternateur asynchrone ne possède pas de circuit d'excitation au niveau du rotor, le rotor des machines est remplacé par une simple cage d'écurueil.

Pour faire fonctionner un alternateur asynchrone, "il suffit" qu'il tourne plus vite que le champ tournant du stator. Les conducteurs, alors balayés par un champ tournant statorique, induisent des courants triphasés qui génèrent à leur tour un champ tournant rotorique. L'induction d'un champ tournant dans le rotor par le stator se traduit par la génération du courant dans les enroulements du stator.

## I.3 L'énergie solaire :

### I.3.1 Définition de l'énergie solaire

L'énergie solaire est une énergie renouvelable totalement non polluante. C'est l'énergie transmise par le Soleil à la terre sous la forme de lumière et de chaleur. L'énergie solaire est répartie en deux formes d'énergies : thermique et photovoltaïque. Actuellement la technologie des panneaux photovoltaïques couvre les deux cas. Dans le cas du solaire thermique, des capteurs récupèrent les rayonnements du soleil et la chaleur est transportée par un fluide caloporteur jusqu'à la chaudière.

### I.3.2 Couple terre-soleil

La terre décrit autour du soleil une orbite quasi-circulaire avec une période de 365.25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. Elle tourne sur elle-même avec un période de 24 heures, Son axe de rotation (axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace, il fait un angle de 23.45 avec la normale du plan de l'écliptique.

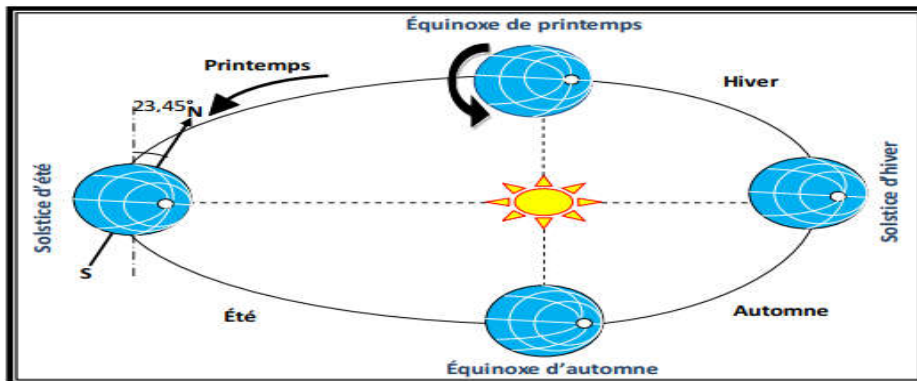


Figure I-12 Le mouvement de la terre-soleil

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675.106 km.

Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'équateur.

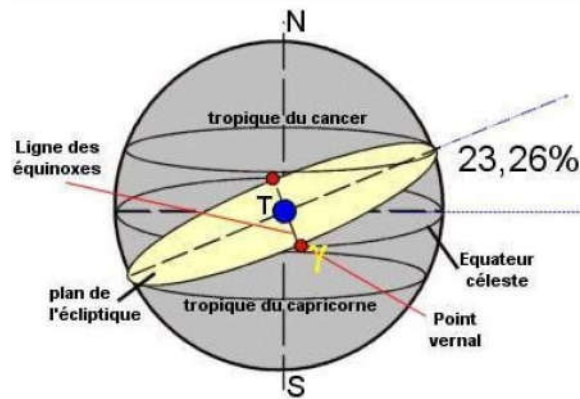


Figure I-13 Schéma descriptif de L'équateur

Sur la surface du globe terrestre, la position d'un point est repérée par deux valeurs, la latitude et la longitude.

- Une latitude symbolisée par un cercle appelé parallèle, est l'angle formé entre la verticale d'un lieu et le plan de l'équateur : de + 90 degrés vers le pôle Nord à - 90 degrés vers le pôle Sud.
- Une longitude est matérialisée par un cercle appelé méridien, est l'angle formé entre le plan du méridien d'un lieu et le plan du méridien de Greenwich (méridien origine, de longitude 0 degré). Elle varie de + 180 degrés vers l'ouest à - 180 degrés vers l'est.

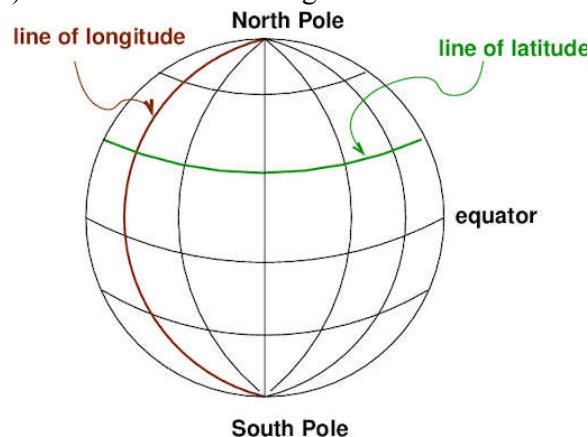


Figure I-14 La latitude et la longitude

### I.3.2.1 Déclinaison:

La déclinaison solaire est l'angle formé par la droite reliant la terre au soleil et le plan équatorial (positif vers le nord). La déclinaison est égale à zéro aux équinoxes et varie de +23,45° (22 juin) à - 23,45° (22 décembre) (9)

Les équinoxes sont les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial, sa déclinaison est alors nulle et les durées du jour et de la nuit sont égales. L'équinoxe d'automne intervient vers le 22 septembre et l'équinoxe de printemps vers le 22 mars, pendant les solstices d'été et d'hiver le soleil est respectivement sur le tropique cancer et capricorne, dans l'hémisphère Nord

### I.3.3 Atmosphère terrestre

L'atmosphère contient une majorité d'azote et d'oxygène, mais aussi de l'argon, du CO<sub>2</sub>, de la vapeur d'eau, et la couche d'Ozone (10). L'atmosphère protège la Terre en filtrant le rayonnement solaire ultraviolet Figure (I-16), en réchauffant la surface par la rétention de chaleur

(effet de serre) Figure (I-15) et en réduisant partiellement les écarts de température entre le jour et la nuit.

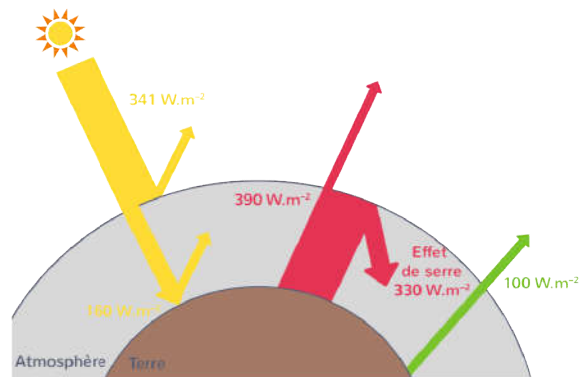


Figure I-15 La répartition du rayonnement solaire sur l'atmosphère terrestre

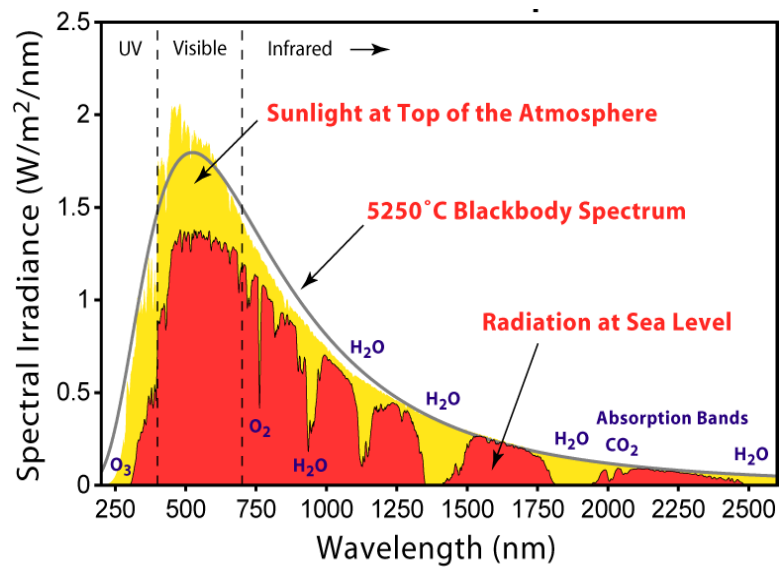


Figure I-16 La phénomène de filtrage de l'atmosphère Solaire(11)

### I.3.4 Rappel astronomie

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire relative qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve.

La position apparente du soleil définit plusieurs grandeurs astronomiques :

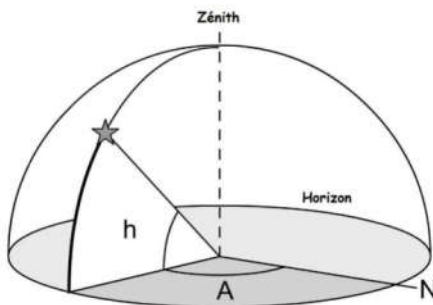


Figure I-17 L'azimut et la hauteur du soleil

### I.3.4.1 Azimut

L'azimut, c'est l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. L'origine des azimuts correspond à la direction du sud dans l'hémisphère nord. L'angle azimut est compte positivement vers l'Ouest.

### I.3.4.2 Hauteur solaire

La hauteur solaire est angle forme par le plan horizontal au lieu d'observation et par la direction du soleil

### I.3.4.3 Le zenith

Le Zénith est le point le plus élevé de l'hémisphère céleste, se trouvant directement à la verticale de l'observateur

### I.3.4.4 L'angle horaire:

C'est l'angle que fait le plan contenant le cercle horaire du soleil avec le plan contenant le méridien céleste. Il est mesuré sur l'Équateur, positivement à Ouest et négativement à l'Est

### I.3.5 Le rayonnement solaire

Le soleil décharge une quantité d'énergie énorme dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre c'est ce que l'on appelle la constante solaire égale à  $1367 \text{ W/m}^2$  [30]. La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air AM, Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, perdant plus d'énergie.

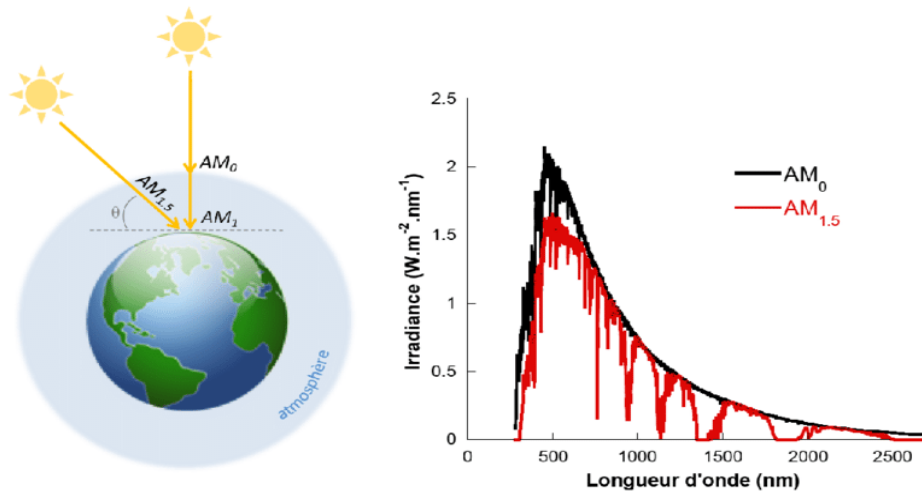


Figure I-18 La masse d'air optique

#### I.3.5.1 L'éclairement

L'éclairement est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en  $\text{W/m}^2$  (watt par mètre carré).

#### I.3.5.2 Irradiation

L'irradiation est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en  $\text{J/m}^2$  (joule par mètre carré).

Le rayonnement total reçu sur une surface est défini par la somme de trois composantes :

- ♦ L'irradiation directe : provenant directement du Soleil en traversant l'atmosphère. Cette composante s'annule si le Soleil est caché par des nuages ou par un obstacle.

- ◆ L'irradiation diffuse : correspondant au rayonnement reçu de la voûte céleste, hors rayonnement direct. Cette énergie diffusée par l'atmosphère et dirigée vers la surface de la Terre
- ◆ L'irradiation réfléchi : correspondant au rayonnement réfléchi par l'environnement extérieur, en particulier le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé "albédo".

Le rayonnement global est la somme du rayonnement.

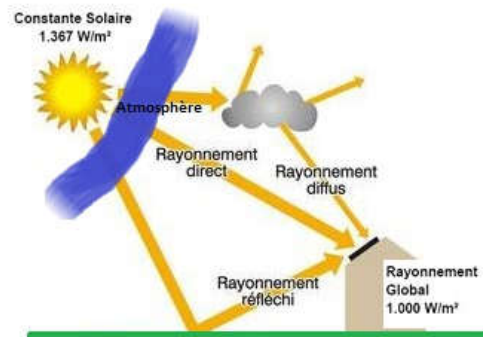


Figure I-19 Irradiation solaire global

### I.3.6 L'énergie solaire en Algérie

L'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus importants au monde, La durée d'insolation dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). (12)

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263KWh/m²/an au Sud du pays. (12)

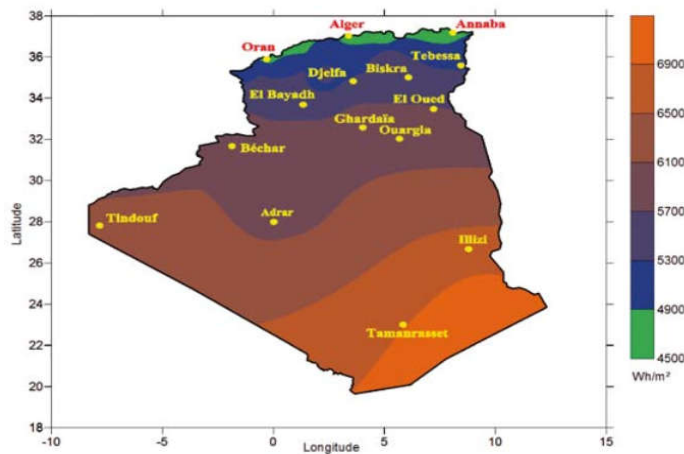


Figure I-20 Le gisement solaire en Algérie



### I.3.7 La centrale solaire thermodynamique:

#### I.3.7.1 Principe de fonctionnement:

La solaire thermodynamique est un terme regroupant toutes les techniques de transformation des rayons du soleil en chaleur.

Une centrale solaire thermodynamique permet en effet de transformer les rayons du soleil en électricité grâce à un dispositif optique de concentration du rayonnement solaire.

Elle capte le flux solaire qu'un système transforme en chaleur : la chaleur est ensuite convertie en électricité. Il est possible de stocker la chaleur produite grâce à un espace de stockage thermique. Ainsi, la production d'électricité n'est pas interrompue en cas de mauvais temps.

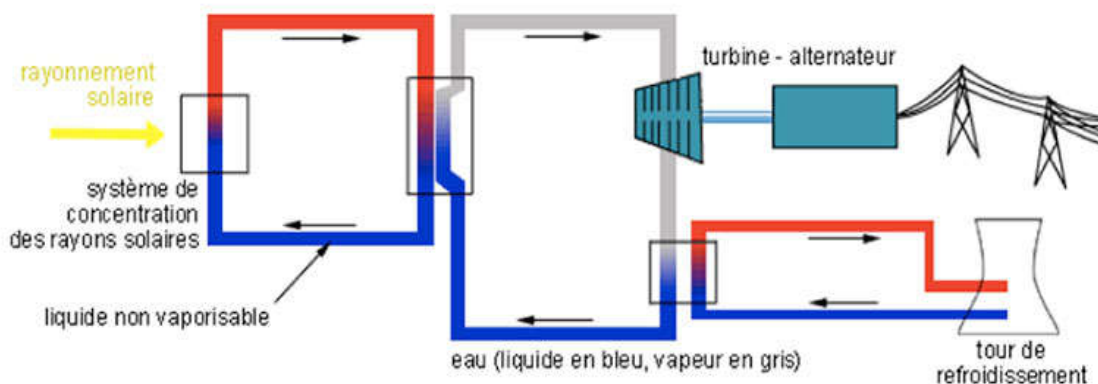


Figure I-21 Principe de fonctionnement d'un système solaire thermique

#### I.3.7.2 La turbine à vapeur:

Les turbines à vapeur produisent de l'électricité en utilisant la vapeur produite par un générateur de vapeur soit un champ solaire, source géothermique à haute enthalpie ou un générateur de vapeur alimentée par un combustible (charbon, gaz, uranium) pour faire entraîner une génératrice électrique. (13)

Le cycle de Rankine est à la base des machines utilisant la vapeur d'eau dans la centrale thermique (14) Ce cycle se distingue par un changement d'état affectant le fluide caloporteur qui est en général de la vapeur d'eau. Elle transforme l'énergie thermique de la vapeur d'eau pendant la détente en énergie mécanique de rotation d'arbre pour actionner un dispositif mécanique tournant.

#### I.3.7.3 Collecteurs solaires

Il existe quatre principales technologies de collecteurs solaires, en occurrence, miroir cylindro-parabolique, miroir de Fresnel, miroir parabolique, et miroirs pour tour solaire :

##### I.3.7.3.1 Collecteurs cylindro-paraboliques :

Ce type de centrale se compose d'alignements parallèles de longs miroirs hémicylindriques, qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil.

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même.

La température du fluide peut monter jusqu'à 500° C. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. (15)



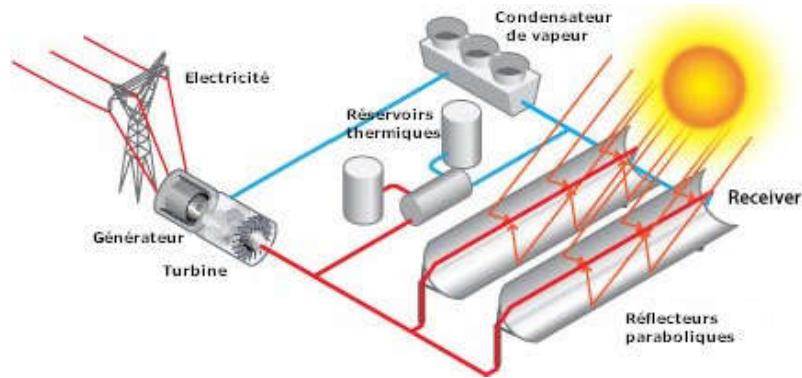


Figure I-22 Centrale solaire à collecteurs cylindro-parabolique

### I.3.7.3.2 Collecteurs de Fresnel

Le principe d'un concentrateur de Fresnel réside dans ses miroirs plans (plats). Chacun des miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires vers un tube ou un ensemble de tubes récepteurs linéaires fixes.

En circulant dans ce récepteur horizontal, le fluide caloporteur peut être vaporisé puis surchauffé jusqu'à 500 °C. De ce fait, la vapeur est générée directement dans les tubes récepteurs. La vapeur alors produite est dirigée vers le bloc de puissance pour actionner une turbine qui produit de l'électricité. Le cycle thermodynamique est généralement direct, ce qui permet d'éviter les échangeurs de chaleur. (16)

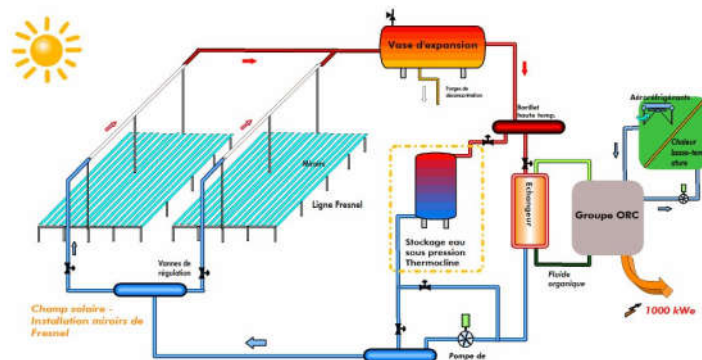


Figure I-23 Centrale solaire aux collecteurs de Fresnel

### I.3.7.3.3 Miroir parabolique (Dish-Stirling):

Un miroir parabolique réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, le rayonnement solaire est alors concentré sur le récepteur qui monte en température. Le récepteur est un moteur Stirling qui fonctionne grâce à la différence de la température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Ce moteur convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité.

Le rapport de concentration de ce système est souvent supérieur à 2000 et le récepteur peut atteindre une température de 1000°C (15)

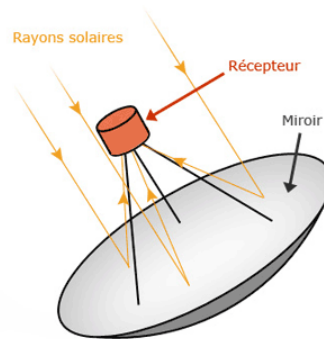


Figure I-24 Collecteur parabolique

#### I.3.7.3.4 Centrale à tour

Les centrales à tours sont composées d'un grand nombre d'héliostats dirigeant le rayonnement solaire vers un récepteur central situé au sommet de la tour. L'énergie absorbée par le récepteur permet de chauffer un fluide jusqu'à le transformer en vapeur à haute pression, alimentant ainsi une turbine qui génère de l'électricité.

Chaque héliostat est orientable, et suit le soleil individuellement et le réfléchit précisément en direction du receveur au sommet de la tour solaire. Le facteur de concentration peut dépasser 1000, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 600 °C à 1000 °C et grandes efficacités que le système linéaire. (15)

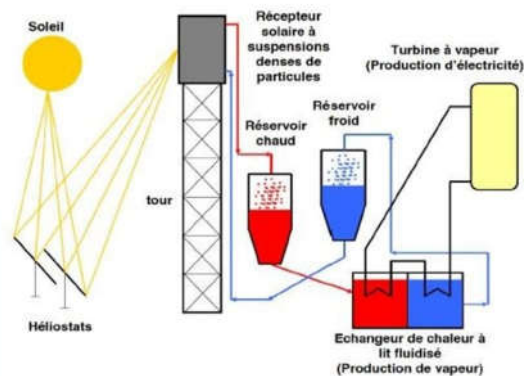


Figure I-25 Centrale à tour

## I.4 L'énergie hydraulique:

### I.4.1 Définition de l'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable qui utilise l'énergie cinétique et potentielle de l'eau (rivière, chute d'eau et marée) pour produire de l'énergie mécanique et, surtout, de l'électricité.

Depuis l'Antiquité, son utilisation directe se sert de la force de l'eau pour faire tourner la roue des moulins et défibreurs (qui servent à la production de pâte à papier). En utilisation indirecte, l'énergie hydraulique est convertie en une autre énergie, autrefois mécanique mais principalement électrique depuis le début du XXe siècle.

### I.4.2 Principe de fonctionnement des centrales hydroélectriques :

Il s'agit de capter la force motrice de l'eau pour produire de l'électricité. L'eau accumulée dans les barrages ou dérivée par les prises d'eau est envoyée sur les aubes d'une turbine. Celle-ci

entraîne un alternateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Le barrage sert à constituer une réserve d'eau. L'usine est souvent en contrebas du barrage, soit plus près ou soit plus éloignée. Dans ce cas, l'eau est conduite vers l'usine par un canal de dérivation ou par une galerie creusée dans la montagne. L'extrémité aval est appelée la conduite forcée : c'est un gros tuyau qui descend la vallée. La puissance de l'eau, qui fait tourner la turbine, dépend du débit et de la hauteur de la chute.

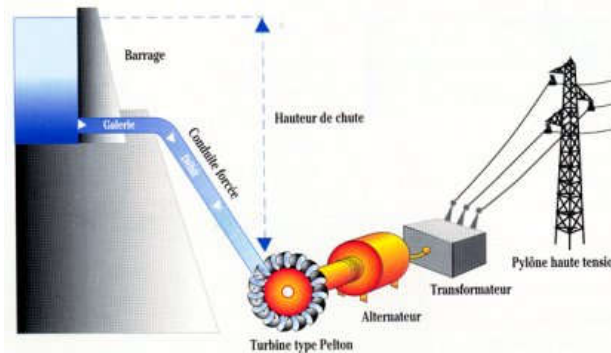


Figure I-26 Schéma de fonctionnement d'un barrage hydroélectrique

### I.4.3 Les type des centrales hydrauliques

Il existe une grande diversité d'installations hydroélectriques, en fonction de leur situation géographique, du type de cours d'eau, de la hauteur de la chute, de la nature du barrage et de sa situation par rapport à l'usine de production électrique.

Suivant la hauteur de la chute, on compte 3 grandes catégories d'aménagements hydrauliques :

#### I.4.3.1 Les centrale hydraulique a haute chute

La centrale de ce type est présente dans les sites de haute montagne. Elles sont caractérisées par un débit faible et une chute d'eau supérieure à 300 m. Ces types utilisent des turbines de type Pelton pour entraîner les alternateurs.

#### I.4.3.2 Les centrales hydrauliques de moyenne chute

Caractérisées par un débit moyen et une chute comprise entre 30 et 300 m. les centrales de ce type sont installées en moyenne montagne et dans les régions de bas-relief. Elles utilisent des turbines de type Francis

#### I.4.3.3 Les centrale hydraulique de basse chute

Les centraux de ce type sont implantés sur le cours de grands fleuves ou de grandes rivières. Elles sont caractérisées par un débit très fort et une chute de moins de 30 m. Dans ce cas, il n'y a pas de retenue d'eau et l'électricité est produite en temps réel. Elles utilisent des turbines de type Kaplan.

### I.4.4 Le potentiel hydraulique en Algérie

Avec une superficie de  $2,381,741\text{km}^2$ . L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique, cependant, 90% de cette zone est désertique, où les précipitations sont pratiquement inexistantes. Le potentiel des ressources en eau renouvelables est concentré dans le nord du pays, qui contient des bassins dépendants de la mer Méditerranée et ceux des hauts plateaux.

La figure 27 montre la répartition des ressources hydraulique en Algérie.

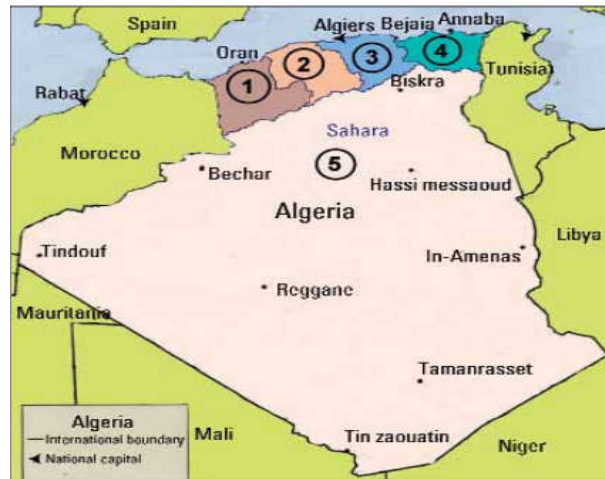


Figure I-27 Les ressources hydrauliques en Algérie

Tableau I-2 La distribution des ressources hydrauliques en Algérie

La distribution des ressources hydrauliques en Algérie						
Bassin hydrographique	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Total
Ressource	1025	1840	4380	4500	600	12.34
Pourcentage	8.7	15.7	37.3	38.3	0.48	100

**I.4.5 Station de Transfer d'énergie par pompage STEP :**

**I.4.5.1 Principe de fonctionnement:**

Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) sont un type particulier d'installations hydroélectriques. Composées de deux bassins situés à des altitudes différentes, elles permettent de stocker de l'énergie en pompant l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur lorsque la demande électrique est faible. Lorsque la demande électrique augmente, elles restituent de l'électricité sur le réseau en turbinant l'eau du bassin supérieur.

Selon le volume de leurs réservoirs, les STEP sont de type :

- **Journalier** : lorsque les réservoirs ne stockent que l'eau nécessaire à quelques heures de marche.
- **Hebdomadaire** : lorsqu'ils permettent quelques dizaines d'heures de pompage.

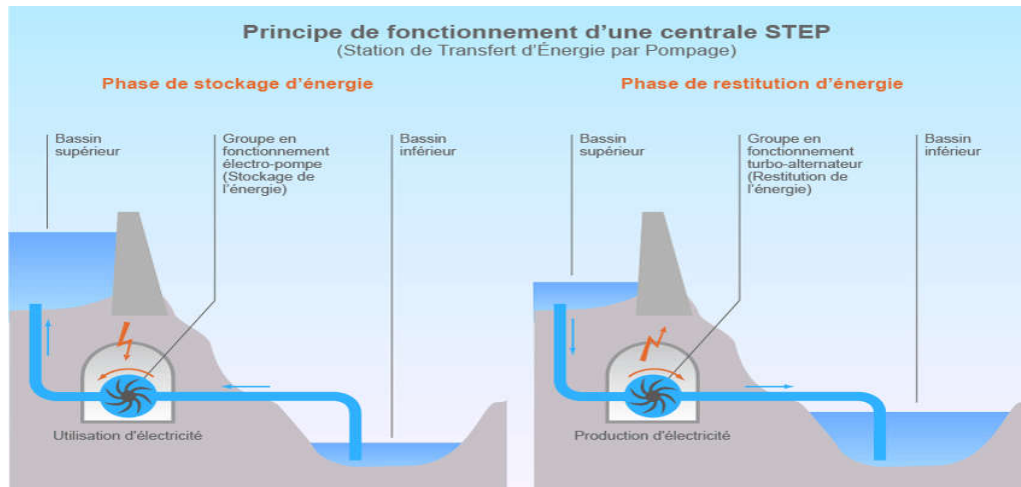


Figure I-28 Les principes de fonctionnement d'une centrale STEP

### I.4.5.2 Les turbines hydrauliques:

#### I.4.5.2.1 Principe de fonctionnement:

Les turbines hydrauliques sont avant tout utilisées dans les centrales électriques pour la production d'énergie électrique. Elles convertissent l'énergie potentielle de l'eau en énergie mécanique. Pour ce faire, l'énergie potentielle gravitationnelle est tout d'abord convertie en énergie cinétique. L'eau en écoulement est accélérée à une vitesse la plus élevée possible à l'intérieur d'un distributeur ou d'une buse. L'impulsion du fluide est rendue exploitable comme force périphérique en le déviant dans une roue. Il existe plusieurs types de turbines hydrauliques, la figure (I.36) présente des exemples de turbines Francis, Kaplan.

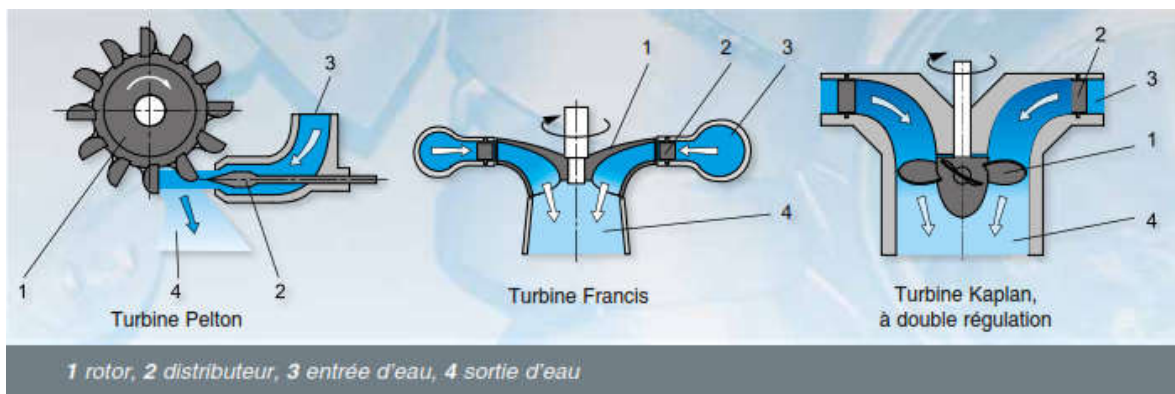


Figure I-29 Les types des turbines hydraulique

Les différents types de turbines ont différents domaines d'application :

- ◆ **Turbine Pelton** : hauteur de chute très élevée, de 130m à 2000m.
- ◆ **Turbine Francis** : hauteur de chute moyenne, 40m à 730m.
- ◆ **Turbine Kaplan** : hauteur de chute faible, de 5m à 80m.

#### I.4.5.2.2 La turbine-pompe:

Les groupes turbine-pompe se répartissent suivant deux types d'architectures :

- ◆ Les groupes ternaires qui regroupent sur un même arbre : une turbine, un alternateur-moteur, une pompe, l'ensemble des machines tournant toujours dans le même sens de rotation ;
- ◆ Les groupes binaires qui regroupent sur le même arbre un alternateur-moteur couplé à une turbine-pompe réversible, le sens de rotation en mode pompe et en mode turbine étant inversés.

### 1.5 Aperçu sur le dimensionnement des centrales hybrides :

Dans une installation hybride, le concepteur du système doit associer les sources d'énergie et les moyens de stockage de manière à satisfaire deux objectifs :

- ◆ Assurer une production suffisante pour couvrir l'ensemble de la consommation électrique des utilisateurs
- ◆ Garantir le coût minimum de l'énergie consommée par les utilisateurs

Pour dimensionner un system hybride, Il s'agit de déterminer la puissance et la capacité des différents éléments. Cependant, à cause de la nature intermittente des sources renouvelables surtout le solaire, le dimensionnement de l'installation s'avère difficile et doit, en toute rigueur, dépendre à la fois des caractéristiques météorologiques du lieu d'installation tout en intégrant le profil de consommation.

La méthode adoptée pour le dimensionnement de notre système hybride s'effectue comme suit :

- ◆ L'étude du potentiel énergétique dans notre site : dans lequel on détermine les différents paramètres métrologiques solaire du lieu tel que : irradiation normal direct DNI, la température ambiante...etc. ainsi, les caractéristiques thermiques des sources eau géothermiques dans le site implantation (température, débit et enthalpie).
- ◆ Le dimensionnement de la centrale solaire hybride géothermique-solaire : Suivant une puissance souhaitée, Un dimensionnement préliminaire de la capacité des différents composants du system sera réalisé, pour déterminer le nombre des collecteurs solaire et la surface du champ solaire nécessaire a partir d'une turbine a vapeur choisi.
- ◆ Le dimensionnement du Station de transfert d'énergie par pompage STEP : il s'agit de déterminer le volume des réservoirs d'eau et les caractéristiques du groupe turbines-pompes a partir de la puissance électrique produite par la centrale hybride géothermique/solaire.

### 1.6 Objectif de travail:

Notre travail présente une contribution à l'étude d'implantation d'une centrale hybride solaire-géothermique au niveau de la ville touristique de Bou-Hanifia, wilaya de mascara située à l'Ouest de l'Algérie. Ce site possède des paramètres géothermaux favorables en terme débit d'eau et température.

Cependant pour bien faire algorithme de dimensionnement et simulation du fonctionnement d'une centrale hybride (solaire, géothermie & STEP). Ce système hybride doit produire quelque mégawatt d'énergie électrique. Il sera équipé par un stockage hydraulique par pompage (STEP) et reliée au réseau électrique. Le fonctionnement de cette centrale est basé sur le cycle de Rankine ouvert (ORC). Le fluide géothermique est injecté sur un champ solaire thermodynamique produisant la vapeur qui fait fonctionner la centrale hybride solaire-géothermale par génération directe de vapeur (DSG).

L'intérêt de cette configuration est de réduire le volume du champ solaire, d'exploiter le potentiel géothermique du lieu et de réduire la complexité du système.

## I.7 Conclusion

Les énergies renouvelables représentent une grande partie de notre avenir énergétique. Elles permettent le développement futur et sont une solution de nos problèmes énergétiques et environnementaux. Il y a plusieurs énergies renouvelables qui existent mais sont peu utilisées par l'homme car elles ont un coût élevé.

Un de ces énergies renouvelables est l'énergie solaire thermique, C'est une branche inestimable de l'exploitation de rayonnement solaire et le gisement sous forme de travail mécanique pour produire de l'électricité ou sous forme de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux ou bien encore pour la climatisation et la production du froid.

Si on parle de l'énergie terrestre, on veut dire la géothermie. C'est une énergie terrestre renouvelable, elle provient du centre de la Terre, elle est présente sur tous les continents. Elle est exploitée depuis des centaines d'année mais son utilisation reste limitée, parmi the technique d'exploitation de cette énergie, La pompe à chaleur est la représentation la plus connue de la géothermie.

La pollution de l'air à cause de l'utilisation des énergies fossiles rend la géothermie plus écologique ce qui est exact car c'est un progrès pour l'environnement car comme d'autres énergies renouvelables (solaire, éolienne...) elle réduit l'effet de serre donc le réchauffement climatique et elle est inépuisable.

Ensuite, L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable et non polluante puisque même avec toutes les différentes façons de son exploitation, il n'y a aucun dégagement de gaz à effet de serre, ni de production de déchets toxiques. Cependant la production d'électricité par l'énergie hydraulique comporte à côté de cela un grand nombre d'avantages. L'eau est totalement gratuite, disponible et surtout inépuisable. De plus l'énergie hydraulique peut être exploitée selon des techniques variées (Hydroliennes, usines marémotrices ... etc.).

Pour conclure cette, on peut dire que les énergies renouvelables sont une énorme ouverture sur l'avenir de notre monde. On sait que la plupart des énergies utilisées aujourd'hui (principalement l'énergie fossile) sont tous près de leur épuisement. C'est un problème que l'on a pu éviter grâce à ces nouvelles énergies.

L'utilisation d'énergies renouvelables est donc un projet qui respecte les principes du développement durable.



*Chapitre II :*  
*Présentation et modélisation du system multi*  
*sources*

## CHAPITRE II: Présentation du system multi source :

Dans cette étude, nous allons étudier la faisabilité d'un système hybride multi sources, composé d'une centrale hybride géothermique/solaire à génération directe du vapeur où la source d'eau géothermique est injectée directement sur le system solaire pour le transféré au vapeur surchauffé pour actionner une turbine à vapeur suivant une configuration proposée par (1)

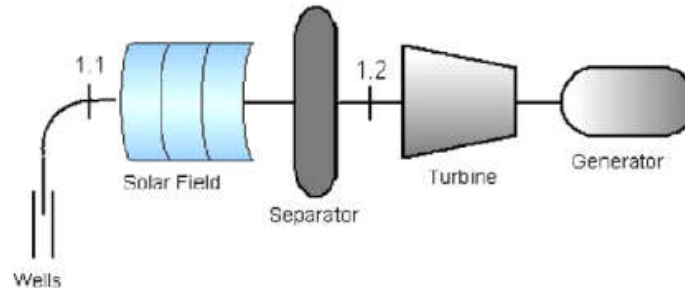


Figure II-1 Configuration d'une centrale solaire à DSG

L'énergie produit par le system hybride est basé à l'énergie solaire reçue par le site implantation (car l'énergie thermique de la source géothermique est supposée constante), donc due à la nature intermittente de l'énergie solaire nous avons proposé un stockage hydroélectrique, appelé aussi le STEP (station de Transfer d'énergie par pompage).

L'excès de l'énergie produite par le système hybride (géo/solaire+ STEP) est stocké d'une façon idéale c'est-à-dire fonctionnant avec un rendement unité dans les deux régimes – charge et décharge. Dans le cas d'un manque d'énergie produite par le système hybride DSG, le consommateur est alors alimenté par le stockage, Quand celui-ci le permet si non par le réseau. Un schéma de principe du système est présenté sur la figure (II.2)

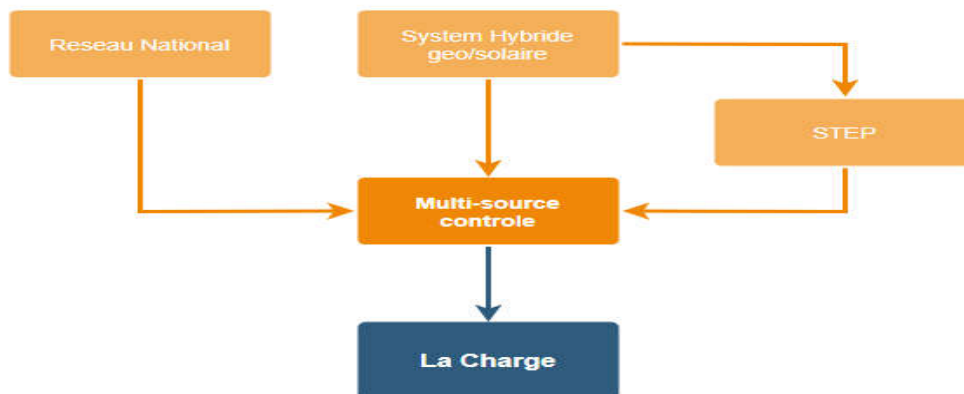


Figure II-2 Schéma de fonctionnent du system multi source

### II.1.1 System hybride géothermique-solaire:

L'installation proposée est constituée d'un système de concentration solaire à collecteurs cylindro-paraboliques, dans lequel le fluide de travail est l'eau sortant de la source géothermique chaude. Les caractéristiques thermiques de l'eau géothermique sont considérées constantes, la température et le débit massique sont respectivement 68C et 9Kg/s [2].

Parmi les différentes technologies solaires, nous avons utilisés un champ solaire avec une génération direct de vapeur pour augmenter l'enthalpie du fluide du travail afin de fonctionner la turbine a vapeur. Dans cette configuration, le changement d'état (liquide/vapeur) se passe dans l'absorbeur du champ solaire. Puisque le système hybride multi sources, composé d'une centrale hybride géothermique/solaire a génération directe du vapeur où la source d'eau géothermique est injecte directement sur le system *solaire alors ce champ solaire* permet d'exploiter le potentiel thermique de la source géothermique et d'augmenter son enthalpie et aussi pour réduire le volume des concentrateurs solaire.

Dans ce cas on va chercher la surface du champ solaire nécessaire pour augmenter l'enthalpie massique d'eau géothermique.

### II.1.2 Stockage Hydro-électrique STEP:

Nous avons utilisé ce type de stockage grâce a l'existence d'un barrage hydroélectrique au voisinage du site d'implantation (barrage de Bou-Hanifia). Ce dernier a été équipé depuis longtemps par un groupe turbine/alternateur réversible. Donc, la machine synchrone fonctionne en générateur et la turbine en mode entraînement dans le cas de chute d'eau pour produire de l'électricité. Dans le cas 'excès l'énergie électrique produite la machine synchrone sera alimentée donc elle fonctionne en mode moteur et la turbine en mode pompe pour le remplissage du barrage a partir du réservoir inférieure.

Dans cette étude, On considère que le système de stockage a une journée d'autonomie, c'est-à-dire le temps de la décharge d'eau du barrage ne dépassera pas 24 heures, Nous cherchons à calculer la capacité de stockage nécessaire pour le fonctionnement du system et aussi pour dimensionner le bassin inférieur de la conservation d'eau.

## II.2 Modélisation d'une centrale solaire a génération directe de vapeur :

Les Centrales Solaires Thermodynamiques à génération directe de vapeur utilisent la concentration optique du rayonnement solaire direct pour produire de la vapeur d'eau à haute pression et haute température. La vapeur d'eau est ensuite utilisée directement comme fluide de travail d'un cycle thermodynamique type Rankine, pour la propulsion d'un couple turbine-génératrice et assurer ainsi une production électrique. La différence entre les centrales solaires thermiques traditionnelles et les centrales à génération direct de vapeur, est que le changement d'état du fluide du travail dans une centrale à DSG se passe dans le concentrateur solaire.

### II.2.1 Modélisation d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique :

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques (CCP) pour focaliser le rayonnement incident sur un absorbeur de surface réduite par rapport a la surface d'ouverture du collecteur figure (II.3). Généralement, pour une bonne efficacité ces concentrateurs doivent être menés d'un suiveur du mouvement apparent du soleil.

Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C [3].

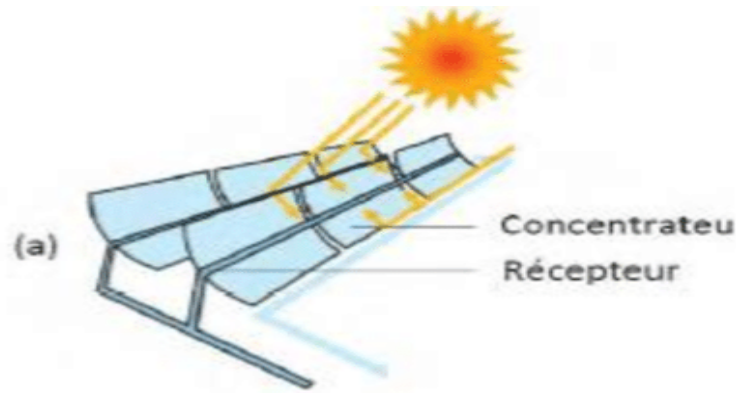


Figure II-3 Un collecteur cylindro-parabolique

### II.2.1.1 Estimation du rayonnement solaire:

Il existe plusieurs modèles basés sur approches physiques, analytiques et statistiques pour estimer le flux de rayonnement solaire. D'après la littérature scientifique récente, nous avons choisi deux modèles. Le modèle de **Perrin de Brichambeaut** au 1982 et le modèle de **Liu et Jordan**. Parce qu'ils donnent de bons résultats pour l'estimation d'irradiation sur un plan horizontal et incliné respectivement :

#### II.2.1.1.1 Modèle de PERRIN DE BRICHAMBEAUT (plan horizontal) :

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme du rayonnement direct et diffus, donné par l'équation

$$G_h = I_h \cdot \sin h + D_h \quad \text{II-1}$$

Où

$I_h$  : Le rayonnement direct reçu par une surface horizontale.

$D_h$  : Le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale.

$G_h$  : Le rayonnement global reçu par une surface horizontale.

Le premier composant de rayonnement 'direct' est donné par l'expression (II-2) :

$$I_h = A \cdot \exp \frac{-1}{B \cdot \sin(h + C)} \quad \text{II-2}$$

Avec :

$A, B$  et  $C$  sont des constantes empiriques qui dépendent de la nature du ciel.

La deuxième composante du rayonnement 'diffus' est donnée par l'équation (II.3):

$$D_h = E \cdot (\sin h)^{0.4} \quad \text{II-3}$$

La valeur de la constante empirique  $E$  est :

$$E = (3/4) \times 125 ; \text{ pour un ciel très clair (CTC)}$$

$E = 125$ ; pour des conditions normales de ciel clair  
 $E = (4/3) \times 125$ ; pour un ciel clair pollué (CCP).

La formule globale de Perrin est obtenue directement par l'expression (II-4) :

$$G_h = A. (\sin h)^D \quad \text{II-4}$$

Où :

( $A = 1150$  ;  $D = 1.15$  ) pour un ciel très clair (CTC) ;  
 ( $A = 1080$  ;  $D = 1.22$  ) pour des conditions normales de ciel clair ;  
 ( $A = 990$  ;  $D = 1.25$  ) pour un ciel clair pollué (CCP).

### II.2.1.1.2 Modèle de LIU et JORDAN (plan incliné)

On peut calculer l'éclairement solaire sur des plans inclinés à partir de l'éclairement direct et diffus est connu sur un plan horizontal. Dans ce cas le rayonnement global arrivant sur une surface inclinée, est composé de trois composantes :

Composante du direct diffus isotrope et diffus provenant du ciel et qui sont donnés par les équations et. Le rayonnement global sur un plan incliné donnée par l'équation (II.5) :

$$G_i = R_d(\beta)D_c(\beta)D_s(\beta) \quad \text{II-5}$$

La composante du rayonnement direct est donnée par la relation (II.6) :

$$R_d(\beta) = I_h R_b \quad \text{II-6}$$

Avec  $R_b$  : est le facteur d'inclinaison donné par la relation :

$$R_b = \frac{\cos(L - \beta). \cos \delta. \cos \omega + \sin(L - \beta). \sin \delta}{\cos L. \cos \delta. \cos \omega + \sin L. \sin \delta} \quad \text{II-7}$$

La composante du rayonnement diffus sur un plan incliné est donnée par l'expression :

$$D_c(\beta) = D_h \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad \text{II-8}$$

La dernière composante du rayonnement diffus par le sol est donnée par l'équation

$$D_s(\beta) = G_h \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \cdot \rho \quad \text{II-9}$$

Où :

$\beta$  : Angle d'inclinaison du plan par rapport à l'horizontal.

$\rho$  : Albédo du sol.

### II.2.1.1.3 Calcul de la puissance utile :

Pour déterminer la quantité de chaleur utile récupérée par le fluide, il faut tout d'abord savoir estimer l'influence du degré de concentration du rayonnement solaire sur les performances thermiques du capteur.

Soit  $R_d(\beta)$  le rayonnement direct, et  $S_e$  la surface effective d'un réflecteur du capteur cylindro-parabolique. La puissance thermique émise par le soleil et reçue par le concentrateur vaut donc :

$$q_{absorbé} = S_e \cdot R_d(\beta) \quad \text{II-10}$$

La surface de l'absorbeur recevant la même puissance que « Se » on peut dire que la concentration a pour effet d'augmenter la puissance par unité de surface, mais il y a des pertes optiques autour de l'enveloppe transparente et l'absorbeur, par conséquent la puissance par unité de longueur de l'absorbeur donnée par la relation (II-11) :

$$q_{absorbe} = \tau \cdot \alpha \cdot \rho_m \cdot S_e \cdot R_d(\beta) \cdot k(\theta) \quad \text{II-11}$$

Où :

$\rho_m$  : Facteur de réflectivité du miroir.  $\alpha$  : Coefficient de l'absorption du tube de l'absorbeur ;

$\tau$  : Coefficient de transmission de la couverture ;

$k(\theta)$  : Angle incidence modifié.

## II.2.2 L'architecture d'un champ solaire linéaire DSG

### II.2.2.1 Architecture en recirculation

Dans la partie du vaporiseur, l'eau est préchauffée et vaporisée dans une première partie du champ solaire, puis la vapeur est surchauffée dans une autre partie, appelée la surchauffeur. L'eau géothermique chaude est injectée en entrée du vaporiseur, chauffée jusqu'à la saturation liquide, puis vaporisée jusqu'à un titre de vapeur est inférieure au niveau de saturation. Entre les deux parties se trouve le séparateur, l'écoulement diphasique est recueilli par un ballon qui fait également office de séparateur de phases.

- ♦ L'eau liquide est « recirculée » par une pompe en entrée du vaporiseur où elle est mélangée avec l'eau d'alimentation provenant du bloc de puissance.
- ♦ La vapeur saturée, est envoyée à l'admission de la surchauffeur. La figure (II-4) schématise l'architecture.

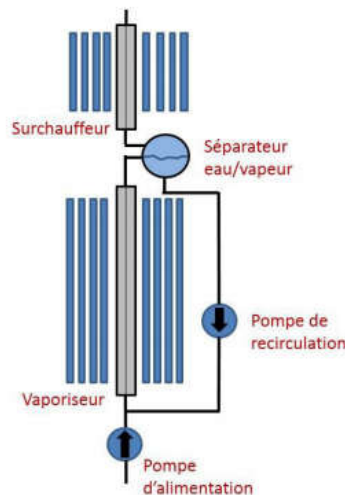


Figure II-4 Architecture a recirculation

La quantité de vapeur a la sortie du vaporiseur est généralement entre 60% et 80%. Il doit être assez élevé pour assurer un niveau de production de vapeur important et assez bas pour avoir une marge par rapport à la saturation vapeur.

La quantité de vapeur peut se définir par un état thermodynamique, comme décrit dans l'équation (II.12).

$$x_{th,o} = \frac{h_0 - h_i}{h_{sat,v}(P) - h_{sat,l}(P)} \quad II-12$$

$X_{th,o}$  Est la quantité de vapeur de sortie, A la pression nominale du vaporiseur,  $h_0$  et  $h_i$  sont les valeurs des enthalpies massiques d'entrée et de sortie,  $h_{sat,l}$  l'enthalpie massique de saturation liquide et  $h_{sat,v}$  celle à saturation vapeur.

Les termes  $h_{sat,l}$  et  $h_{sat,v}$  dépendent de la pression nominale, que l'on suppose constante dans le vaporiseur pour les besoins du dimensionnement et des bilans énergétiques.

L'enthalpie massique de sortie peut être calculée à partir d'un bilan d'énergie, connaissant la puissance solaire absorbée par le vaporiseur.

L'enthalpie massique d'entrée peut être calculée à partir d'un bilan énergétique sur le mélange en entrée du champ solaire :

$$h_i = \frac{Q_{feed} \cdot h_{feed} + Q_{recir} \cdot h_{recir}}{Q_{feed} + Q_{recir}} \quad II-13$$

Avec  $Q_{feed}$  est le débit massique d'eau alimentaire et  $h_{feed}$  son enthalpie massique,  $Q_{recir}$  est le débit massique de recirculation et  $h_{recir}$  est l'enthalpie massique de l'eau recirculée.

On prend  $r$  le rapport des deux débits :

$$r = \frac{Q_{recir}}{Q_{feed}} \quad II-14$$

On peut alors réécrire l'enthalpie massique d'entrée :

$$h_i = \frac{1}{1+r} h_{feed} + \frac{r}{1+r} h_{recir} \quad II-15$$

En négligeant les pertes thermiques et de pression dans le circuit de recirculation :

$$h_{recir} = h_{sat,l}(P) \quad II-16$$

### II.2.2.2 Architecture Once-through

Avec l'architecture « once-through », il n'y a pas la séparation des phases entre le vaporisateur et la surchauffeur. La vaporisation et la surchauffe se font dans la même partie du champ solaire.

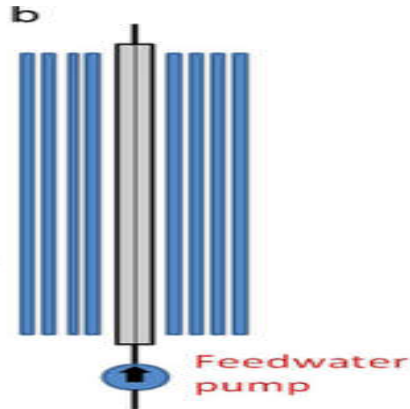


Figure II-5 L'architecture Once-through

De la vapeur sèche est attendue en sortie de ligne, et l'eau d'alimentation en entrée provient uniquement du bloc de puissance. Du fait du fort comportement dynamique du système de génération de vapeur, la localisation des points de transition entre la préchauffe et la vaporisation d'une part, et la vaporisation et la surchauffe d'autre part, ne sont ni fixe, ni connus précisément. Ces positions peuvent néanmoins être estimées par des bilans d'énergie stationnaires, en calculant la position le long de la ligne où l'enthalpie massique atteint.

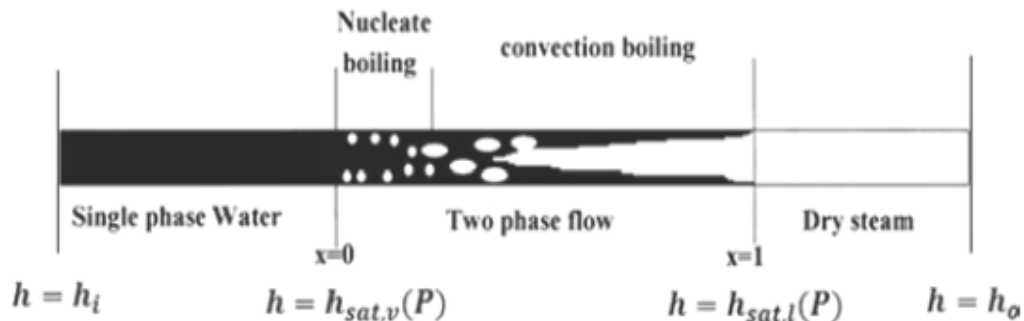


Figure II-6 Le changement de phase dans le récepteur

### II.2.2.3 Architecture en injection

Dans cette architecture, plusieurs injecteurs d'eau alimentaire sont répartis le long de la ligne et un faible débit y est à chaque fois injecté. Comme pour le mode once-through, la vaporisation et la surchauffe se font dans la même ligne, et la connaissance précise des enthalpies de l'eau/vapeur est donc également difficile. Cette connaissance est pourtant nécessaire au bon réglage du système de contrôle, c'est la raison pour laquelle ce mode de fonctionnement n'est pas utilisé actuellement à notre connaissance. Aux 50 débuts des études sur la DSG, ce mode de fonctionnement était pourtant considéré comme prometteur pour sa bonne stabilité potentielle.



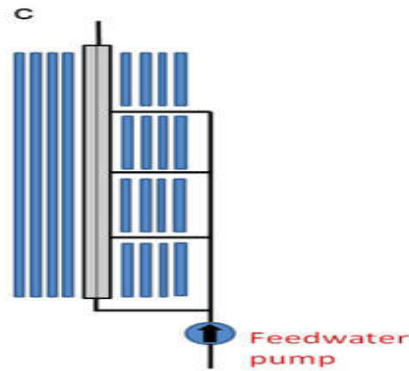


Figure II-7 Architecture à réinjection

### II.3 Modélisation d'une turbine à vapeur:

L'énergie fournie à une turbine à vapeur est fournie par un générateur de vapeur, qui produit et surchauffe généralement la vapeur à des pressions égales ou supérieures à la pression à l'entrée de la turbine.

Seule une partie de l'enthalpie initiale à l'entrée de la turbine peut être transformée dans une puissance mécanique transmise à un alternateur qui est la convertir à l'énergie électrique. L'enthalpie ( $h$ ) d'un vapeur, est mesurée en et l'enthalpie initiale dépend à la fois de la pression et de la température initiales.

$$h = U + \left( \frac{pv}{J} \right)$$

II-17

L'Enthalpie, par définition comprend à la fois a l'énergie interne ( $U$ ) et l'énergie d'écoulement  $\left( \frac{pv}{J} \right)$  avec le potentiel de conversion en vitesses de vapeur.

Comme la plupart des centrales électriques conventionnelles, les centrales CSP utilisent un cycle thermodynamique de Rankine à vapeur pour générer un travail qui entraîne un générateur d'électricité. La figure 2-8 ci-dessous montre un cycle de Rankine à vapeur idéal.

**1-2-3-4 :** Transfert de chaleur isobare. L'eau d'alimentation est préchauffée à conditions de saturation du liquide uniquement dans le champ solaire. L'eau est alors vaporisée et la vapeur est surchauffée dans le champ solaire. Le processus est idéalement isobare, mais la chute de pression se produit en fait dans les tubes absorbeurs et tuyauterie externe.

**4-5 :** **Expansion isentropique.** La vapeur surchauffée diminue enthalpie par expansion dans la turbine. Le processus idéal est isentropique, mais l'entropie augmente en fait ce qui conduit à moins transfert d'énergie sur les aubes de turbine.

**5-6 :** **Rejet de chaleur isobare.** La vapeur est surchauffée (si conditions surchauffées en 5), condensées et sous-refroidies dans un échangeur de chaleur. Le processus est de nouveau idéalement isobare, mais des pertes de charge sont effectivement observées dans le condenseur.

**6-1 :** **Compression isentropique.** La pression de l'eau condensée est élevée dans la pompe d'alimentation et amené au champ solaire en fonctionnement pression.

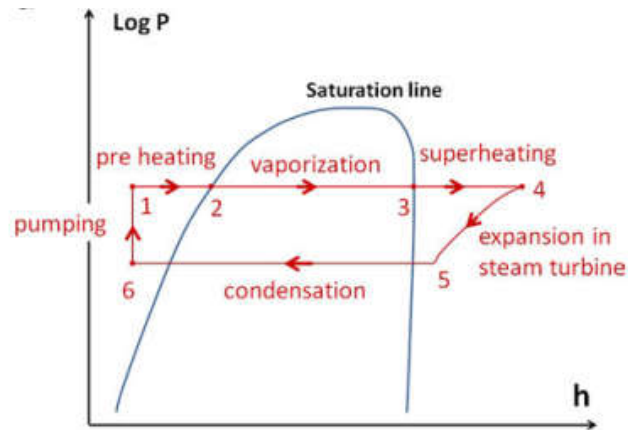


Figure II-8 Le cycle idéal de Rankine

À partir du bilan énergétique, la puissance de sortie ( $W$ ) d'une turbine à vapeur à contre-pression à une seule extraction peut être déterminée à partir de :

$$W = m(h_1 - h_2) \quad II-18$$

Où

$m$  : est le débit massique de vapeur ;

$h_1$  et  $h_2$  : sont les enthalpies spécifiques aux conditions d'entrée et de sortie respectivement.

Une portion de l'énergie potentielle de la vapeur peut être utilisée. L'énergie transmise à l'arbre est représentée par un processus adiabatique réversible ou isentropique dans lequel aucune chaleur n'est ajoutée ou soustraite.

Le terme  $\Delta h$ , définit théoriquement un changement d'état de la vapeur dans une turbine à vapeur idéale et il est utilisé pour l'évaluation de rendement du cycle de Rankine idéal.

$$n_r = \frac{\Delta h_r}{h_1 - h_l} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_l} \quad II-19$$

$h_1$  : Enthalpie à l'entrée de la turbine ;

$h_2$  : Enthalpie à la sortie de la turbine ;

$h_f$  : Enthalpie d'eau d'alimentation water.

#### II.4 Modélisation de la station de Transfer électricité par pompage STEP

Le stockage hydraulique par pompage est le principal système de stockage d'énergie dans notre étude. Le sous-système STEP se compose d'une pompe / d'un moteur séparé et une turbine / générateur.

Le groupe turbine/génératrice réversible peut être utilisé dans un sens comme turbine avec production d'électricité et dans l'autre sens comme pompe en utilisant l'énergie électrique produite par d'autres moyens de production pour faire remonter l'eau d'une certaine hauteur manométrique et avec un certain débit.

Le système de stockage sera installé sur un barrage hydraulique d'une hauteur de 54 m et un débit d'eau jusqu'à  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  (4), dans ce cas, l'installation nécessite la construction d'un réservoir inférieur à la base du barrage.

**II.4.1 La charge :**

Le débit d'eau aspiré du réservoir inférieur par les pompes est exprimé en l'équation (II-20). La source d'alimentation est directement fournie par le system hybride.

$$q_p(t) = \frac{n_p \cdot P_{h \rightarrow p}(t)}{\rho g h} = C_p \cdot P_{h \rightarrow p}(t) \quad \text{II-20}$$

Où  $P_{h \rightarrow p}(t)$  est la puissance de charge du générateur hybride à la pompe (W) ;  $h$  est la hauteur manométrique (m) ;  $g$  est l'accélération gravitaire ( ) ;  $r$  est la densité de l'eau ) ;  $hp$  est l'efficacité globale de pompage ; et  $cp$  est le coefficient de pompage de l'eau de l'unité pompe / moteur ).

**II.4.2 La décharge:**

En cas de déficit énergétique, l'eau est puisée dans le réservoir supérieur pour faire fonctionner les turbines hydrauliques. La puissance dégagée par la turbine / générateur est exprimé par l'équation (III-21):

$$P_t(t) = \rho g h \cdot q_t(t) = C_t q_t(t) \quad \text{II-21}$$

Où  $ht$  est l'efficacité globale de l'ensemble turbine / générateur ;  $q_t(t)$  est le débit volumétrique d'eau entrant dans la turbine ;  $ct$  est le coefficient de génération de turbine

**II.4.3 Réservoir d'eau:**

La quantité d'eau stockée dans le réservoir devrait être suffisante pour répondre à la demande d'électricité du site d'étude en cas de déficit électrique. Le niveau d'eau dans le réservoir peut être considéré comme l'état de charge (SOC) du réservoir de stockage. L'énergie potentielle gravitationnelle stockée dans le réservoir devrait être :

$$E_c = n_{day} \cdot E_{load} = \frac{n_t \cdot \rho \cdot V \cdot g \cdot h}{3.6 \cdot 10^6} \quad \text{II-22}$$

Où  $Ec$  est la capacité de stockage d'énergie d'un réservoir d'eau (kWh) ;  $n_{day}$  est le nombre de jours d'autonomie ;  $E_{load}$  est l'énergie de charge quotidienne consommée ;  $V$  est le volume ou la capacité de stockage de l'eau réservoir ( $m^3$ ). Par conséquent, le volume requis du réservoir peut être obtenu.

La quantité totale d'eau stockée dans le réservoir est déterminé par :

$$Q_{UR}(t) = Q_{UR}(t-1)(1-\alpha) + q_p(t) - q_t(t) \quad \text{II-23}$$

Où  $\alpha$  est la perte par évaporation et fuite. Pour simplifier, cette étude a ignoré ces pertes dans les équations ci-dessus. En outre, la quantité d'eau du réservoir supérieur est soumise aux conditions suivantes :

$$Q_{UR_{min}} \leq Q_{UR} \leq Q_{UR_{max}} = V \quad \text{II-24}$$

Une limite inférieure de quantité d'eau a été maintenue pour maintenir la pompe presse ( $V=20\%$ ), pour préserver l'efficacité et pour soutenir la réserve d'urgence

**II.5 La charge:**

Actuellement, La ville de Bou-Hanifia est alimentée par un le réseau électrique national. Cependant, les informations de charge réelles sur cette ville ne sont pas mesurées. De plus, la Master Energies renouvelables en électrotechnique 2020

demande d'électricité va augmenter en raison du nombre croissant de résidents dans la future proche.

Par conséquent, dans cette étude, la charge de base quotidienne sur cette ville était estimée à 600 MWh / jour, puis vérifiée par le logiciel HOMER en ajoutant un caractère aléatoire pour différents jours et mois, créant un profil très proche d'au profil réel de consommation de cette ville.

## II.6 Les Hypothèses:

Dans cette étude, le système multi source étudié se compose de trois sous-systèmes :

- Un système mixte géothermique/solaire d'une puissance crête de 10MWe ;
- Un système de stockage hydraulique d'une puissance nominale de 5 MWe avec un temps de décharge de 24 heures.
- Les deux sous systèmes sont connectés au réseau électrique qui constitue la troisième source.

La ville consomme une puissance supérieure (25-33MW) à la production des deux sous-systèmes renouvelables (15MW), donc l'utilisation de réseau électrique est toujours présente mais d'une façon réduite ce qui affaiblit les émissions des gaz polluants.

La puissance crête produite par la centrale hybride est 10MWe, on a besoin seulement de 6 MWe pour injecter au réseau, cela implique que 4MWe restée de la puissance produite est une puissance supplémentaire. Alors cette énergie sera stockée grâce à un système de stockage.

Le fonctionnement de la centrale hybride sera simulé en utilisant un logiciel EBSILON PROFESSIONAL, les différents résultats selon différentes conditions et irradiation solaire seront présentés dans le chapitre suivant.

Enfin, on applique une stratégie de gestion d'énergie à l'aide des données obtenues depuis les logiciels de simulation pour simuler le fonctionnement du système global.

## II.7 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons étudié un système multi source hybrides géothermique/solaire avec un stockage hydraulique STEP.

Nous nous sommes intéressés à la génération directe de vapeur dans les centrales à concentration linéaire. Dans un premier temps, nous avons réalisé une description de cette technologie, en analysant les différentes architectures avec lesquelles elle est mise en œuvre, ainsi que les problématiques associées à la caractéristique principale de la DSG.

Ce travail a permis d'apporter plusieurs éléments nouveaux dans le domaine des centrales CSP linéaires à génération directe de vapeur. Premièrement, il a permis le développement de modèles de champs solaires DSG. Ces travaux de modélisation sont également les seuls (à notre connaissance) à utiliser cette bibliothèque pour modéliser des champs solaires linéaires utilisant la génération directe de vapeur avec un concentrateur solaire cylindro-parabolique.

*CHAPITRE III:*  
*DIMENSIONNEMENT ET SIMULATION*

## CHAPITRE III : Dimensionnement et simulation :

### III.1 Introduction:

En raison de leur modularité, les mini-réseaux hybrides présentent un avantage important dans le domaine d'électricité. L'énergie générée par le system hybride est de meilleure qualité et d'un cout réduit par rapport aux sources traditionnelles et la génération du system s'adapte suivant la demande, cependant cette configuration est une alternative adossant aux réseaux électriques existants.

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur au dimensionnement et a la simulation d'un système multi source raccordé au réseau électrique. Il comporte une centrale hybride à source solaire thermique et une source géothermique, associés à système de stockage hydroélectrique réversible STEP.

### III.2 Dimensionnement et simulation du system Multi-Source :

Dans cette étude, une simulation et une étude paramétrique d'une centrale hybride géothermique-solaire avec un stockage hydraulique STEP ont été réalisées. Cette centrale a une puissance (2.5MWe), reliée au réseau pour démunie le temps l'utilisation de ce dernier pour limiter le taux de pollution dans les zones touristique.

Pour la centrale proposée, la simulation avec Epsilon Professional© a permis de calculer la puissance électrique de la sortie pour des différents valeurs d'irradiations avec un débit et une température de la source géothermique de 10 [kg/s] et 68[°C] respectivement.

#### III.2.1 Dimensionnement du system hybride:

##### III.2.2 Les coordonnées géographies du site:

Le projet d'implantation de la centrale hybride géothermale-solaire dans le site de la wilaya Mascara, exactement la ville touristique de Bou-Hanifia qui possède des paramètres géothermaux favorables en terme débit et température.

L'objectif de cette étude est d'exploiter le potentiel géothermique du lieu pour réduire le volume des concentrateurs solaires parabolique requis pour produire 2.5 Mégawatts de puissance électrique. La ville de BOU-HANIFIA est également une station thermale qui procède plusieurs sources géothermiques, avec une température moyenne d'eau chaude est d'environ de 68°C avec un débit de 9kg/s, et une capacité de 2.5MW (1). Elle est située à 20 km au Sud-ouest de Mascara et à 100 km au Sud-est d'Oran, à 237 mètres d'altitude. Le gisement solaire de cette région est important, il représente plus que (5kwh/m<sup>2</sup>), les figures (III-1) et (III-2) indique la position du site.

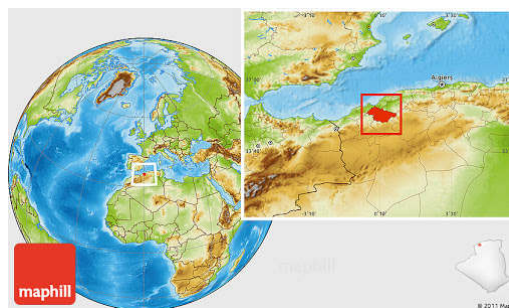


Figure III-1 La situation géographique de Bou-Hanifia



Figure III-2 Vue aérienne de la ville de Bou-Hanifia sur Google Mapsyh.

Pour cette étude sont relevées à partir de Météonome, un logiciel de base de données météorologiques mondiales qui génère des données météorologiques pour n'importe quelle localisation dans le monde sur la base de modèles de base de données et d'interpolation à partir de la base de données des stations météorologiques les plus proches de l'emplacement.

En utilisant ce logiciel, nous avons trouvé l'évolution de l'irradiation direct normal DNI pendant une année ainsi que la variation horaire de cette dernière. Les résultats sont illustrés dans les figures (III-3) et (III-4).

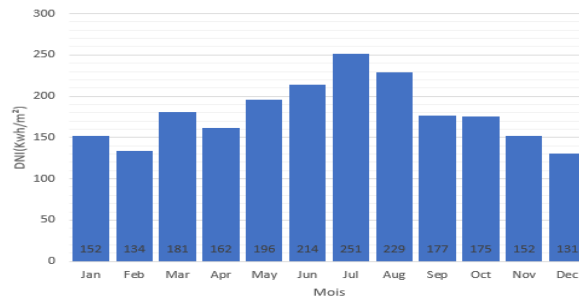


Figure III-3 L'évolution de l'irradiation direct normal DNI

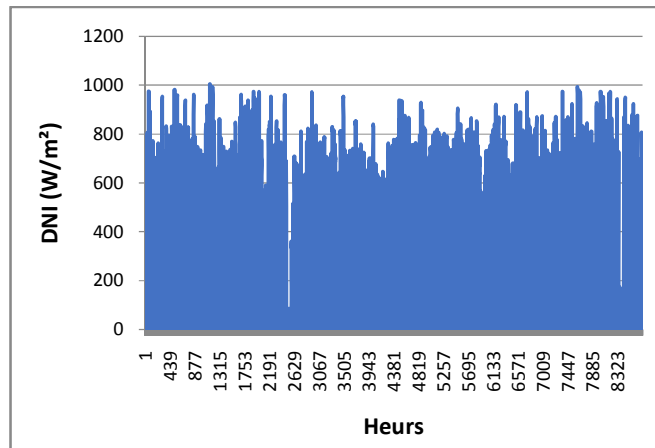


Figure III-4 La variation horaire de l'irradiation normale Directe (DNI)

### III.2.3 Le barrage de Bou-Hanifia :

Le barrage de Bou-Hanifia est situé à 4.5 Km à la ville de Bou-Hanifia sur l'oued El Hammam dans la Wilaya de Mascara, il fait également parti du triplex formé par trois barrages en cascade (Ouzert, Bou-Hanifia et Fergoug). Il contient une capacité de 75Million de mètre cube,

sa longueur crête est de 300m et sa hauteur de 54m. Ce barrage est déjà équipé d'une tour de prise d'eau d'irrigation (débit équipé 15M<sup>3</sup>/s) située en amont d'une galerie (galerie Sud) et équipée d'une conduite forcée avec une centrale hydro-électrique implantée au pied du barrage permet de turbiner les débits d'irrigation, cette centrale hydroélectrique a été arrêtée en 1994 en raison des terribles événements terroristes (2).



Figure III-5 Le barrage de Bou-Hanifia

Ce barrage est meilleur pour l'installation d'un système de stockage réversible hydraulique (STEP), il suffit de construire un bassin inférieur avec une capacité bien déterminée suivant l'énergie à stocker et une turbine d'une puissance et un type propre.

### III.2.4 Dimensionnement du système multi sources :

Comme mentionné sur le deuxième chapitre, le système multi source est composé d'une centrale hybride géothermique/solaire à génération directe de vapeur qui permet d'exploiter les ressources géothermique/solaire pour produire de l'énergie électrique. L'excès de l'énergie produite sera stocké grâce à une station de stockage hydroélectrique.

L'énergie produite par le système multi source est relativement petite et insuffisante pour alimenter la ville, donc le système est relié au réseau électrique conventionnel.

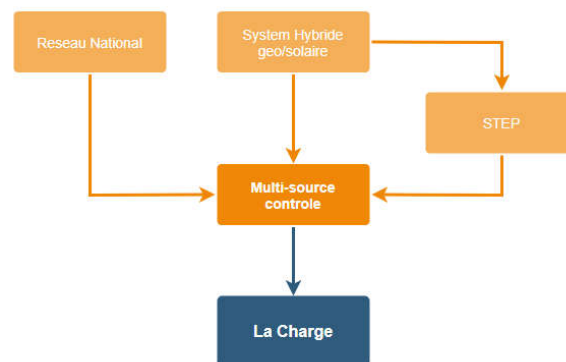


Figure III-6 Schéma global du système multi source

### III.2.5 Dimensionnement du central hybride géothermique/solaire :

Selon les multiples recherches réalisées sur les centrales hybrides solaire-géothermique, les auteurs **Lentz et al.** ont analysés en 2006, la réalisation d'une centrale hybride solaire-géothermique mixte. Cette dernière permet d'augmenter la production de la quantité de vapeur ainsi que la puissance de la centrale hybride en introduisant un champ solaire avec des concentrateurs cylindro-paraboliques.



La ville de Bou-Hanifia procède de sources géothermiques classées parmi les meilleurs en Algérie, avec des niveaux d'irradiantes très élevés. Cette dernière propriété facilite l'utilisation et le croisement d'un champ solaire avec un processus géothermique pour obtenir un système hybride fiable avec une production d'électricité importante pendant la journée. D'après nos connaissances les concentrateurs paraboliques peuvent également être efficacement intégrés à une centrale à cycle géothermique conventionnelle afin d'augmenter l'enthalpie et, par la suite, d'augmenter la quantité de vapeur. La centrale proposée se compose d'un puits géothermique, d'un champ solaire à concentrateurs paraboliques en série, turbine, séparateur et un condenseur comme indiqué sur la figure (III-7).

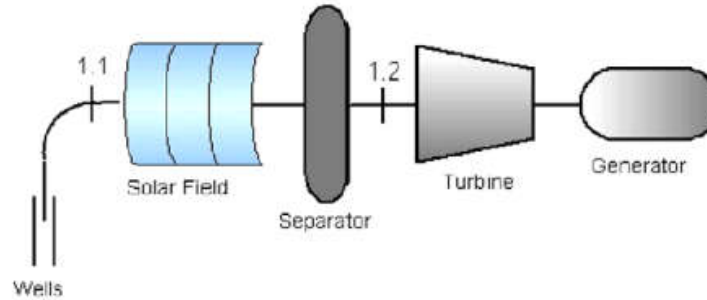


Figure III-7 Schéma de fonctionnement d'un system hybride solaire-géothermique

Ce système hybride solaire-géothermie (SHSG) utilise deux ressources énergétiques pour fournir de la vapeur dans un cycle de Rankine ouvert. En utilisant initialement le cycle géothermique avec une température moyennement élevée en ajoutant un concentrateur solaire pour augmenter encore la température au point de production de la vapeur. Cette configuration consiste à mettre le champ solaire entre les puits géothermiques et l'entrée de la turbine à vapeur. Figure (III-8) (3).

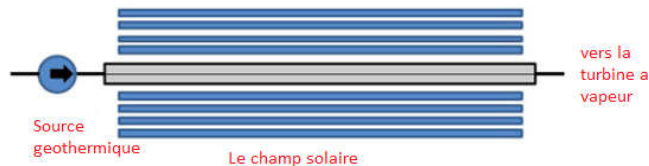


Figure III-8 Configuration du champ solaire

L'énergie fournie à une turbine à vapeur est fournie par le champ solaire qui produit la vapeur à partir d'eau de la source géothermique. L'enthalpie initiale ( $h$ ) de l'eau, souvent appelée à tort "enthalpie spécifique", est mesurée en  $KJ / Kg$  et dépend à la fois de la pression initiale et de la température.

Pour une température d'eau de  $68^{\circ}C$  et une pression de 1 bar l'enthalpie spécifique d'eau est égal à :

$$Hg = 284.69 \text{ KJ/Kg} \tag{III-1}$$

Pour un débit de  $9Kg/s$ , la source géothermique sera une puissance thermique de :

$$P = hg * Qg = 284.69 * 9 = 2.56 \text{ MW} \tag{III-2}$$

Seule une partie de l'enthalpie initiale à l'entrée de la turbine peut être transformée en puissance de travail.

Nous avons choisi une turbine à vapeur de 10 MW comme puissance mécanique. Les caractéristiques techniques de cette turbine sont données dans le tableau (III-1).

Tableau III-1 Les caractéristiques Techniques de la turbine EENKS 32/36/80-3

Modèle		EENKS 32/36/80-3
Puissance nominale		10
Entrée	Pression Bar	65
	Température C	420
	Débit massique (Ton/h)	35.3/27
Sortie	Pression MPa	0.1
	Température C	46
	Débit massique (Ton/h)	22/9
Générateur compatible		Siemens 12.5 MVA

La valeur de l'enthalpie à l'entrée de la turbine est calculée à partir de la pression, la température et à l'aide du tableau des vapeurs surchauffées (4):

Ensuite, nous avons calculé la quantité d'Energie thermique à l'entrée de la turbine :

$$P_{entree} = h * Q1 = 3035.4 * 9.77$$

$$= 31463.3 W$$

III-3

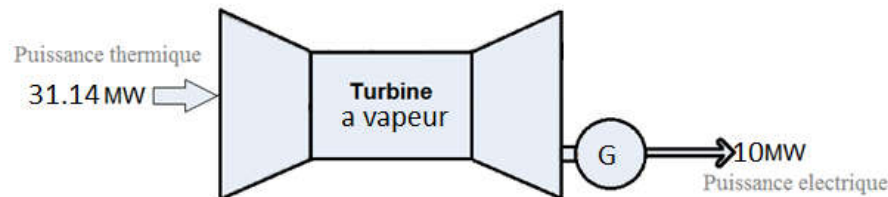


Figure III-9 Bilan énergétique de la turbine à vapeur

Le bilan énergétique de la turbine est illustré dans la figure (III - 9).

En connaissant la puissance thermique d'eau géothermique et la puissance nominale requis par l'ensemble (turbine + générateur), nous pouvons déterminer le volume du concentrateur parabolique requis.

$$P_{csp} = P_{turbine} - P_{geo} = 31.46 - 2.56$$

$$= 28.9 MW$$

III-4

Le modèle de capteur solaire sélectionné est **EUROTROUGH ET100** à cause de sa haute performance et de sa flexibilité.

Il peut fonctionner à la fois pour les applications à l'échelle industrielle et les processus industriels. Des températures de fonctionnement supérieures à 500 ° C peuvent être atteintes avec une concentration optique de 82 : 1 [17]. La géométrie de la structure est compatible avec les tubes récepteurs et les panneaux miroirs standard du marché (5)

Le tableau (III-2) résume les caractéristiques du champ solaire proposé.

Tableau III-2 Les caractéristiques techniques du collecteur Eurothrough ET100

<b>EuroThrough ET100</b>	
Distance focale	1.71m
Rayon d'absorbeur	35mm
Largeur d'ouverture	5.76
Surface utile	552m <sup>2</sup>
Longueur de collecteur	99.5m
Nombre des miroirs	224
Nombre de tubes absorbeurs	24
Rendement optique	94%

Le rendement global du capteur est défini par le rapport de la variation de l'enthalpie du fluide caloporteur et de l'énergie solaire incidente sur la surface des modules capteurs. La figure (III-10) représente Le rendement global pour 900 W / m<sup>2</sup> d'irradiation normale directe. La figure montre également les deux pertes dans un collecteur : les pertes optiques dues à la réflexion imparfaite, la configuration géométrique, les paramètres d'absorption, etc. et pertes thermiques au tube récepteur.

Selon les conditions standards, le rendement global de ce collecteur est considéré 60%. (5)

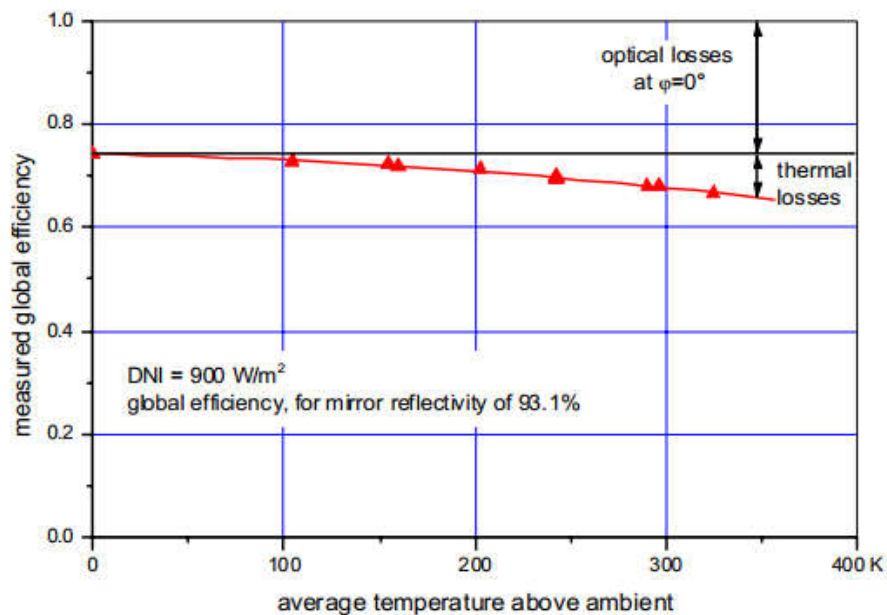


Figure III-10 L'influence de la température sur le rendement du collecteur

Un profil horaire de la variation de l'irradiation normal direct DNI est obtenu depuis la base des données de Meteonome, Les données d'irradiation sont illustrées en utilisant Microsoft Excel et présentées dans la (Figure III-11).

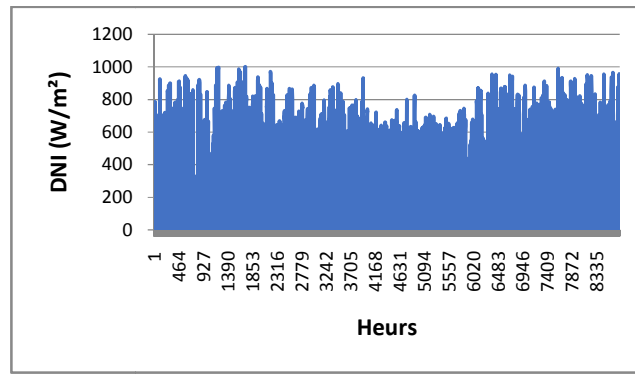


Figure III-11 L'évolution horaire d'irradiation directe normale

D'après la figure (III-12), qui représente la variation annuelle d'irradiation directes normales obtenu depuis « Meteonome », Le **DNI** le plus élevé est en **Juillet** et le DNI le plus bas est en **février**, ces chiffres sont utilisés pour la simulation du central pendant la période DNI la plus élevée et la plus basse.

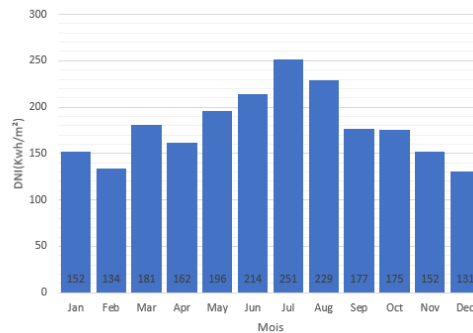


Figure III-12 La variation annuelle d'irradiations directes normales

Le rendement global du collecteur ET100 est considéré 60%, donc la puissance solaire requis pour le fonctionnement nominal de la turbine est calculé :

$$P_{solaire} = P_{Turbine}/0.6 = 28.9/0.6 = 48.16MW \tag{III-5}$$

Selon une irradiation normale de 900 W/m² la surface totale des collecteurs est :

$$A_{solaire} = 48166666/900 = 53518.5m^2 \tag{III-6}$$

Donc le nombre total des concentrateurs parabolique est :

$$N = A_{solaire}/A_{csp} = \frac{57951}{552} = 96 \text{ collecteurs ET100.} \tag{III-7}$$

Nous avons calculée l'énergie nécessaire pour vaporise l'eau a 68 C, 1 Bar :

$$H_{s,v} = 2674.9 \text{ Kj/Kg} \tag{III-8}$$

La puissance requis pour evaporer l'eau est égal a :

$$P_{eva} = (H_{s,v} - H_g) * \frac{Hg}{ncsp} = 2390 * 9/0.6 = 35.85 \text{ MW}$$

III-9

Donc la surface totale des collecteurs est :

$$A_{eva} = P_{eva-solaire}/900 = 39833.33m^2$$

III-10

Le nombre des collecteurs est :

$$N_{eva} = A_{eva}/A_{csp} = 72 \text{ collecteur ET10}$$

III-11

Le nombre des collecteurs pour la surchauffe est :

$$N_{surchauffe} = 104 - 72 = 24 \text{ collecteur ET100.}$$

III-12

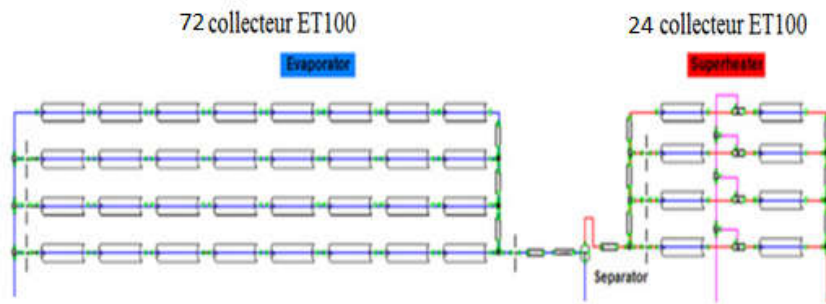


Figure III-13 La configuration des collecteurs solaire

Sachant que la puissance solaire est 48.16MW, on calcule le rendement solaire-électrique :

$$\eta_{solaire-electrique} = \frac{P_{electrique}}{P_{solaire\ indidente}} = \frac{10}{48.16} = 0.2076$$

III-13

Les caractéristiques de la nouvelle centrale choisie sont présentées sur le tableau (III-3).

Tableau III-3 La centrale hybride Géothermique-solaire

La centrale hybride Géothermique-solaire	
La puissance nette (MW)	10
Nombre des collecteurs	96
Température de la source géothermique (C)	68
Débit de la source géothermique (kg/s)	9
Température a la sortie de CCP (C)	420
Surface du champ solaire (m <sup>2</sup> )	53518
Rendement solaire-électrique	20.76%

On considère une centrale solaire CCP traditionnelle, avec un rendement solaire-électrique de 15%, pour la même puissance électrique et le même collecteur Cylindro-parabolique le volume de la centrale est présenté sur le tableau (III - 4) :

Tableau III-4 Une centrale solaire thermique traditionnelle

Une centrale solaire thermique	
Puissance nette (WM)	10
Nombre des collecteurs	143
Température a la sortie de CCP (C)	420
Surface du champ solaire (m <sup>2</sup> )	79365
Rendement solaire-électrique	15%

Pour une puissance électrique de 10MWe, On remarque que La contribution de l'énergie géothermique en utilisant la configuration hybride de la centrale solaire permet à réduire le nombre des collecteurs cylindro-parabolique à 32% du nombre totale. Ainsi une augmentation favorable sur le rendement solaire de la centrale de +5.76%.

### III.2.6 Dimensionnement du stockage Hydraulique:

L'introduction de systèmes de stockage énergétique, qui agissent comme des amortisseurs et des régulateurs dans les réseaux électriques, permet de résoudre efficacement le problème des fluctuations et d'augmenter significativement la qualité de la distribution.

La ville de Bou-Hanifia profite d'un barrage hydroélectrique d'une capacité de 75Million de m<sup>3</sup>, une longueur crête de 300m, une hauteur de 54m et une hydro-électrique permet de turbiner les débits d'irrigation (débit équipé 15M<sup>3</sup>/s) (2)

Il est possible de construire une station de Transfer d'énergie par Pompage (STEP) dans ce barrage, il suffit d'installer un bassin inférieur pour stocker l'eau et une turbine réversible propre.

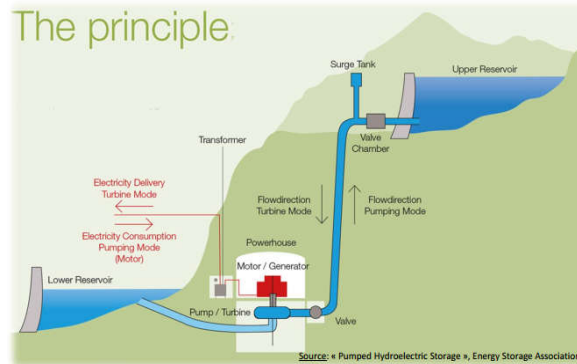


Figure III-14 principe de fonctionnement d'un station STEP

Le stockage hydraulique doit contribuer à la stabilité du réseau électrique soit du point de vue de la gestion du réseau électrique, soit du point de vue de la production d'énergie intermittente.

Dans notre cas, l'intérêt de stockage hydraulique est pour garanti le service du system multi source et compensé la station hybride géothermique-solaire

La production électrique de la station hybride dépend fortement de la situation climatique de la région, la figure ci-dessous illustre la variation de la production de la centrale hybride au cours de l'année (Figure III-15) et pour les journées 17/06 (Figure III-16) 19/02 (Figure III-17).

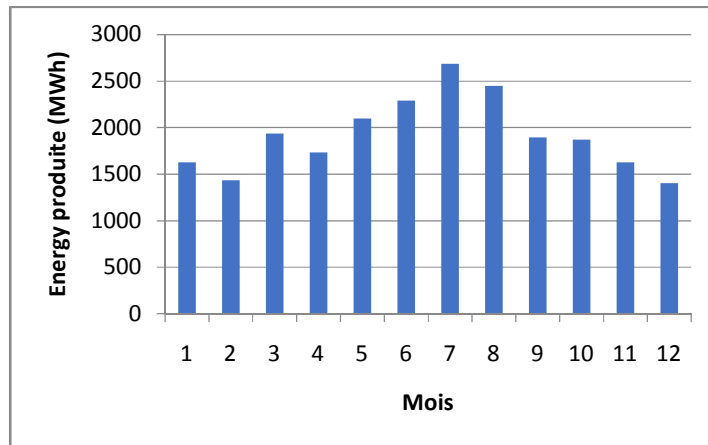


Figure III-15 La puissance électrique annuelle produite par la centrale hybride

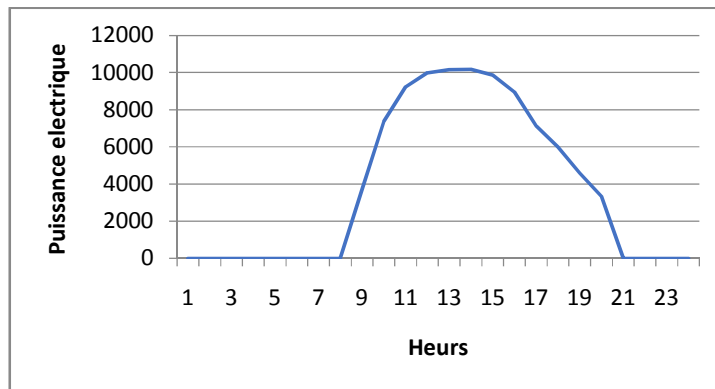


Figure III-16 La puissance électrique produite par la central hybride à 17 juillet

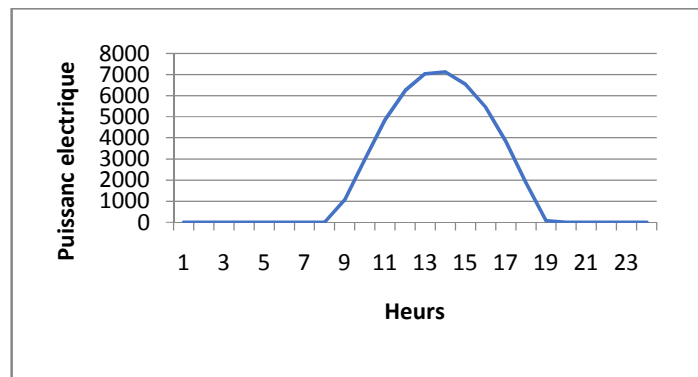


Figure III-17 La puissance électrique produite par la central hybride a 19 Février

Pour assurer une continuité de service, nous avons dimensionnée le system de stockage pour une autonomie d'un jour.

Une turbine propre a été être choisi à l'aide de la hauteur de la chute et débit massique d'eau. La hauteur de la chute de barrage est d'environ de 48m, et les débits d'irrigation s'arrive jusqu'à 15M3/s.

A partir de ces paramètres et à l'aide de la courbe Figure (III-18), qui affiche différent type des turbines avec ces caractéristiques (Débit d'eau et la hauteur). (6)

Pour une hauteur de 48 m, la turbine de fonctionnement est de type Francis.

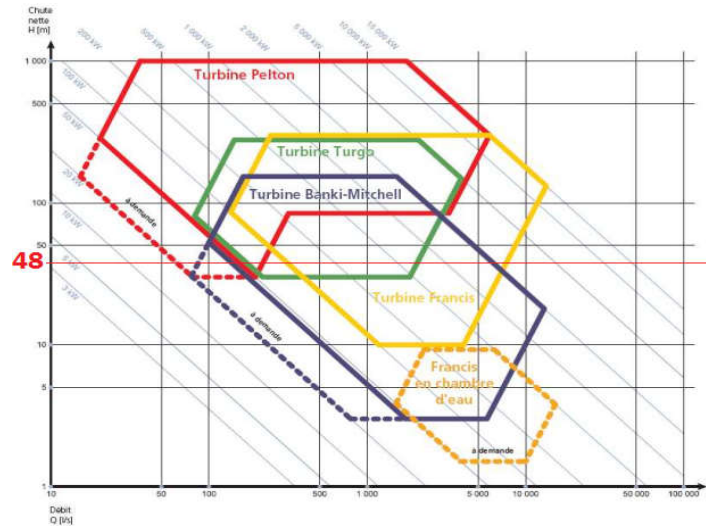


Figure III-18 Les différentes turbines hydrauliques

Une bonne turbine Francis peut capter 90% à 95% de l'énergie cinétique l'eau, Le design Francis a été utilisé avec des hauteurs de 3 à 600m, mais il offre ses meilleures performances entre 100 et 300 m. (7)

Tableau III-5 Les caractéristiques techniques de la turbine HLA551-LJ110

Model	HLA551-LJ-110
Hauteur manométrique(m)	41.0
Débit volumique (m3/s)	3
Puissance de la turbine (KW)	1344
Vitesse nominal (rps)	750
Type de turbine	SF1250-8/1430
Générateur équipé	YWT-600
Puissance électrique (KW)	1250
Vitesse de rotation (rps)	6300



Figure III-19 La turbine HLA551-LJ110

La turbine choisie va fonctionner comme une turbine dans le mode de décharge, et une pompe dans le mode de charge. Pour générer l'électricité, un générateur propre doit être relié avec cette turbine.



Nous avons choisi cette turbine suivant la hauteur manométrique du barrage, trois turbines de ce modèle permet à générer une puissance électrique de 3750MW sous un débit d'eau de 11.4 M<sup>3</sup>/s.

L'eau débité sera stocké dans un réservoir inferieure. Un fonctionnement de 24 heures de ces turbine (centrale hybride géothermique/solaire n'est pas disponible) nécessite un volume de réservoir inferieure égal à:

$$V = 11.4 * (24 * 3600) = 1,313,280 \text{ m}^3 \quad \text{III-14}$$

Pour des raisons de sécurité, la quantité d'eau dans le réservoir doit être toujours supérieure à 20%.C à dire le volume de réservoir sera égal à :

$$V_{\text{reservoir}} = V * 1.2 = 1,575,936 \text{ m}^3 \quad \text{III-15}$$

Le system de stockage sera installer sur le barrage de Bou-Hanifia, il comporte d'un seul réservoir d'un volume de 1.181 million m<sup>3</sup> d'eau, quatre turbines réversible équipé avec un alternateur permet a générée une puissance électrique de 5MW.

Le surplus de la production électrique la centrale hybride soit stockée (donc utilisée pour le pompage de l'eau du réservoir inferieure vers le barrage) pour être ensuite utilisé selon la demande, le reste de la production étant directement injecté au réseau électrique.

Les caractéristiques du nouvel system hydraulique choisie sont listées dans le tableau ci-dessous Tableau (III - 6) :

Tableau III-6 Descriptions de la station STEP

System du stockage Hydraulique	
Hauteur de la chute (m)	48m
Débit volumique (m <sup>3</sup> /s)	12
Volume du réservoir (M3)	1575936
Puissance nette (MW)	5
Durée de décharge (heurs)	24

### III.2.7 Gestion d'Energie:

Dans l'étude présentée ici, nous avons étudié l'intégration du système hybride Géothermique/solaire/STEP dans le réseau d'électricité de celui de Bou-Hanifia.

Nous considérons que le système global est constitué de :

- Ligne électrique 60 KV Bou-Hanifia –Saida. (8)
- Ligne électrique 60 KV Bou-Hanifia –Mascara. (8)
- Centrale Hybride Géothermique/solaire 10 MWc
- Station de Transfer d'énergie par pompage STEP 5 MWc

Le problème de la gestion de l'énergie dans un system multi source, consiste à trouver la meilleure répartition de la puissance entre les différentes sources. Plusieurs critères de performance peuvent intervenir dans le choix de cette répartition ; le critère le plus utilisé est la consommation de combustible. Ce critère est appelé aussi la fonction coût. La répartition en puissance de la production électrique est présentée sur la Figure (III-20).

La stratégie proposée dans ce travail est une stratégie quasi-suivie de la charge, Cette stratégie accorde la priorité que la centrale hybride doit toujours délivrée une puissance nominale de 6

MWe comme elle présente la source d'énergie primaire. L'excès de la production de la centrale hybride est stocké grâce à une station de stockage hydroélectrique réversible.

Pour augmenter le taux l'intégration du system ENR, la station STEP se décharge dans la période où la centrale hybride n'est pas disponible (absence du soleil) et enfin, les lignes de réseaux traditionnels couvrent le reste de la puissance appelée par la consommation. La stratégie de fonctionnement est illustrée sur la Figure (III-21).

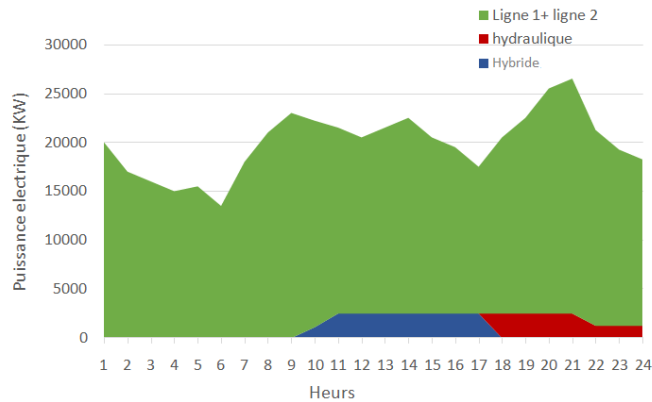


Figure III-20 Exemple sur la répartition en puissance de la production électrique

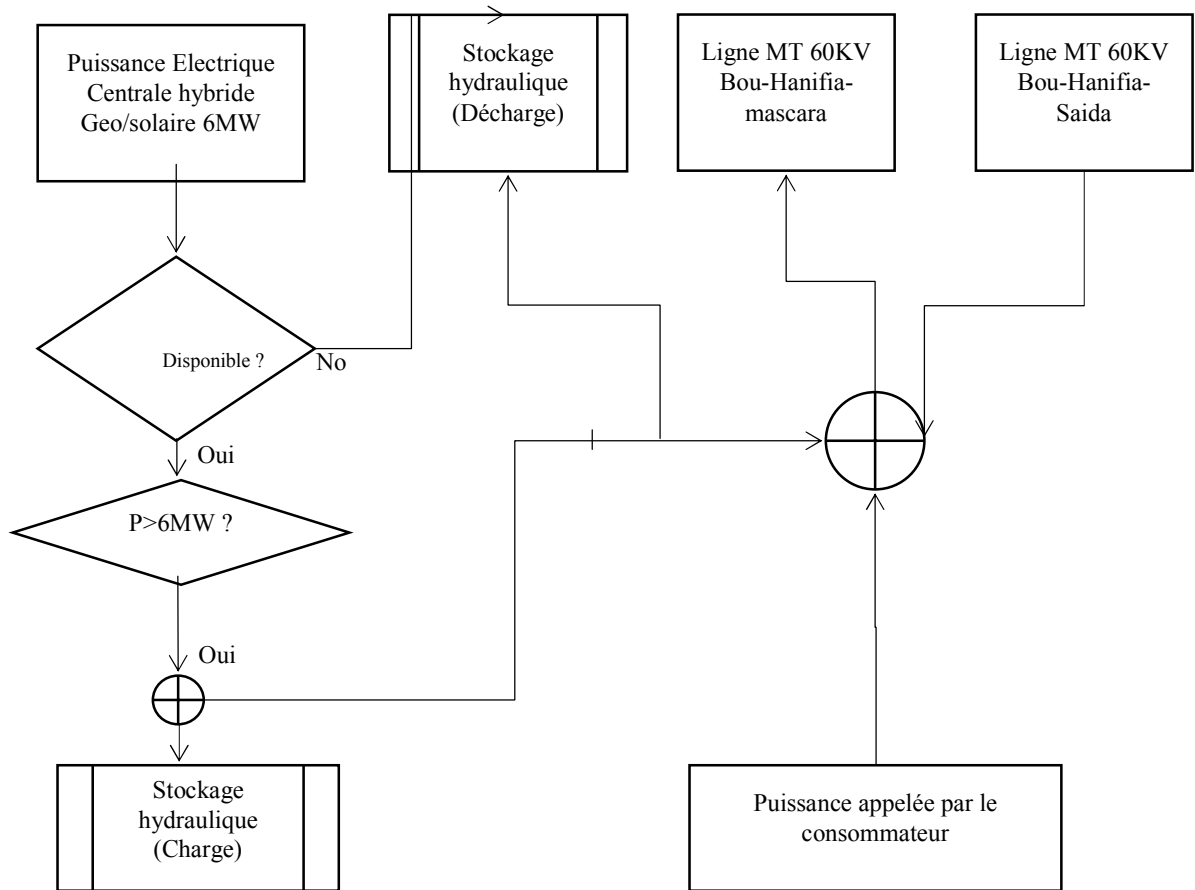


Figure III-21 Algorithme de la gestion d'énergie

- Durant le fonctionnement de la centrale hybride ( $P_{hybride} > 0$ ), dans le cas d'excès ( $P_{hybride} > 6$ ), une partie de la puissance produite charge la station de Transfer par pompage STEP.

$$(P_{charge} = P_{hybride} - 6)$$

- le nombre des pompes utilise dépend de la puissance de charge :
  - ◆ Une pompe ( $P_{charge} < 1.75\text{MW}$ ).
  - ◆ Deux pompes ( $P_{charge} < 2.5\text{MW}$ ).
  - ◆ Trois pompes ( $P_{charge} < 3.75\text{MW}$ ).
  - ◆ Quatre pompes ( $P_{charge} > 3.75\text{MW}$ ).

La puissance électrique restant est ajoutée à aux system d'alimentation.

- Si la puissance générée par la centrale hybride est inférieure à 6MW ( $P_{hybride} < 6\text{MWe}$ ), elle est injectée directement aux system électrique.
- Si la central hybride n'est pas disponible ( $P_{hybride} = 0$ ), la station de Transfer par pompage STEP est automatiquement utilisée et ajoutée aux system électrique.
- La puissance appelée par le consommateur est toujours supérieure de celle du système multi source (Géo/solaire/STEP), donc les lignes du réseau électrique sont toujours utilisées mais d'une façon réduite.

$$P_{consommation} - P_{hybride} - P_{STEP} = P_{reseau}$$

III-16

### III.3 Simulation:

Une fois les paramètres d'entrée de conception du système hybride Géothermique-solaire établis, un modèle du central hybride a été construit. Le modèle du système CSP a utilisé la méthode de génération directe de vapeur (DSG) et des collecteur Cylindro-Parabolique pour le système de capteur solaire. La conception a été modélisée à l'aide du logiciel EBSILON Professional v9.0. EBSILON Professional est un logiciel de simulation de thermodynamique et de bilan énergétique discret pour les systèmes de production d'énergie ou les contrôles de processus. Le modèle a été développé sur la base des paramètres d'entrée de dimensionnement mentionnés. Comme mentionné, EBSILON Professional est un logiciel de simulation discret, la conception a été modélisée et simulée en régime permanent.

Selon différentes valeurs d'irradiation solaire DNI, le fonctionnement de la centrale hybride a été simulé en utilisant EBSILON Professional, les résultats de la simulation sont illustrés en utilisant Microsoft Excel.

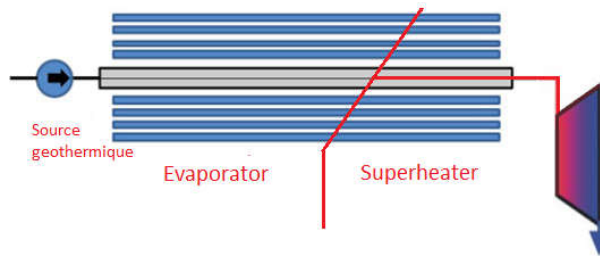


Figure III-22 La configuration de la centrale hybride

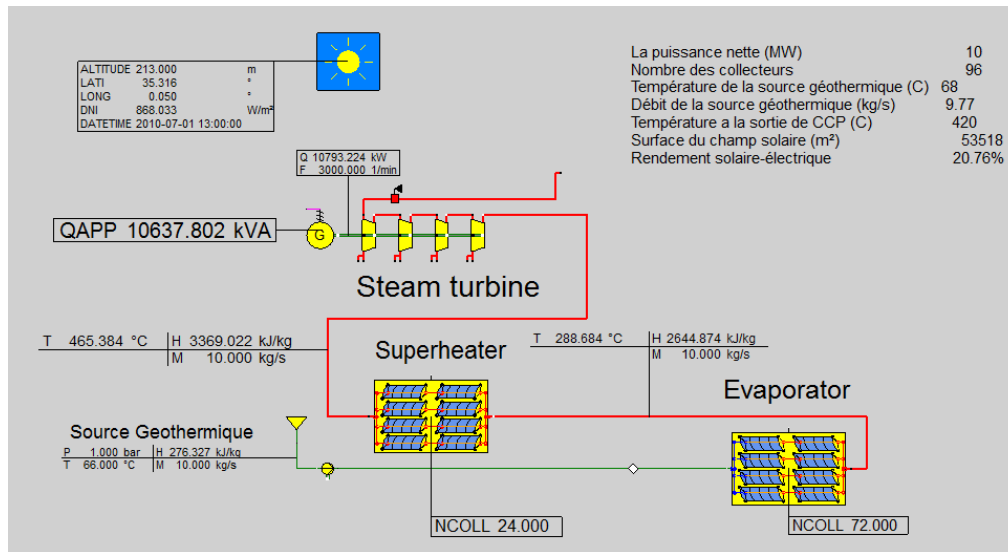


Figure III-23 le Modèle de la centrale hybride

Pour les paramètres d'entrée du modèle établi, deux champs solaires thermique ayant 72 capteurs pour l'évaporation et 24 capteurs pour la surchauffe. Un séparateur est placé après la section d'évaporateur des panneaux de capteurs solaires pour séparer la vapeur saturée et l'injecter sur le system de section. L'objectif du système de capteur solaire est de générer de la vapeur et augmenter l'enthalpie du l'eau géothermique en fonction des paramètres de vapeur

exigés du côté du bloc d'alimentation qui est déterminé par les paramètres d'entrée de la turbine, les paramètres de vapeur d'entrée requis sont de 10,5 Bar et 427,8 ° C

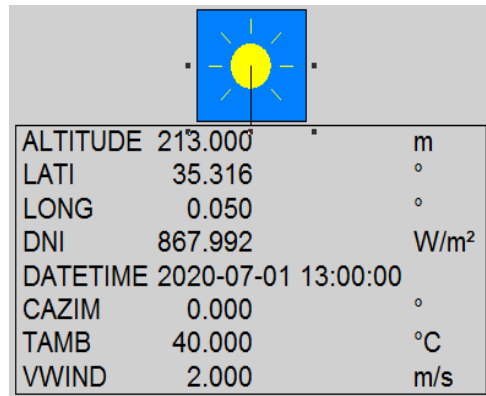


Figure III-24 Les paramètres solaires de la simulation

La latitude et la longitude d'entrée du site ont été fixées à des coordonnées géographiques de la ville de Bou-Hanifia de 35.3157 Nord et 0.0504° Ouest. La température ambiante, la vitesse et la direction du vent pendant la conception ont été fixées à 40 ° C, 2 m / s et 180 ° (plein sud). Le capteur solaire était supposé suivre la position du soleil, donc l'angle d'azimut du capteur solaire était réglé à 0.

Deux scénarios des mois d'irradiation élevée et faible ont été simulé en utilisant le modèle développé de la centrale Hybride et les données météorologiques pour les mois d'irradiation élevée et faible à Bou-Hanifia, en mai et juillet respectivement. Les figures (III-25) et (III-26) illustrent les résultats de simulation.

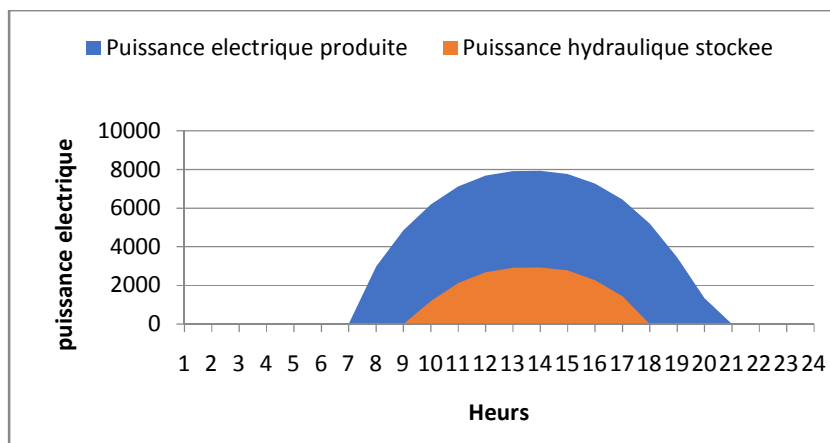


Figure III-25 La Production électrique de la centrale Hybride pour le mois de juillet

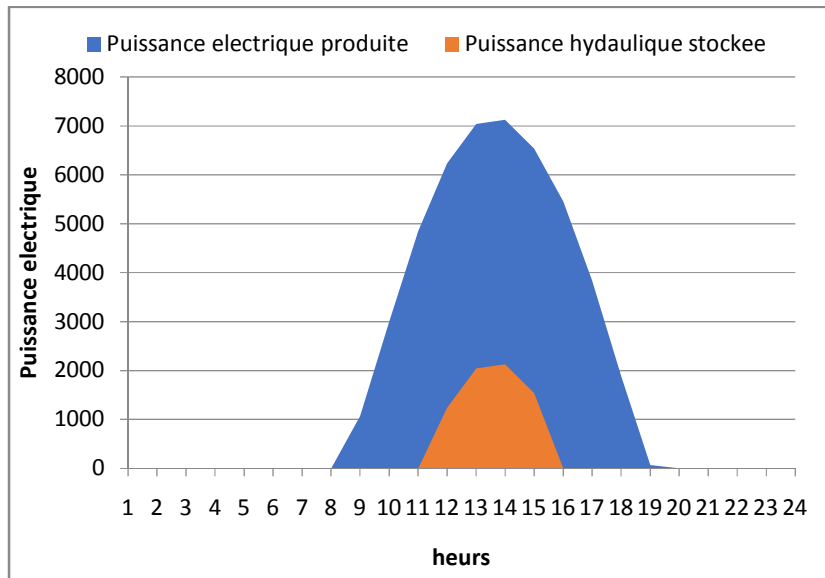


Figure III-26 La Production électrique de la centrale Hybride pour le mois de février

On voit que même en mois d'irradiation faible, la centrale est capable de générer une puissance électrique maximale conçue, alors la différence entre ces deux mois est l'énergie stockée.

L'énergie stocker en février est plus faible. Cependant, même pour une irradiation faible, l'énergie Hydraulique stockée est suffisante pour générer une puissance électrique pendant 5 heures ; par contre, pendant le mois de juillet, l'énergie hydraulique stockée pourrait générer une puissance électrique MW pendant 10 heures.

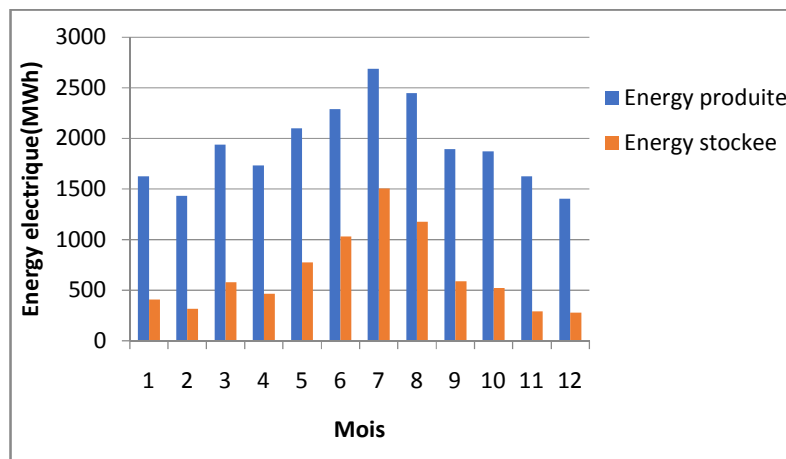


Figure III-27 L'énergie hydraulique stockée par rapport à l'énergie électrique mensuelle produite par la centrale

La figure ci-dessus représente l'énergie électrique mensuelle produite par la centrale hybride ainsi que l'énergie hydraulique stockée. On voit que d'environ 45% de l'énergie électrique produite par la central hybride est stockée.

On considère la courbe de charge est la consommation de la ville de Bou-Hanifia. Cette courbe de la charge de base quotidienne était estimée à 600 MWh / jour, puis en ajoutant un caractère aléatoire pour différents jours et mois, créent le profil de charge ci-dessous.

La variation annuelle de la charge est présentée sur la Figure (III-28)

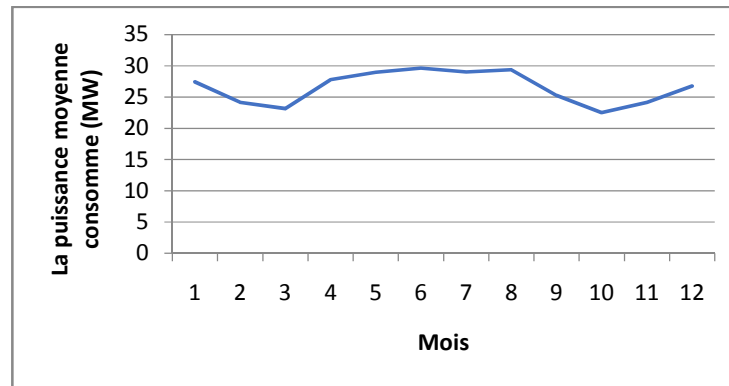


Figure III-28 La puissance moyenne consommée

La puissance maximale consommée est de 29.64 MW et l'énergie consommée annuellement est environ 219 GWh.

La répartition de l'énergie produite par le système multi source est présentée sur la Figure (III-29).

A partir de cette Figure 3.33 on note un avantage de la stratégie de gestion : La puissance produite par le system hybride représente d'environ de 30 % de la charge cela signifier une réduction dans le taux utilisation du réseau électrique; en outre, il semble que la puissance stockée dans la STEP permet a augmenter le taux intégration du system ENR, dans les mois de forte irradiation, la l'énergie atteindre jusqu'à 42% de l'énergie produite par la centrale hybride par contre au mois de faible irradiation, décembre par exemple ou énergie stockée représente 18 % de l'énergie total produite par la centrale hybride.

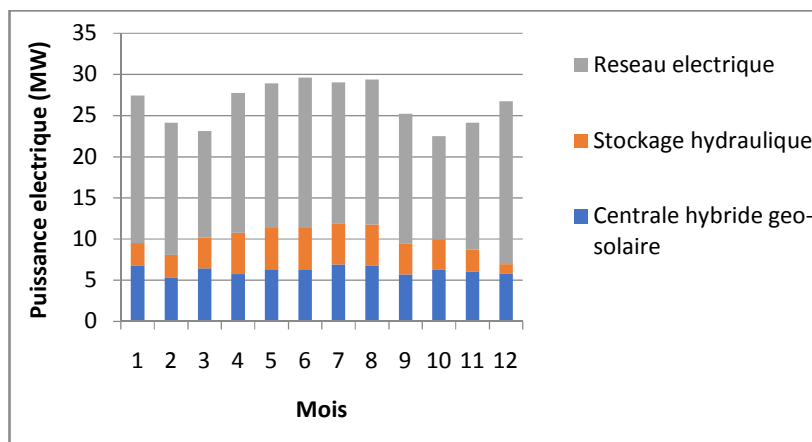


Figure III-29 La répartition des puissance consommées

À partir des résultats présentés, il semble que la puissance nominale produite par le system ENR représente une portion importante de l'énergie appelée par la consommation, La figure (III-30) illustre l'énergie produite par ENR par rapport à l'énergie appelée par la consommation.

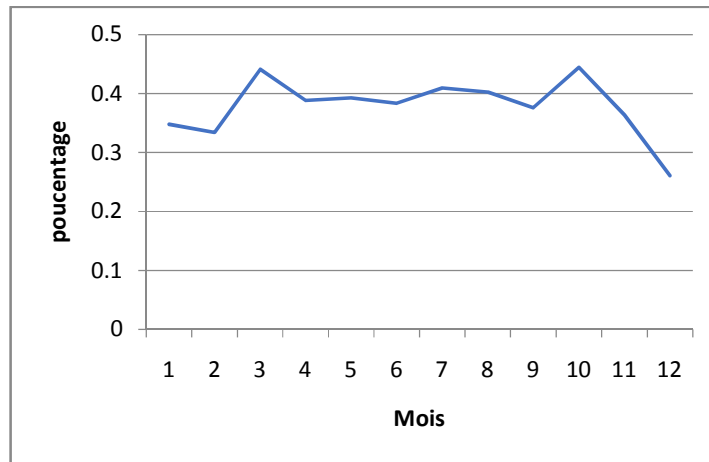


Figure III-30 L'énergie produite par le system ENR par rapport a l'énergie consommée

À partir des résultats présentés, on constate qu'une grande partie de l'énergie appelée par la consommation est produite par la centrale hybride associée avec le stockage hydraulique, cela permet de réduire le taux d'utilisation du réseau électrique.

Dans cette partie, nous avons illustré le fonctionnement de chaque élément du système dans deux conditions, faible irradiation en février et forte irradiation en juin. Les résultats sont représentés dans les figures ci-dessous

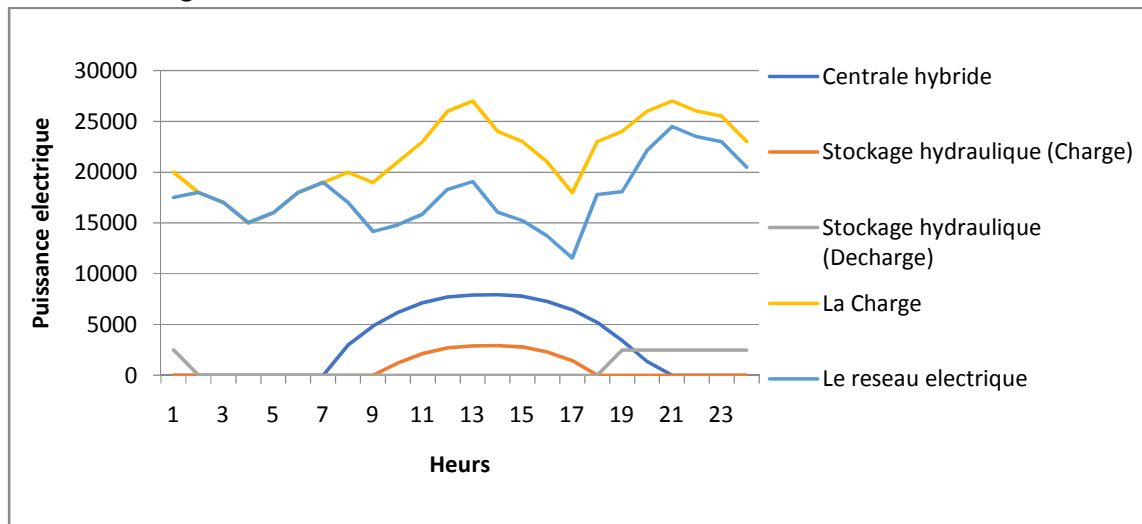


Figure III-31 Le fonctionnement du system multi source en juin (irradiation forte)



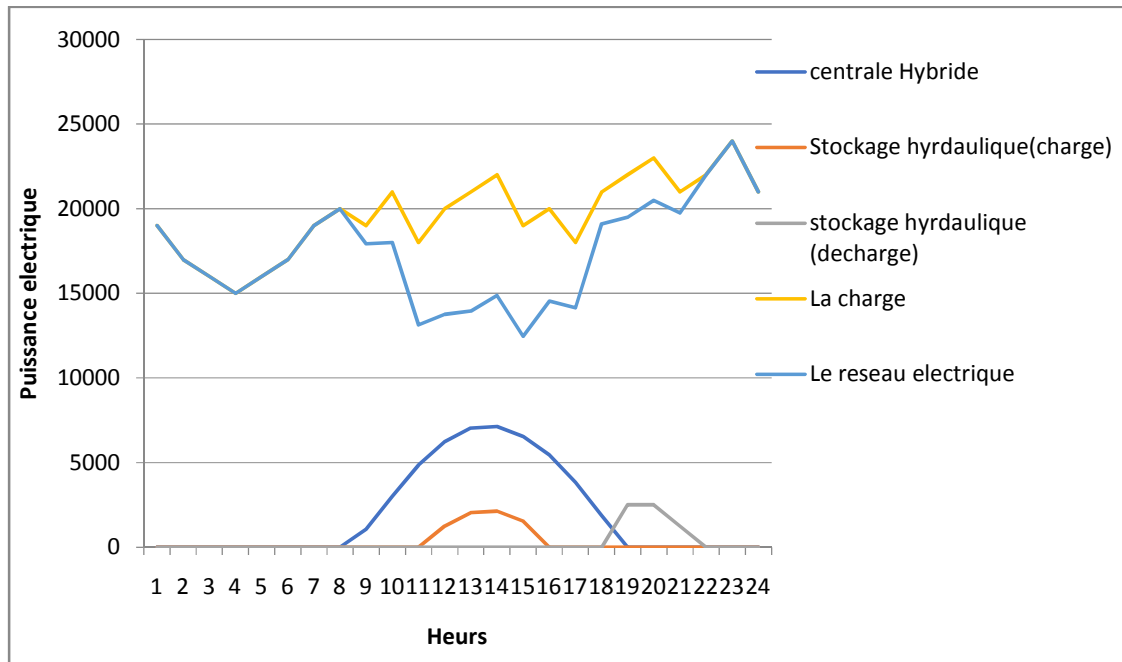


Figure III-32 Le fonctionnement du système multi source en février (irradiation faible)

D'après les résultats, nous constatons une diminution remarquable de l'utilisation du réseau grâce à l'intégration de sources renouvelables, nous constatons également un bon fonctionnement de la centrale hybride, la seule différence entre les conditions est la durée de fonctionnement de la centrale, en juin, la centrale est capable de fournir de l'électricité pendant environ 13 heures, mais en février, elle est capable de fournir de l'électricité pendant une période de 10 heures.

Le système de stockage est cependant sensible à la puissance de la centrale hybride. Nous constatons que le système de stockage peut fournir une puissance constante de 2,5 MWe pendant environ 5 heures en juin, alors qu'en février, il peut fournir la même quantité de puissance, mais seulement pendant 2 heures.

Le stockage hydraulique commence à fournir de l'énergie dès que la centrale hybride est hors service, ce qui garantit une durée maximale d'intégration des énergies renouvelables.

Nous remarquons que la poutre couvre la totalité de la charge entre 2h et 7h, principalement parce que les centrales hydrauliques et hybrides sont hors service

## Conclusion:

---

Au cours de ce chapitre, nous avons dimensionné et simulé le fonctionnement du système multi-sources, lors de la partie dimensionnement, nous avons calculé la quantité de capteurs solaires nécessaires au fonctionnement du système hybride, ainsi que le stockage hydraulique dans lequel nous avons déterminé le volume du réservoir inférieur en fonction du stockage d'énergie nécessaire pour maintenir un service de 24 heures, puis nous avons discuté de la stratégie de gestion de l'énergie appliquée à cette étude.

Dans la partie simulation, nous avons réalisé un modèle de centrale hybride basé sur notre configuration, puis nous avons simulé le fonctionnement de la centrale hybride dans différentes conditions, en effet, nous avons analysé les résultats à l'aide de "Microsoft Excel" puis nous les avons illustrés pour voir la faisabilité du système.

Les résultats ont été interprétés pour conclure que le système étudié peut fonctionner dans les conditions fournies par le site, et en termes d'efficacité, la configuration adoptée dans ce système a donné de bons résultats.

## CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté montre une étude de dimensionnement et une simulation détaillée d'un système multi-source composé d'une centrale hybride géothermique-solaire reliée au réseau, associée avec une station de pompage réversible STEP, pour alimenter la ville touristique de Bou-Hanifia. Une stratégie de gestion d'énergie est suggérée pour maintenir l'équilibre entre la production et la consommation afin d'augmenter l'intégration des énergies renouvelables au réseau.

Les ressources géothermiques en Algérie sont classées comme ressources à faible enthalpie, il est donc extrêmement difficile de produire de l'électricité directement à partir de ces sources. Pour cela nous avons établi une configuration dans laquelle, il est possible de générer de l'électricité à partir de ces sources géothermiques. Cette solution consiste à coupler les sources d'énergie géothermique avec une technologie de concentration solaire dans une même installation pour augmenter l'enthalpie géothermique, la configuration hybride est associée à un stockage hydroélectrique « STEP » comme renforcement grâce à son existence de ce barrage au voisinage du site d'implantation, ce qui permet de maximiser l'intégration des énergies renouvelables dans le système. Donc, nous avons commencé notre méthodologie de dimensionnement par étudier les potentiels énergétiques du site pour estimer la puissance qu'on peut en produire. Cette dernière représente l'élément de base que nous avons utilisé pour déterminer la taille de notre système. Ensuite, en utilisant le logiciel spécial (EBSILON Professional), nous avons simulé le fonctionnement de la centrale hybride géo/solaire selon plusieurs conditions et pour des valeurs d'irradiations différentes. Finalement nous avons appliqué la stratégie de gestion numérique d'énergie à partir des résultats obtenus au cours de la simulation en utilisant un logiciel « Microsoft EXCEL », les résultats obtenus sont illustrés et interprétés.

Néanmoins, pour exécuter ce travail, nous sommes passés par trois chapitres, À chaque étape, nous avons eu un développement de nos connaissances théoriques et pratiques. Le premier nous a permis d'apprendre plus sur les différents types d'énergies et les technologies utilisées actuellement. Nous avons également découvert le potentiel algérien de chacun des types mentionnés par avant. Dans le deuxième chapitre, nous avons travaillé sur la modélisation des différents composants de notre système pour avoir une idée générale et mettre en œuvre les équations dans le processus de dimensionnement. Dans le dernier chapitre, nous avons dimensionné et simulé le système en utilisant les équations obtenues dans les chapitres précédents. Comme, nous avons aussi vérifié par simulation comment le système réagit avec les variations des différentes conditions pour déterminer comment la réaction du système dans le cas des faibles irradiations DNI. Également, nous avons fait plusieurs simulations afin de définir, si le système est faisable ou non, et si le site suffirait à répondre aux besoins énergétiques du système.

## CONCLUSION GENERALE

Après avoir obtenue les résultats, nous avons constaté que le système dimensionné produit une quantité intéressante d'énergie électrique et réduire l'utilisation du réseau national de plus de 30% dans les meilleures conditions. Cela représente écologiquement une diminution du même taux des émissions des gaz polluants, donc un bénéfice écologique énorme.

D'après ce travail, nous concluons que le système multi-sources fonctionne parfaitement grâce aux paramètres énergétiques du site, ce qui répond à notre objectif, Alors d'après notre expérience avec ce projet, le concept de ce système peut être réellement réalisable au niveau de la ville de BOUHANIFIA.

Cependant l'Algérie dispose de beaucoup de ressources géothermiques qui ont un meilleur potentiel de production d'électricité. Nous citons à titre d'exemple la région de « HAMAM MESKHOUTINE » qui est considérée comme une zone avec des meilleures conditions, température plus élevée et un débit très fort. La réalisation de ces installations en Algérie peut ajoutées un très important pas au programme des énergies renouvelables.

## Bibliographie

1. *Fundamentals of geothermic*. **R. Haenell, Rybachl, Stegena**. 1988, Solid earth sciences library, pp. 9-57.
2. *The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change*. **Fridleifsson, Ingvar B.s.l.**: The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change, 2013, the original, pp. 59–80.
3. *Thermodynamics from first principles: temperature and composition of earth's core*. **Alfe, D.** 2003, Mineralogical Magazine, Vol. 67, pp. 113-123.
4. **Davies, J. Hum.** Global map of solid earth surface heat flow. [Online] September 24, 2010. [Cited: September 24, 2010.] <https://doi.org/10.1002/ggge.20271>.
5. *Geothermal resources in Algeria*. **Hakim, Saibi**. 2009, elsevier, p. 9.
6. *Geothermal technologies program: Hydrothermal power systems*. 2010, Energy efficiency and renewable energy EERE.
7. *New Binary geothermal power system*. **Kalina, A.** 2003, international geothermal workshop.
8. *Heat exchangers: selection, rating and thermal design*. **Sadikkakac, Hongtan Liu**. 2002, CRC Press.
9. **Observatory, US nanal**. *Selected astronominical constants*.s.l. : US Naval Observatory, 2015.
10. *Atmospheric science: An introductory survey*. **Wallace, John M, Peter V hobbs**. 2006, Elsevier.
11. **NREL**. Data for above the atmosphere. 2000.
12. **M. Yaiche, A. Bouhanik**. atlas solaire algerien. s.l.: CDER, 2002.
13. *Steam and gas turbines: with a supplement on the prospects of the thermal prime mover*.**Stodola, Aurel**.1927.
14. *modélisation et régulation d'une turbine a vapeur dans un central thermique*. **Laleye M.A, Sanou C.O.** 2005, ESP Thiès.
15. *Solar energy pocket reference*. **Martin, Christopher L and yogi, D.** 2005, earth scan.
16. *high concentration linear fresnel reflectors*. **Abbas, R and anton, Munoe**. 2013, nergy conversion and management .
17. **A. Ouamane.Dam** *engineering in Algeria: Progress, needs and prospects*. 2006.
18. *Solar system abundances and condensation temperatures of elements* .**Lodders, Kathrina**. 2003, The Astrophysical Journal, p. 28.
19. **NASA**. Marshall solar physics. Marshal space flight venter : NASA, 2007.
20. *General energetics: Energy in the biosphere and civilization*. **Smil**. 1991, p. 240.

## BIBLIOGRAPHIE

21. **B. Fleche, D. Delagnes.** *Production d'énergie électrique : Energie solaire photovoltaïque.* Juin 2007.
22. **Solargis.** The world bank group. [Online] 2019.
23. Ministry of water resources. 1991.
24. *Control systems for direct steam generation in linear concentrating solar power plants.* **Antione A, Valery V.** 2016, Elsevier.
25. *Review of pump as turbine (PAT) fr micro-hydropower.* **garwal, Tarang.** 2012, international journal of emerging technology and advanced engineering.
26. *Pump as turbine applied to micro energy storage and smart water grids: a case study.* **Morabito, Alessandro.** 2019, applied energy .
27. *A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems.* **Lian, Jijian, et al.** 2019, Energy Conversion and Management, Vol. 199, p. 112027.
28. *Parabolic troughs to increase the geothermal wells flow enthalpy.* **Alvaro, Lentz and Rafael, Almanza.s.l.:** Elsevier, 2006, Elsevier, p. 6.
29. *Geothermal resources in Algeria.* **Hakim, Saibi.** 2009, elsevier, p. 9.
30. *Solar energy pocket reference.* **Martin, Christopher L and yogi, D.** 2005, earth scan.
31. *Atlas solaire en Algérie.* **Capderiau, M.** OPU Alger : sn., 1988.
32. *Evaluation du port quantifie d'inclinaisons optimales d'un système de pompage photovoltaïques.* **K, Massaitfa.** EnERSOLE ADRAR- ALGERIE : s.n., 2001.
33. *Conversion thermodynamique de l'Energie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance : réflexion sir chois du meilleur degré de concentration.* **Bonnet , M alphilippe, P stouffs.** 2003.
34. *Control systems for direct steam generation in linear concentrating solar power plants.* **Antione A, Valery V.** 2016, Elsevier.
35. **Tahar, HADJI.** *Confortement de barrage de Bou-hanifia.* Bou-hanifia : Grandes Aménagement et Infrastructure Hydraulique Au Ministre de L'équipements, 2001.
36. *Geothermal resources in Algeria.* **Hakim, Saibi.** 2009, Elsevier, p. 9.
37. **Tahar, HADJI.** *Confortement de barrage de Bou-hanifia.* Bou-hanifia : Grandes Aménagement et Infrastructure Hydraulique Au Ministre de L'équipements, 2001.
38. *Parabolic troughs to increase the geothermal wells flow enthalpy.* **Alvaro, Lentz and Rafael, Almanza.s.l.:** Elsevier, 2006, Elsevier, p. 6.
39. *Table of super-heated steam, NASA.gov [onlin*
40. *Euro trough - Parabolic trough collector developed for cost efficient power generation.* **Geyer, Michael, Lüpfert, Eckhard and Osuna, Rafael.** Zurich, Switzerland: s.n., 2003. 11th Int. Symposium on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Technologie. p. 8.

## BIBLIOGRAPHIE

41. *Le stockage Hydraulique Gravitaire et la production hydroélectrique sur les pentes réunionnaises*. s.l. : ARER, 2009.
42. *Hydropower*. **Paul, Breeze**. 2018, Elsevier, pp. 35-46.
43. **NIST**. NIST.gov. *National Institute of standards and technology*. [Online] January 2008. <https://www.nist.gov/system/files/documents/srd/NISTIR5078-Tab3.pdf>.
44. *Solar energy pocket reference*. **Martin, Christopher L and yogi, D**. 2005, earth scan.
45. *Atlas solaire en Algérie*. **Capderiau, M**. OPU Alger : s.n., 1988.
46. *Evaluation de l'apport quantitatif de inclinaisons optimales d'un système de pompage photovoltaïques*. **K, Massaitfa**. EnERSOLE ADRAR- ALGERIE : s.n., 2001.
47. *Conversion thermodynamique de l'Energie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance : réflexion sur le choix du meilleur degré de concentration*. **Bonnet, M alphilippe, P stouffs**. 2003.
48. *Control systems for direct steam generation in linear concentrating solar power plants*. **Antione A, Valery V**. 2016, Elsevier.