



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

**Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique**

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

—ooOoo—

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Génie Energétique

—ooOoo—

Présenté par :

Mounir KOUICI

Thème

**Estimation du potentiel électrique d'origine renouvelable
(CSP) basant sur l'analyse spatial multicritères**

Soutenu publiquement le : 20/06/2019

Devant le jury composé de :

Dr RECIOUI Bakhta	MCB	Président	UKMO
Dr ROUAGDIA Karim	MCB	Examineur	UKMO
Dr GOUARAH Abderrahmane	MCB	Encadreur	UKMO

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu pour m'avoir donné le courage et la patience de mener ce modeste travail.

*J'adresse mes remerciements à mon encadreur le Dr. **GOUARAH Abderrahmane** pour sa direction de cette mémoire, ainsi que pour ses conseils précieux.*

*J'aimerais aussi adresser mes remerciements au doctorant monsieur **SETIOU Belkhir** pour sa patience et ses orientations.*

*Je tiens à adresser mes plus sincères reconnaissances aux membres du jury, Mme Dr. **RECIOUI Bakhta**, Monsieur Dr. **ROUAGDIA Karim** d'avoir accepté d'évaluer ce travail.*

A mes chers et fidèles amis et à tous ceux qui me connaissent.

Dédicaces

À la lumière de ma vie, mes très chers parents.

À mes chers sœurs et frères et leurs familles.

*À tous mes enseignants qui m'ont aidé à terminer mon travail
À tous mes enseignants dans ma carrière.*

À tous nos enseignants du département de génie mécanique

À tous mes amis.

Je dédie ce travail

Sommaire

Page

Liste des abréviations	I
Liste des figures	III
Liste des tableaux	V
Introduction générale:	1

Chapitre01:context énergétique

1. Introduction	4
2. Contexte énergétique.....	4
2.1. Le pétrole.....	5
2.1.1. Réserves et production.....	5
2.2. Le gaz naturel	6
2.2.1. Réserves et production.....	7
3. Consommation énergétique en Algérie.....	7
4. La structure du secteur de l'électricité en Algérie	8
4.1. La production et la consommation	8
5. Energie renouvelable en Algérie.....	10
5.1. Gisement Solaire à l'échelle nationale.....	11
5.2. Le Programme National des Energies Renouvelables en Algérie PNER:	12
5.2.1. Consistance du programme de développement des énergies renouvelables.....	13
6. Conclusion	14

Chapitre02:les concentrateurs solaires

1. Introduction	16
2. La technologie de CSP solaire	16
2.1.Bases de la technologie CSP	16

3. Les différents types de centrales solaires thermodynamiques	17
3.2. Centrales Solaires à Tour.....	18
3.3. Paraboles Solaires Dish Stirling	19
3.4. Collecteurs linéaires de Fresnel.....	20
4. Les Centrales solaires cylindro-paraboliques	21
4.1. Principe de fonctionnement d'un réflecteur cylindro-parabolique	21
4.2. Description d'une centrale cylindro-parabolique.....	22
4.2.1. Champ solaire:	22
4.2.2. Stockage thermique:	23
4.2.3. L'unité de production d'électricité :	23
4.3. Les paramètres techniques.....	24
4.3.1. Température maximale du fluide caloporteur.....	24
4.3.2. Le facteur de concentration:	25
4.3.3. Les fluides caloporteurs et thermodynamiques.....	25
5. Production électrique	26
5.1. La génération de puissance.....	26
5.2. Le cycle de Rankine:	26
5.3. Le Rendement:	27
6. Conclusion:	28

Chapitre03: Élaboration d'un système d'information géographique (SIG)

1. Introduction:	30
2. Méthodologie et méthode du travail:	30
2.1. Collection des données:	30
2.2. Préparation de Géo Data Base (GDB):.....	30
3. Les critères sélectionnés:.....	31

3.1. Irradiation solaire et température	33
3.1.1. Préparation de carte irradiation solaire et carte température	33
3.2. Pentés de terrain	34
3.2.1. Réalisation de carte des pentés de terrain	34
3.4. Le réseau routier	35
3.4.1. Préparation de carte routière:	35
3.5. Les zones occupées	35
3.6. Réseau électrique.....	36
3.6.1. Préparation de carte de réseaux électrique:.....	36
3.7. Source d'eau:.....	36
3.7.1. Préparation de carte de Source d'eau:	37
4. Les résultats de la collecte des Géo Data Base	37
5. Méthodes de prise de décision multicritères (MCDM).....	39
6. La Méthodes AHP.....	40
7. Conclusion	42

Chapitre04: Analyse et Discussions

1. Introduction:.....	44
2. Analyse et traitement des données	44
2.1. Climat:	44
2.2. Pente de terrain:.....	45
2.3. Proximité des réseaux électriques et routiers:	45
2.4. Ressource d'eau	46
3. Classification des couches et des indicateurs.....	46
4.Reclassification des cartes:	49
4.1. Poids et combinaison des couches d'information	52

4.2. Raster calculatrice:	53
5. Estimation d'énergie électrique.....	54
6. L'analyse des résultats	54
7. Conclusion	61
Conclusion Générale	62
Bibliographie.....	64
Annexe(A):.....	68
Annexe (B):.....	75

Liste des abréviations

Nomenclature

An	Année	[an]
B	Baril	[b]
C⁰	Degré Celsius	[C⁰]
J	Jour	[j]
K	Kelvin	[K]
km	Kilomètre	[km]
ktep	Kilo tonnes équivalent pétrolière	[ktep]
kWh	Kilo Watt Heures	[kWh]
m²	Mètre carré	[m²]
Mtep	Méga tonnes équivalent pétrolière	[Mtep]
MW	Méga Watt	[MW]
TWh	Téra Watt heure	[TWh]

Autres

AHP	Analytic Hierarchy Process
BP	British Petroleum
CEEG	La Société de l'Engineering de l'électricité et du Gaz
CSP	Concentrating Solar Power
DNI	Irradiation Normale Directe
GDB	Géo Data Base
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
GRTE	La Société de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité
GRTG	La Société de Gestion du Réseau de Transport de Gaz

HTF	Heat Transfer Fluid
IDW	Inverse Distance Weighting
MCDM	Méthodes Aide à la décision multicritère
OSM	Open Street Map
PIB	Produit Intérieur Brut
PNER	Programme National d'Energie Renouvelable
PV	Panneau photovoltaïque
SDC	La Société de Distribution de l'électricité et du gaz
SIG	Système Information Géographique
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
Wi	Le poids de chaque critère

Liste des figures

Chapitre01:context énergétique

Figure.1.1:	la distribution des champs des pétroles en Algérie (en colleur bleu)	6
Figure.1.2:	Répartition de la consommation par forme d'énergie en Algérie en2017	7
Figure.1.3:	Consommation d'électricité en Algérie	9
Figure.1.4:	Consommation finale de l'électricité en Ktep	10
Figure.1.5:	Distribution du Gisement Solaire Algérien dans le monde	11

Chapitre02:les concentrateurs solaires

Figure.2.1:	Zones appropriées pour l'installation de centrales solaires thermiques à concentration	17
Figure.2.2:	Centrales Solaires Cylindro-paraboliques	18
Figure.2.3:	Centrales solaire à tour	19
Figure.2.4:	Paraboles Solaires Dish Stirling	20
Figure.2.5:	Collecteurs linéaires de Fresnel	21
Figure.2.6:	Réflecteur cylindro-parabolique.	21
Figure.2.7:	Schéma d'une installation de centrale solaire cylindro-parabolique	22
Figure.2.8:	La température de l'absorbeur en fonction de la technologie	25

Chapitre03: élaboration d'un système d'information géographique (SIG)

Figure.3.1:	Organigramme représenter les étapes préparation de Géo Data Base.	31
Figure.3.2:	Critère d'évaluation pour l'emplacement du CSP.	33

Figure.3.3:	Les cartes élaborées sous ArcGis 10.2. a) carte irradiation solaire b) carte température c) carte pentes de terrain d) carte routières e) carte électrique f) les zones occupées g) les lacs et Eaux souterraines.	39
--------------------	--	----

Chapitre04: Analyse et Discussions

Figure.4.1:	Distance euclidienne pour le réseau routier principale et réseaux électrique à haut tension.	44
Figure.4.2:	Le processus de critères par système SIG.	48
Figure.4.3:	Reclassification des cartes: (a) Irradiation solaire, (b) Température, (c) carte Pentas de terrain, (d) Réseau Routières, (e) Réseau électrique, (f) Zones occupée et (g) Ressources en eau.	50
Figure.4.4:	Modèle de construction pour la superposition pondérée.	52
Figure.4.5:	Les zones favorables obtenues	53
Figure.4.6:	la répartition détaillée des zones étudiées pour le projet CSP	55
Figure.4.7:	Évaluation de la superficie et DNI.	56
Figure.4.8:	La production d'électricité (GWh/an) pour chaque zone.	57
Figure.4.9:	les wilayas où se trouve la zone 4.	57
Figure.4.10:	Pourcentage des wilayas liées à zone excellente.	58
Figure.4.11:	La production d'électricité par kilomètre carré des wilayas.	59

Liste des tableaux

Chapitre01:Context énergétique

Tableau.1.1:	Algérie: Potentiel en énergie renouvelable TWh/a, arrondi	10
Tableau.1.2:	le potentiel solaire algérien en chiffres et selon la localisation	12
Tableau.1.3:	Phases de développement du programme des énergies renouvelables 2015-2030	13

Chapitre03: Élaboration d'un système d'information géographique (SIG)

Tableaux.3.1:	Les critères les plus appropriées pour un projet CSP.	32
----------------------	---	----

Chapitre04: Analyse et Discussions

Tableaux.4.1:	Les indicateurs pour chaque critère d'analyse.	46
Tableaux.4.2:	les zones restrictives.	47
Tableaux.4.3:	Les poids de chaque critère d'analyse.	52
Tableaux.4.4:	Calcul de la superficie des zones protégées et zones étudiée	55

Introduction générale

Introduction générale:

La consommation énergétique a augmenté ces dernières années avec la croissance rapide et le développement économique dans les différents secteurs tels que résidentiels, commercial et industriels et la croissance de la population. Pour répondre à cette demande énergétique. En Algérie, la production d'énergie provient essentiellement sur les grands gisements d'énergie fossile en particulier le pétrole et le gaz naturel. Les problèmes engendrés par l'utilisation des énergies fossiles sont bien connus comme la pollution de l'air et l'augmentation des risques des gaz à effet de serre.

Face à cela, Il est possible que dans certains cas précis d'autres sources d'énergie dites renouvelables comme l'énergie solaire, éolienne et géothermique soient plus rentables ou plus pratiques à mettre en œuvre. Le recours aux énergies renouvelables pour la production de l'énergie électrique constitue une voie clé pour réduire la pollution et éviter les pires conséquences du changement climatique. L'énergie solaire caractérisée par sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.

Le Programme National des Energies Renouvelables PNER qui a été adopté par l'état en février 2011 et actualisé en 2015, dont l'objectif est l'intégration des sources renouvelables dans le mix énergétique national, constitue un enjeu majeur dans la perspective de préservation des ressources fossiles, de diversification des filières de production de l'électricité et de contribution au développement durable. Le programme propose différentes technologies renouvelable, la technologie solaire thermique (CSP) occupe la 3^{ème} classe après le PV et l'éolien avec une capacité visé de 2000MW comme objectif en fin 2030[1].

La technologie des concentrateurs solaires vient d'atteindre un niveau très remarquable, en utilisant des réflecteurs afin de concentrer les rayons du soleil sur une petite surface. Il existe quatre principaux types des concentrateurs solaires, cette recherche porte en particulier sur les concentrateurs cylindro paraboliques. La technologie des Concentrateurs Cylindro-Paraboliques est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire, il offre un bon rendement thermique pour des températures supérieures au 400°C[2].

Introduction générale

Cette étude de mémoire propose de développer un cadre méthodologique cohérent pour l'aide à la décision aux sélections des sites convenables et de l'estimation du potentiel national en énergie électrique d'origine renouvelable en utilisant la technologie des concentrateurs cylindro-parabolique.

Le travail présenté ici s'organise selon quater chapitres:

Le premier chapitre présentera en premier lieu la situation énergétique actuelle à l'échelle nationale en termes de ressources, de production et de la consommation .En second lieu, ce chapitre présent le potentiel des énergies renouvelables et le gisement solaire en Algérie.

Le deuxième chapitre, vise à donner, une description et une caractérisation de la technologie CSP à partir des principes de base de cette technologie. Par la suite, on fait une présentation rapide pour les quatre technologies de concentration solaire, en particulier les concentrateurs cylindro-paraboliques, en se basant sur les principaux composantes d'une centrale CSP, les paramètres techniques et de calcule sur la production d'énergie électrique.

Le troisième chapitre concerne la présentation de la méthodologie du travail. En commençant par la collection des données, et la préparation de Géo Data Base en utilisant le système d'information géographique (SIG). Et ensuite, la présentation et la sélection des critères nécessaire pour cette étude. La dernière étape de ce chapitre vise à aborder la méthode de prise de décision multicritères (MCDM), ainsi que la méthode de AHP.

Le dernier chapitre est introduit par une étape d'analyse et traitement des données et des critères de sélections. La classification des couches et des indicateurs ainsi que la reclassification des cartes, nous permettons d'effectuer la dernière étape de raster calculatrice (en anglais "raster calculator"). La dernière partie de ce chapitre présente les zones optimales pour l'installation des projets des (CSP) et leurs capacités de production en énergie électrique avec une discussion approfondie des principaux résultats obtenus.

Chapitre 01:

Contexte énergétique

1. Introduction

Depuis longtemps, l'énergie a été le principal moteur de l'activité humaine, un élément qui interfère avec toutes les actions humaines quotidiennes. Les énergies jouent un rôle important dans le développement des aspects technologiques, industriels, économiques et sociaux du pays.

La plupart des pays développés correspondent au système énergétique le plus élevé en termes de production et de consommation. En revanche, les pays pauvres où le développement actuel des systèmes énergétiques sont très faibles, de sorte que les acteurs énergétiques d'un pays s'intéressent toujours à identifier les relations et de suivre l'évolution entre la production, la consommation d'énergie et d'autres facteurs comme le produit intérieur brut.

Ce chapitre présente le contexte énergétique algérien comme suit:

La première partie de ce chapitre donne un aperçu du potentiel énergétique, en particulier dans le secteur des hydrocarbures (pétrole et gaz). Les étapes les plus importantes dans le développement de ce secteur.

La dernière partie de ce chapitre a également présenté le potentiel des énergies renouvelables et les gisements solaire en Algérie et enfin du Programme national pour les énergies renouvelables (PNER).

2. Contexte énergétique

Immédiatement après la révolution industrielle et les premiers forages et explorations de pétrole dans le monde en Pennsylvanie (États-Unis) en 1859, le pétrole est incontestablement devenu depuis la principale source d'énergie du monde, où certains pays sont réputés pour leur développement continu et leur exploitation fréquente. Mais cette exploitation excessive des combustibles fossiles, notamment le pétrole et le charbon, provoque l'émission de dioxyde de carbone qui affecte directement l'environnement, contre le gaz naturel, l'un des moins combustibles fossiles qui pollue l'environnement. Il présente des caractéristiques telles que: utilisation facile et flexible ou haute densité de puissance et disponible à bas prix[3, 4].

Chapitre01: contexte énergétique

L'Algérie dispose d'importantes réserves de pétrole et de gaz, ce qui en fait un producteur majeur de gaz dans le monde, car cette grande réserve de gaz et de pétrole constitue la majeure partie de l'économie algérienne, mais la demande actuelle en matière de consommation d'énergie est bien supérieure. L'augmentation du niveau de vie de la population et le confort qui en résulte, ainsi que les activités industrielles, nous incitent à créer une nouvelle politique énergétique ainsi que de nouveaux comportements d'utilisation.

2.1. Le pétrole

Le pétrole est l'un des principaux types de ressources énergétiques exploitées dans le monde, un des types d'énergie fossile, un des plus importants de l'économie moderne, un stockage et un transport faciles. Le pétrole fournit presque tous les types de combustibles liquides et est utilisé dans l'industrie pétrochimique. Caoutchouc, plastiques, chimie ...)

2.1.1. Réserves et production

En 1980, la production pétrolière algérienne atteignait 60,32 millions de tonnes d'équivalent pétrole, soit 80 Mtep en 2000. Les découvertes de pétrole ont ensuite eu lieu dans le champ d'Ourhoud en 2003, ce qui a porté la production de pétrole à 115,36 millions de tonnes métriques. 2012, un taux de croissance de 91,24%. La consommation de pétrole de l'Algérie est passée de 5,46 millions de tonnes par an en 1980 à 13,07 Mtep en 2012. Cette augmentation est principalement due à l'expansion progressive du secteur des transports, à l'augmentation de la population et à l'amélioration du niveau de vie, au développement de l'urbanisation dans le secteur résidentiel.

L'Algérie a un potentiel énergétique important avoir le pétrole comme l'un des matériaux les plus essentiels pour le pays. Selon le «Rapport statistique sur l'énergie mondiale 2017» de BP, les réserves prouvées totales de pétrole de l'Algérie à la fin de 2016 s'élevaient à 12,2 milliards de barils ce qui en faisait le troisième pays d'Afrique derrière la Libye (48,4 milliards de barils) et le Nigeria (37,1 milliards de barils). Hassi Messaoud est le plus grand gisement de pétrole du pays avec une production de brut d'environ 500 000 b / j, soit environ un tiers du total national. Les autres champs producteurs incluent Ourhoud, Hassi Berkine, El Merk et Bir Seba[5].le figure (1.1) présente la richesse de pétrol en algerie.

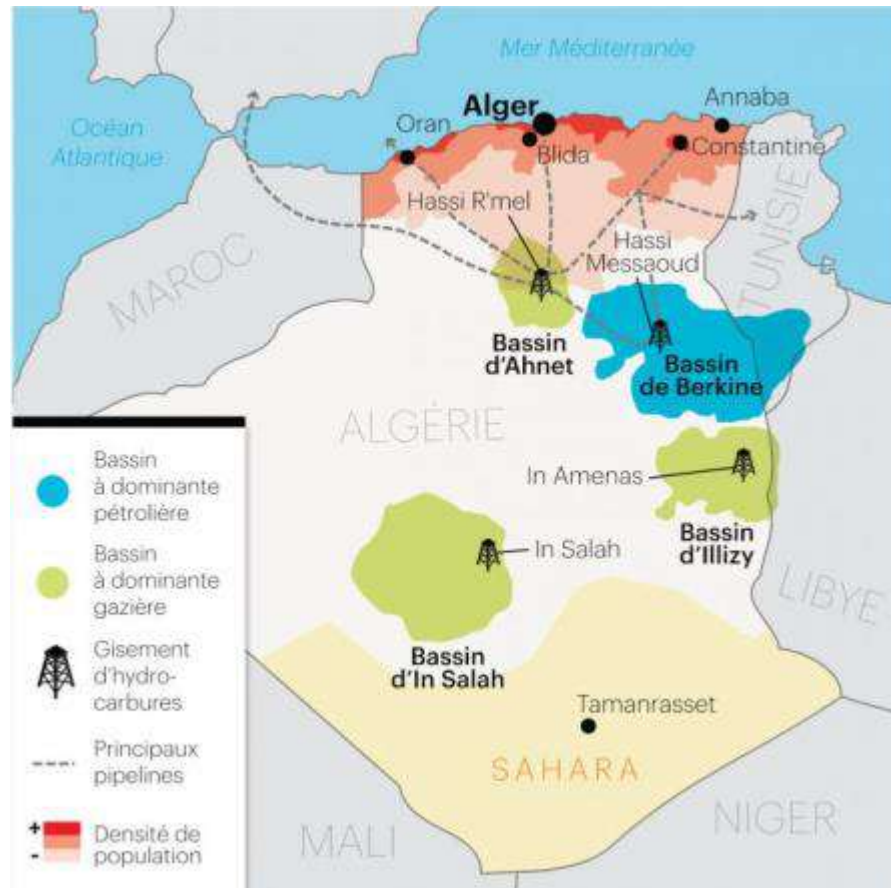


Figure.1.1: la distribution des champs des pétroles en Algérie (en couleur bleu)[6].

2.2. Le gaz naturel

L'Algérie est l'un des pays les plus importants dans le domaine de l'exploitation du gaz. Ainsi l'Algérie est le plus grand producteur de gaz naturel en Afrique et le deuxième plus grand fournisseur de portabilité en Europe. Cela lui a également permis d'être un important producteur de gaz dans le monde.

Depuis 1980, l'Algérie est devenue l'un des grands exportateurs mondiaux du gaz naturel. Une particularité à souligner est que l'Algérie a pu réaliser diverses installations de liquéfaction du gaz naturel qui lui permettent de le commercialiser sous forme liquide et le transporter dans des méthaniers vers le marché extérieur (Etats-Unis, Europe...etc.). Parallèlement à ce mode de transport, l'Algérie a pu transporter son gaz via des gazoducs reliant directement Hassi R'Mel à l'Europe. C'est ainsi qu'elle exploite actuellement le fameux gazoduc trans-méditerranée qui relie l'Algérie à l'Italie et la Slovénie via la Tunisie[7].

Chapitre01: contexte énergétique

2.2.1. Réserves et production

Les réserves de gaz naturel de l'Algérie, estimées à janvier 2017, s'élèvent à 4,5 billions de mètres cubes, soit 2,4% des réserves mondiales. C'est ce que l'Algérie fait avec les pays développés dans la classification mondiale, où presque toutes les réserves ont été découvertes jusqu'à présent se situent à l'est du Sahara[8].

Si nous analysons cette répartition géographique découpée en plusieurs provinces pétrolières plus ou moins homogènes, nous constatons ce qui suit 50% des réserves initiales en place en gaz sont renfermés dans les provinces d'Oued Mya puis viennent les bassins de RhourdeNouss (19%), Illizi (14%), Ahnet Timimoune (13%), et enfin de Ghadamès qui ne contiennent pas pour le moment que 3% des réserves[8].

3. Consommation énergétique en Algérie

En 2017, la consommation nationale d'énergie a été de 59.6 Mtep, en hausse de +2,1% par rapport à 2016. Elle représente plus d'un tiers (35,9%) de la production totale avec une pénétration plus grande des produits gazeux, plus disponible dans le bilan des ressources. Concernant la consommation finale en milliards de mètres cubes, le gaz naturel 38,9 Gm³ de , suivi par les produits pétroliers 66,6 Million de tonnes et l'électricité 75,2 TWh, et l'énergie renouvelable 0,1 Mtep. La figure 1.2 présente l'évolution de la consommation d'énergie par la forme d'énergie en Algérie[8].

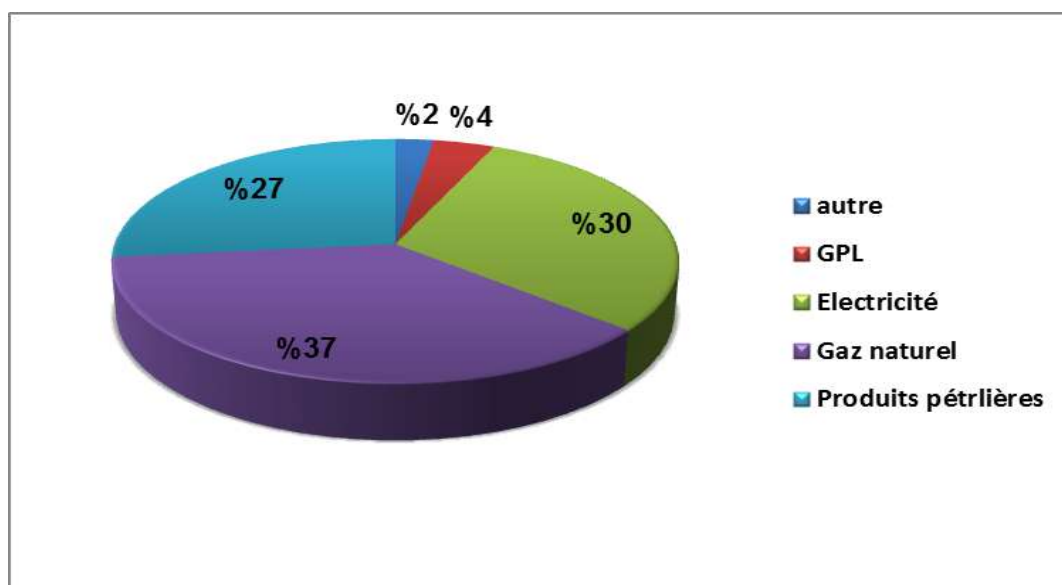


Figure.1.2: Répartition de la consommation par forme d'énergie en Algérie en 2017[8].

4. La structure du secteur de l'électricité en Algérie

La restructuration de Sonelgaz, suite à l'avènement de la loi N°01.02 du 05 février 2002 s'est achevée avec la création de l'ensemble des filiales.

La nouvelle organisation validée en février 2017, a érigé Sonelgaz en groupe industriel composé de 16 filiales. Ainsi, ses filiales métiers de base assurent la production, le transport et la distribution de l'électricité ainsi que le transport et la distribution du gaz par canalisations. La Société de Distribution de l'électricité et du gaz (SDC), il existe 7 filiales [9]:

- La Société de Production de l'Electricité (SPE).
- La Société du génie de l'électricité et du Gaz (CEEG).
- Sharikate Kahraba watakatmouta djadida (SKTM).
- La Société de Gestion du Réseau de Transport Gaz (GRTG)
- La Société de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité (GRTE).
- L'Opérateur Système électrique (OS), chargée de la conduite du système Production, Transport de l'électricité.
- La Société de Distribution de l'électricité et du gaz (SDC).

Sonelgaz détient également des actions de sociétés dont les activités sont liées au secteur de l'électricité et du gaz. Avec des ressources humaines formées et qualifiées, le Groupe occupe une position distincte dans l'économie du pays en tant que responsable de la fourniture à plus de 6 millions de foyers d'électricité, de trois millions de gaz naturel et d'une couverture géographique. Plus de 99% du taux d'électricité et 59% de la pénétration du gaz[9].

4.1. La production et la consommation

En 2017, la production nationale d'électricité a atteint un total de 75,2 TWh. Par rapport à 2016, ce chiffre traduit une augmentation d'environ 1,05%. La croissance de la demande en électricité est essentiellement due au secteur résidentiel qui représente environ 44,4% (17,7

Chapitre01: contexte énergétique

TWh) de la consommation d'électricité finale. Ce secteur est le plus grand consommateur d'énergie du pays avec 45%. L'industrie vient en deuxième position avec une part de 22,3% (9,8 TWh)[10]. la figure 1.3 présente la consommation finale d'électricité en Algérie pour les secteurs résidentiels, transport et industriels .

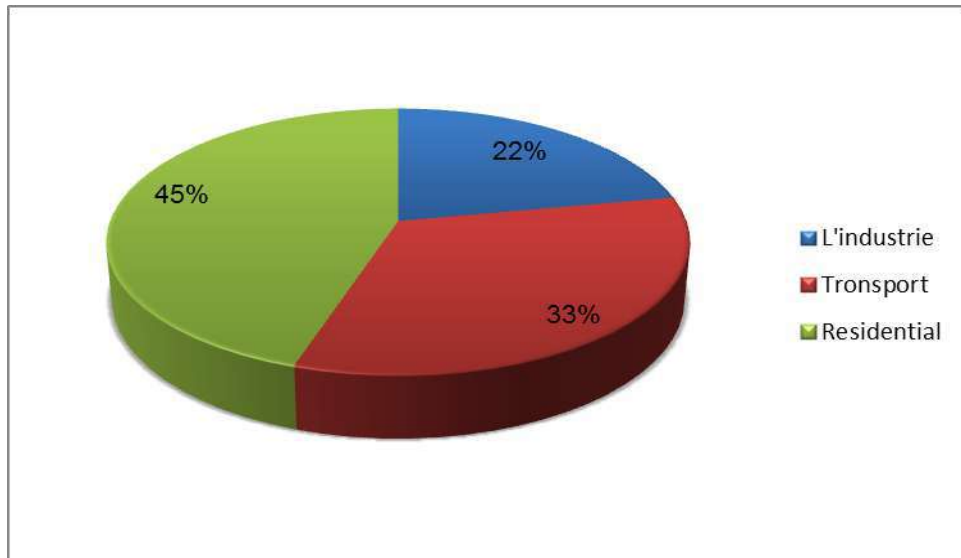


Figure.1.3: Consommation d'électricité en Algérie en 2017 [8].

La consommation finale d'électricité de l'Algérie a été relativement forte au cours des 10 dernières années et a donc enregistré une croissance annuelle significative de la consommation pour la période 2007-2017.

La consommation d'électricité a augmenté de 6,4% pour atteindre 13,3 Mtep, en raison notamment de l'augmentation de la demande des clients haute et basse tension (principalement des ménages), y compris le nombre total d'abonnés dépassant 9,2 millions d'abonnés à la fin de 2017, et 8,8 millions à fin 2016 (+ 4,3%)[8]. La figure (1.4) présente la consommation d'énergie électrique pendant les années pour la période 2006-2017.

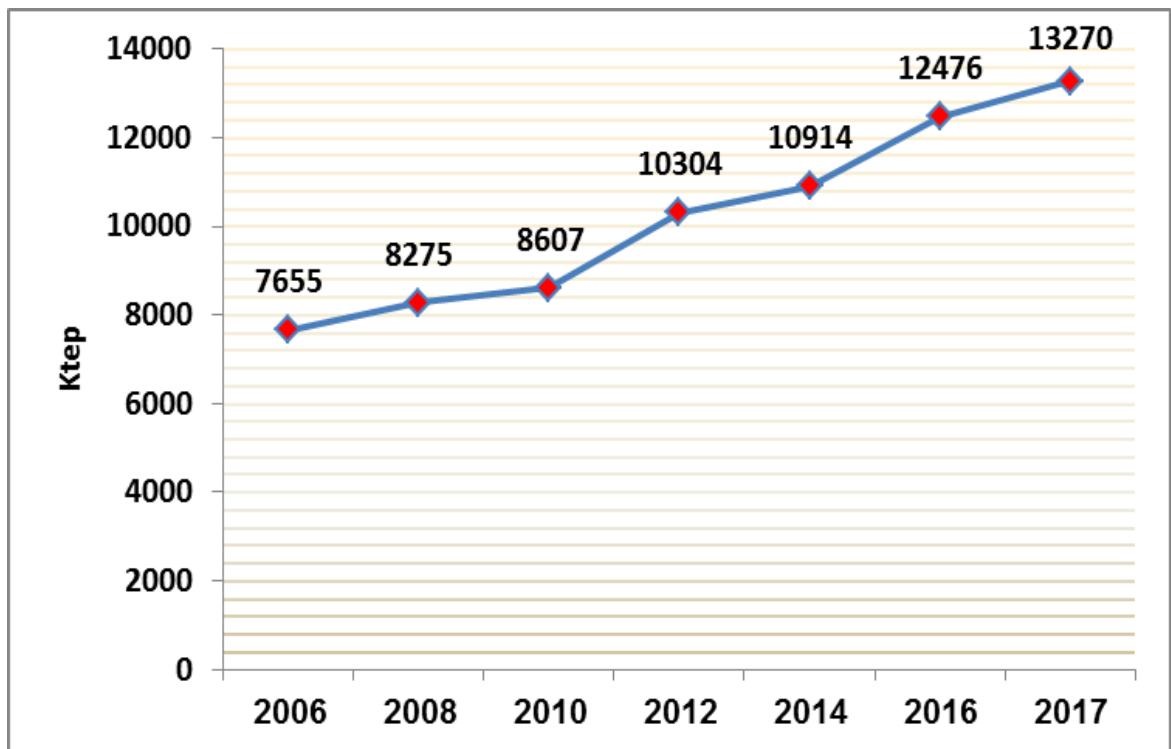


Figure.1.4: Consommation finale de l'électricité en Ktep[8].

5. Energie renouvelable en Algérie

Les énergies renouvelables ont été identifiées par le Centre algérien pour le développement des énergies renouvelables (CDER) et le Centre aérospatial allemand (DLR)[11]. Trois études menées DLR pour évaluer le potentiel des énergies renouvelables en Algérie, non seulement en Algérie, mais dans toutes les régions d'Afrique du Nord. Les données ont été recueillies à partir d'images satellite. Le tableau1.1 résume l'analyse DLR pour la production d'électricité, où l'énergie solaire thermique est concentrée principalement dans de grandes unités de production (centrales solaires, énergie solaire concentrée).

Tableau.1.1: Algérie: Potentiel en énergie renouvelable TWh/an [11].

Algérie	CSP	Eolien	PV	Hydraulique	Géothermique	Biomasse
Potentiel économique	165	35	14	0	5	12

5.1. Gisement Solaire à l'échelle nationale

L'ensoleillement annuel moyen est estimé à 2 000 heures avec une luminosité moyenne de 6,57 kW / m² par jour. L'existence de la terre se compose de 86% des sites géographiques et désertiques, l'Algérie a un domaine de l'énergie solaire, ce qui est le plus grand dans le monde. Si vous comparez l'énergie solaire avec le gaz naturel, l'énergie solaire algérien équivalent à un volume 37 000 milliards de mètres cubes[12], plus de 8 fois le gaz naturel au pays, avec différentes renouvelables de l'énergie solaire, à la différence du gaz naturel.

Nous pouvons illustrer le grand champ solaire dont l'Algérie jouit dans le monde dans la figure suivant :

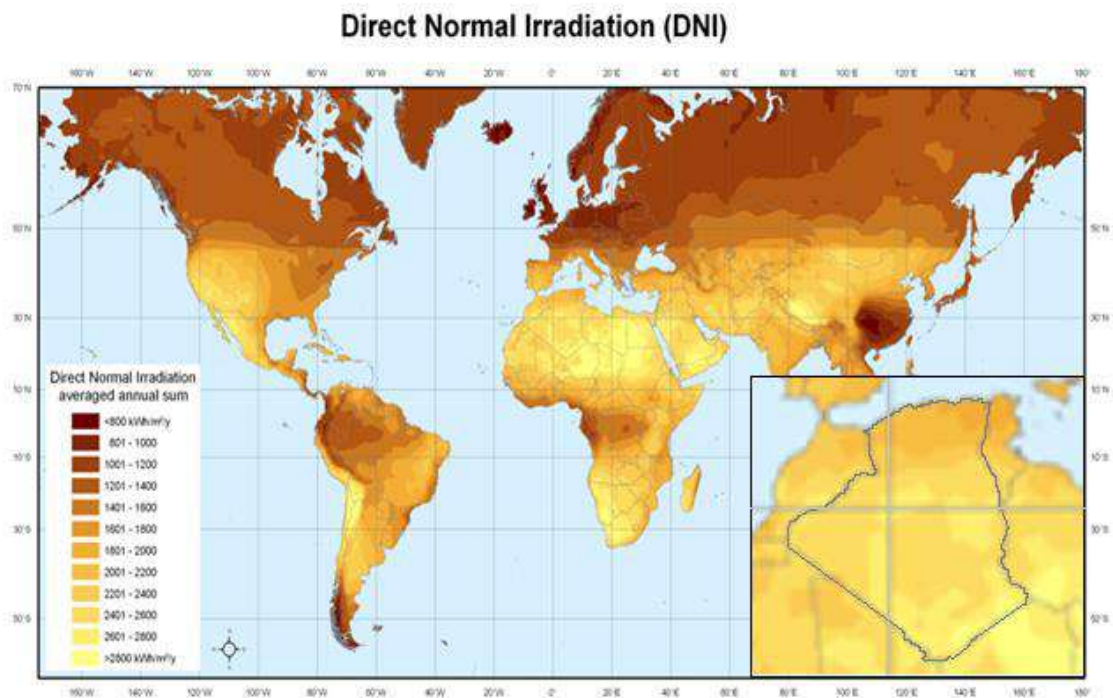


Figure.1.5: Distribution du Gisement Solaire Algérien dans le monde[13].

La distribution de l'énergie solaire en Algérie varie d'un endroit à l'autre, cette distribution étant divisée en trois régions. La répartition du potentiel solaire national est mentionnée dans le tableau suivant:

Tableau.1.2 : Le potentiel solaire algérien en chiffres et selon la localisation[11].

Regions	Cote	H.Plateaux	Sahara
Superficie	4	10	86
Durée moyenne d'heures d'ensoleillement par année	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue KWh/m².an	1700	1900	2650

5.2. Le Programme National des Energies Renouvelables en Algérie PNER:

Grâce à ce programme d'énergie renouvelable, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique.

Alors d'ici 2030, 37% de l'énergie installée et 27% de l'électricité sera destinée à la consommation nationale seront d'origine renouvelable[1]. Le potentiel national des énergies renouvelables dominées par l'énergie solaire, l'Algérie considère cette énergie comme levier d'opportunité pour le développement économique et social, notamment par la création des emplois. Dans ce cadre l'Algérie vise une stratégie dans ce domaine pour développer une véritable industrie des énergies renouvelables ainsi que la formation et la connaissance du programme de capitalisation, ce qui permettra éventuellement embaucher des ingénieurs algériens locaux, en particulier dans le domaine de l'ingénierie et la conception. Gestion de projet. Le programme de REN, pour répondre aux besoins du marché national de l'électricité, créera plusieurs milliers d'emplois directs et indirects.

5.2.1. Consistance du programme de développement des énergies renouvelables

La cohérence pour reprendre au marché national sur la période 2015-2030, l'état vise à installer des capacités importantes (en particulier la photovoltaïque, l'éolien et en 3^{ème} classe la technologie CSP) dans le cadre de programme des énergies renouvelables pour atteindre une capacité totale de 22 000 MW fin 2030 répartis par technologies et par période de réalisation de 2015-2030.

Tableau.1.3: Phases de développement du programme des énergies renouvelables 2015-2030[1].

Unité: MW	1^{ère} phase 2015-2020	2^{ème} phase 2021-2030	TOTAL
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4525	17475	22000

6. Conclusion

Ce que nous pouvons dire à la fin de ce chapitre, c'est que nous avons présenté la situation énergétique en Algérie en termes de production et de consommation, comme le gaz et le pétrole. La production et la consommation d'électricité en Algérie ont été bien détaillées, où la majorité de la production d'électricité basé sur des sources d'énergie fossiles et cela provoque des problèmes considérables d'émission de dioxyde de carbone et d'impact environnemental.

Afin d'éviter ces problèmes, l'Algérie envisage à intégrer de nouveaux projets d'énergie renouvelable afin d'exploiter son énorme potentiel. Parmi les types d'énergies renouvelables proposées par l'état dans le cadre du PNER on trouve la technologie des CSP, que nous expliquerons en détail dans le deuxième chapitre.

Chapitre 2

Les concentrateurs solaires

1. Introduction

La solaire thermodynamique est l'une des valorisations du rayonnement solaire direct. Cette technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire pour chauffer un fluide à haute température et produire ainsi de l'électricité ou alimenter en énergie des procédés industriels

Les centrales solaires thermodynamiques recouvrent une grande variété de systèmes disponibles tant au niveau de la concentration du rayonnement, du choix du fluide caloporteur ou du mode de stockage. Dans ce chapitre, nous allons présenter la technologie CSP à partir des principes de base de cette technologie ensuite nous abordons une étude des quatre types des centrales CSP, et le type que nous aborderons en détail est les concentrateurs cylindro-paraboliques, ensuite les composantes d'une centrale CSP et les paramètres techniques, et enfin production électrique.

2. La technologie de CSP solaire

2.1. Bases de la technologie CSP[14]

Avant de poursuivre, il est utile de présenter quelques informations de base sur la technologie CSP. CSP signifie énergie solaire à concentration; dans ce type d'usines, la composante directe du rayonnement solaire (normalement mesurée en termes d'irradiation normale directe ou DNI, en W / m^2 , se rapportant à une surface plane perpendiculaire au vecteur solaire) est concentrée par un système de miroirs puis utilisée pour produire des températures moyennes à élevées ou très élevées. La chaleur ainsi obtenue peut alors être utilisée:

- produire de la chaleur de processus pour des processus industriels ou une température relativement élevée pour (des températures comprises entre 100 et 250 ° C environ) à des fins civiles / résidentielles
- produire de l'électricité par conversion thermodynamique, avec des cycles air, gaz ou vapeur, et en utilisant des huiles diathermiques, des mélanges d'eau, de gaz ou de sels fondus (selon la plage de températures et l'utilisation finale) comme fluide caloporteur (HTF) environ 300 - 565 ° C); c'est le CSP comme prévu normalement.

Chapitre 2 : Les concentrateurs solaires

- produire de l'hydrogène à partir de la séparation de l'eau à l'aide de réactions thermochimiques déclenchées à très haute température (plages de température d'environ 800 à 1500 ° C).

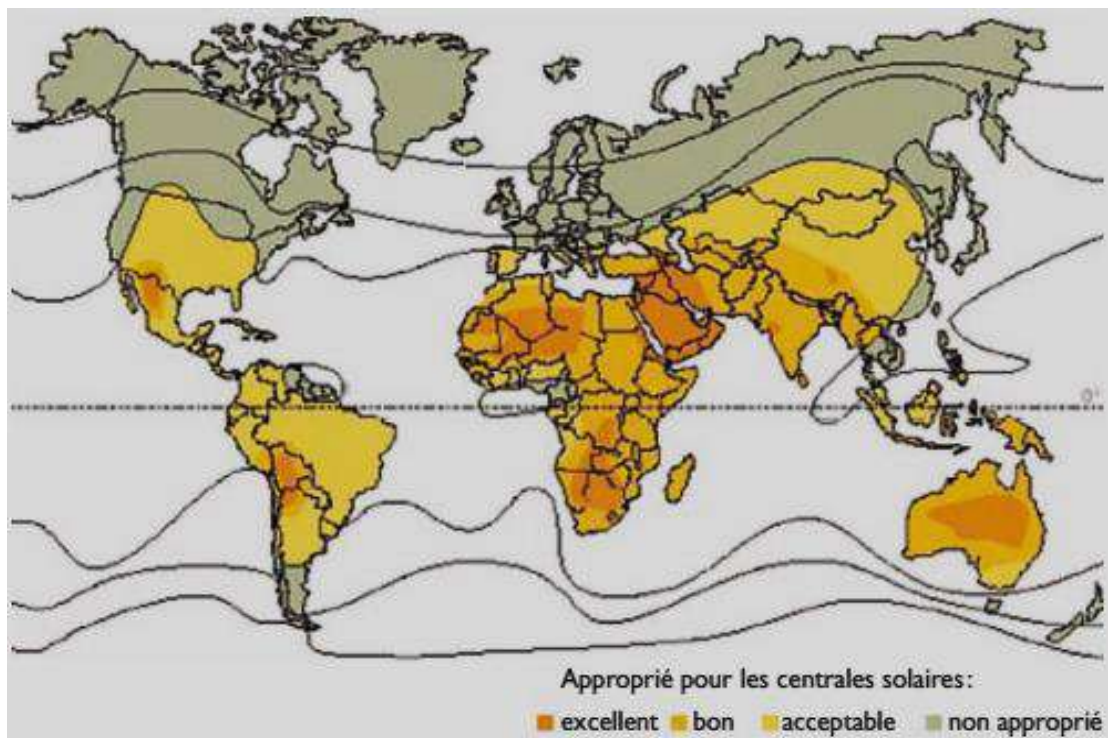


Figure.2.1: Zones appropriées pour l'installation de centrales solaires thermiques à concentration[14].

3. Les différents types de centrales solaires thermodynamiques

Il existe quatre types de CSP :

3.1. Les Centrales solaires cylindro-paraboliques

C'est la technologie la plus répandue aujourd'hui. Le foyer d'une parabole est un point, celui d'un miroir cylindro-parabolique est un axe, sur lequel est placé un tube absorbeur (le récepteur) de couleur noire, pour capter un maximum de rayonnement. Dans ce tube circule le fluide caloporteur, qui se réchauffe jusqu'à une température d'environ 400°C [2] et qui est ensuite centralisé et transporté jusqu'au bloc de génération électrique. L'ensemble miroir cylindro parabolique/récepteur suit le mouvement du Soleil.



Figure.2.2: Centrales Solaires Cylindro-paraboliques

3.2. Centrales Solaires à Tour

Un réseau circulaire d'héliostats (grands miroirs à mouvement solaire) concentre la lumière du soleil sur un récepteur central monté au sommet d'une tour. Un milieu caloporteur dans ce récepteur central absorbe le rayonnement hautement concentré réfléchi par les héliostats et le convertit en énergie thermique, qui est utilisée pour générer de la vapeur surchauffée pour la turbine. À ce jour, les milieux de transfert de chaleur démontrés qu'ils comprennent l'eau / vapeur, les sels fondus et l'air. Si du gaz sous pression ou de l'air est utilisé comme fluide caloporteur à des températures très élevées, de l'ordre de 1 000 ° C ou plus, il peut même être utilisé pour remplacer directement le gaz naturel dans une turbine à gaz, en exploitant l'excellent cycle (60% et plus) de cycles combinés gaz et vapeur modernes[15].

Cette technologie ne requiert pas une surface plane à la différence des centrales cylindro-paraboliques. Ainsi un autre avantage est la possibilité d'augmenter le rendement total de conversion (jusqu'à 20%) par l'augmentation de la température du fluide. Alors La confiance commerciale envers cette technologie s'accroît à mesure que des centrales opérationnelles sont construites et que des améliorations techniques sont apportées. Il est possible d'utiliser l'hybridation[16].

La centrale la plus connue de ce type est la "Solar Two", d'une puissance nominale de 10 MW, qui a fonctionné comme centrale expérimentale de 1996 à 1999 à Daggett, Californie,

USA. [14]. La figure (2.3): donne une photo d'une tour solaire.



Figure .2.3: Centrales solaires à tour.

3.3. Paraboles Solaires Dish Stirling

Le système parabolique Stirling consiste en un concentrateur parabolique (semblable à une parabole satellite) qui réfléchit le rayonnement solaire direct sur un récepteur situé au centre de la parabole. Le récepteur peut être un moteur Stirling (systèmes plat / moteur) ou une micro-turbine. Les systèmes à antenne Stirling exigent que le soleil soit suivi sur deux axes, mais la concentration élevée d'énergie sur un seul point peut produire des températures très élevées. Les systèmes de parabole Stirling doivent encore être déployés à toute échelle. La plupart des recherches portent actuellement sur l'utilisation d'un moteur Stirling associé à une unité génératrice, située au centre de la parabole, pour transformer le pouvoir thermique en électricité. Il existe actuellement deux types de moteurs Stirling: cinématique et à piston libre. Les moteurs cinématiques fonctionnent avec de l'hydrogène comme fluide de travail et ont des rendements plus élevés que les moteurs à pistons libres. Les moteurs à pistons libres fonctionnent à l'hélium et ne produisent pas de frottement pendant le fonctionnement, ce qui permet de réduire l'entretien requis[15].la photo d'une central Parabole Solaire Dish Stirling est présenté dans la figure 2.4.



Figure.2.4 : Paraboles Solaires Dish Stirling[15].

3.4. Collecteurs linéaires de Fresnel

Les réflecteurs de Fresnel linéaires (LFR) se rapprochent de la forme parabolique des systèmes de gouttières, mais en utilisant de longues rangées de miroirs plats ou légèrement incurvés pour réfléchir les rayons du soleil sur un récepteur fixe, linéaire et orienté vers le bas. Une conception plus récente, connue sous le nom de Réflecteurs de Fresnel Linéaires Compacts (CLFR), utilise deux récepteurs parallèles pour chaque rangée de miroirs et nécessite donc moins de terrain que les auges paraboliques pour produire une sortie donnée. Le principal avantage des systèmes LFR est que leur conception simple de miroirs pliés de manière flexible et de récepteurs fixes nécessite des coûts d'investissement inférieurs et facilite la génération de vapeur directe (DSG), éliminant ainsi le besoin et le coût de fluides caloporteurs et d'échangeurs de chaleur. Les centrales LFR sont toutefois moins efficaces que les réservoirs pour convertir l'énergie solaire en électricité et il est plus difficile d'intégrer la capacité de stockage à leur conception[17]. La photo des centrales a collecteur de Fresnel est présenté dans la figure (2.5).

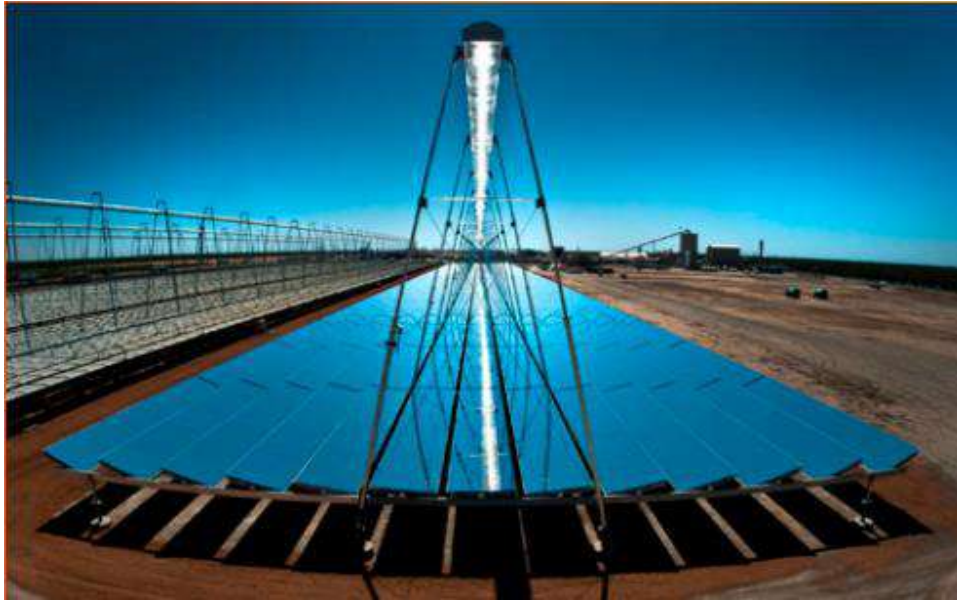


Figure.2.5 : Collecteurs linéaires de Fresnel[18].

4. Les Centrales solaires cylindro-paraboliques

4.1. Principe de fonctionnement d'un réflecteur cylindro-parabolique

Une centrale cylindro-parabolique est composée d'un réflecteur parabolique (miroir), d'une structure métallique, d'un tube récepteur et du système de poursuite solaire comme indique la figure.2.6 La technologie des capteurs cylindro-paraboliques est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire.

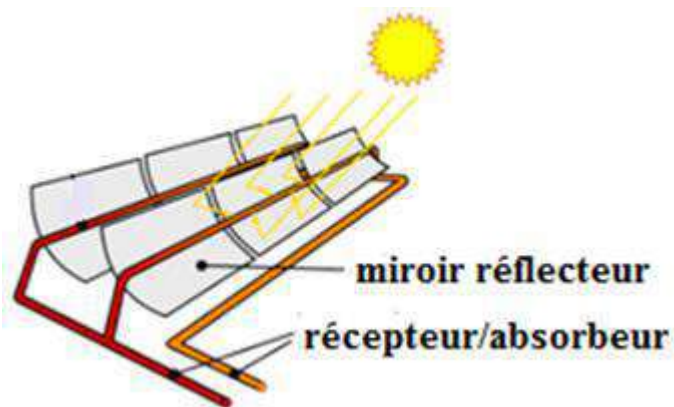


Figure.2.6 : réflecteur cylindro-parabolique.

Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter l'inclinaison du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur.

L'énergie thermique reçue au collecteur est absorbée par un tuyau métallique à l'intérieur d'un tube en verre sous vide. Le fluide (huile synthétique par exemple) qui circule à l'intérieur du tuyau (tube), est chauffé à une température supérieure à 400°C. Ce fluide est ensuite pompé à travers des échangeurs conventionnels afin de produire de la vapeur d'eau à hautes températures et pressions. La vapeur produite est ensuite intégrée dans un cycle thermodynamique générant de l'énergie électrique au moyen d'un (ou de plusieurs) alternateur couplé à une (ou à plusieurs) turbine à vapeur[19].

4.2. Description d'une centrale cylindro-parabolique

L'installation typique est formée de trois éléments principaux : le champ solaire, le système de stockage et le système de génération électrique comme l'illustre la figure (2.7).

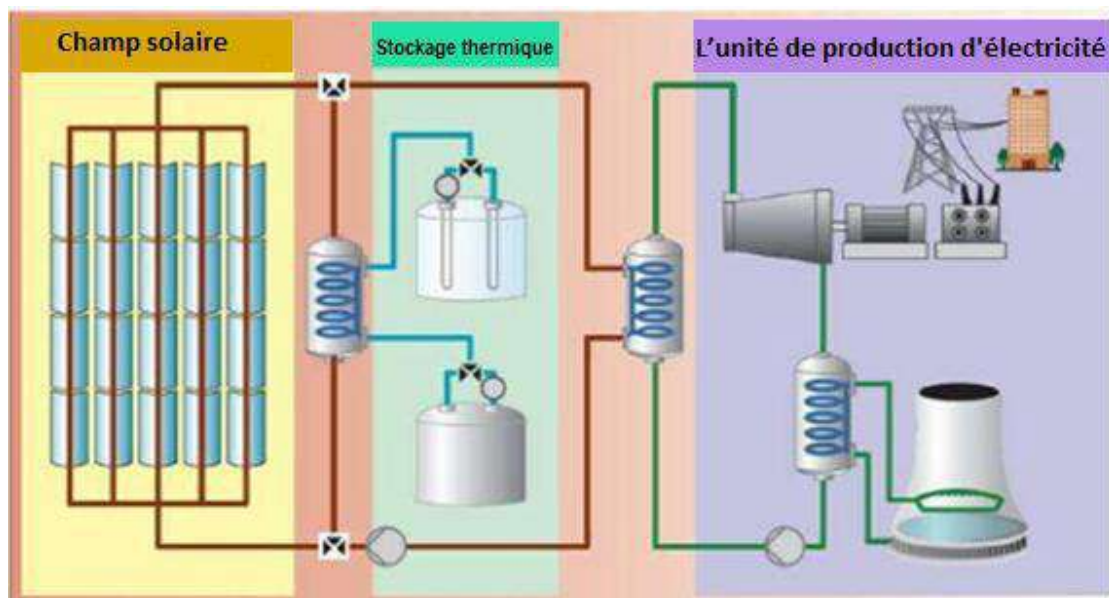


Figure.2.7: schéma d'une installation de centrale solaire cylindro-parabolique.

4.2.1. Champ solaire:

Il représente la partie reçue de la structure, où le rayonnement solaire est converti en énergie thermique. Ces collecteurs sont associés à une série pour former de longues lignes connectées en parallèle. La taille du champ solaire dépend de la force et de la température

Chapitre 2 : Les concentrateurs solaires

souhaitée du fluide caloporteur dans la sortie.

Les capteurs sont alignés dans une direction nord-sud et possèdent un système de suivi du soleil monoculaire dans la direction est-ouest. Le capteur permet de contrôler le réglage du soleil pour les rangées de capteurs. Ces informations sont ensuite envoyées au système de contrôle central, qui ajuste l'angle en conséquence[20].

4.2.2. Stockage thermique:

Le fonctionnement des systèmes solaires de production d'électricité est fortement contraint par les intermittences de la ressource. Pour y remédier, certaines centrales thermodynamiques utilisent le stockage thermique. Ce stockage ne permet que rarement de réduire les coûts mais augmente considérablement la valeur de l'électricité produite en lissant la production de la centrale. Le stockage permet d'accroître la durée de fonctionnement (facteur de capacité) des centrales par rapport aux heures d'ensoleillement disponibles, qui passe typiquement de 20% sans stockage à 30-50% avec stockage. Il s'agit de stocker et de restituer l'énergie thermique à la puissance requise et à température élevée.

La capacité de stockage s'exprime souvent en heures de production à pleine charge en l'absence de rayonnement solaire[21]. La figure 2.7 présente le schéma d'une installation de centrale solaire cylindro-parabolique.

4.2.3. L'unité de production d'électricité :

Qui contient les pompes à eau de haute pression, la production de vapeur, la turbine à vapeur, les échangeurs de chaleur pour le préchauffage de l'eau, le chauffage de la vapeur, le générateur, le tour de refroidissement et l'unité de déminéralisation, requise pour éviter la formation de cristaux de sel très abrasifs dans la turbine.

Les composants facultatifs de la centrale CSP sont les suivants:

Source de chaleur supplémentaire: L'intégration d'une source de chaleur supplémentaire réduit l'impact du rayonnement solaire sur la production d'électricité. Les autres effets de cette introduction sont de réduire le coût de production moyen d'un kilowatt par heure. Comme c'était le cas pour les centrales solaires en Californie, étant donné l'enrichissement d'énormes ressources fossiles, la réduction des coûts d'investissement pour les centrales solaires et la

Chapitre 2 : Les concentrateurs solaires

réduction des émissions de dioxyde de carbone, elles deviennent plus restrictives. L'importance de la promotion du champ solaire et de l'introduction du système de stockage de chaleur:

Cette option présente de plusieurs avantages:

- Permettre une production à base d'énergie solaire après le coucher du soleil ;
- Permettre un démarrage de production avant le lever du soleil ;
- Augmenter le facteur de capacité, qui peut atteindre, selon la capacité de stockage, le niveau des centrales répondant aux besoins en heures pleines et même celui des centrales de base. Ainsi, une centrale CSP avec une capacité de stockage permettant 15 heures de fonctionnement à puissance nominale est comparable à une centrale de base, vu que le rapport de la production annuelle à la puissance nominale dépasse 6 500 heures par an[22].
- Permettre une réduction du coût de production du kWh.
- Améliorer la stabilité de la production en réduisant considérablement les pertes de qualité de production résultant des variations d'irradiation.

4.3. Les paramètres techniques

4.3.1. Température maximale du fluide caloporteur

La température qui peut être atteinte au niveau de l'absorbeur d'une centrale CSP dépend, en plus du niveau de perte de chaleur par convection, conduction et rayonnement, du facteur de concentration du rayonnement solaire et du débit du fluide caloporteur. Les pertes de chaleur augmentent considérablement avec l'augmentation de la température. La température du fluide caloporteur à la sortie du champ solaire dépend essentiellement de deux paramètres: le débit et la stabilité thermique du fluide. L'huile synthétique utilisée actuellement dans les systèmes à miroirs cylindro-paraboliques a encore une bonne stabilité thermique à 400°C. La figure(2.8) nous donne plus de détail sur la variation du rendement de l'absorbeur en fonction de la température de l'absorbeur pour les technologies CSP[22].

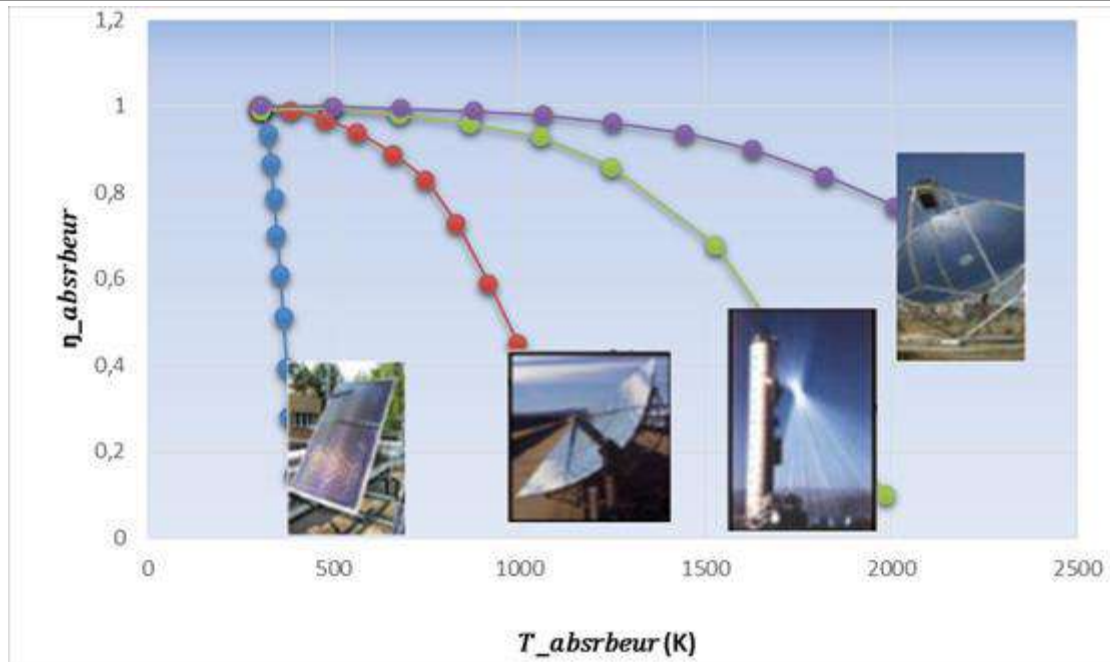


Figure .2.8 : la température de l'absorbeur en fonction de la technologie[22].

4.3.2. Le facteur de concentration:

Les capteurs solaires à concentration sont caractérisés par un facteur de concentration optique (CR). Ce facteur est le rapport entre deux densités de flux solaire. Différentes densités de flux peuvent être considérées au numérateur. Il y a la densité moyenne de flux :

1/capté en entrée du récepteur, 2/incident sur l'élément absorbeur ou 3/absorbé par l'élément absorbeur. Le dénominateur correspond à la densité de flux solaire direct normal mesuré au sol. [23].

4.3.3. Les fluides caloporteurs et thermodynamiques[24]:

L'énergie thermique provenant du rayonnement solaire collecté est convertie grâce à un fluide caloporteur puis une fluide thermodynamique. Dans certains cas, le fluide caloporteur est utilisé directement comme fluide thermodynamique. Le choix du fluide caloporteur détermine la température maximale admissible, oriente le choix de la technologie et des matériaux du récepteur et conditionne la possibilité et la commodité du stockage.

- **Les huiles** sont des fluides monophasiques qui présentent un bon coefficient d'échange. Leur gamme de température est limitée à environ 400 °C. C'est le fluide le plus couramment employé dans les centrales à collecteurs cylindre-paraboliques.

Chapitre 2 : Les concentrateurs solaires

- **Les gaz** tels l'hydrogène ou l'hélium peuvent être utilisés comme fluides thermodynamiques et entraîner les moteurs Stirling qui sont associés aux collecteurs paraboliques.
- **Les sels fondus** à base de nitrates de sodium et de potassium offrent un bon coefficient d'échange et possèdent une densité élevée. Ils sont donc également de très bons fluides de stockage. Leur température de sortie peut atteindre 650 °C. Leur association avec un concentrateur à tour et un cycle de Rankine constitue une combinaison déjà éprouvée.
- **L'eau liquide** est, a priori, un fluide de transfert idéal. Elle offre un excellent coefficient d'échange et possède une forte capacité thermique. En outre, elle peut être utilisée directement comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine. Cependant son utilisation implique de travailler à des pressions très élevées dans les récepteurs en raison des hautes températures atteintes, ce qui pose problème pour les technologies cylindre-paraboliques.
- **L'air** peut être utilisé comme fluide caloporteur ou comme fluide thermodynamique dans les turbines à gaz.
- **Les fluides organiques** (butane, propane, etc.) possèdent une température d'évaporation relativement basse et sont utilisés comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine.

5. Production électrique

5.1. La génération de puissance

Comme on l'a vu les concentrateurs solaires servent à capter l'énergie thermique. Après avoir donc capté l'énergie thermique grâce aux concentrateurs, les fluides caloporteurs sont chauffés. Ces fluides suivent alors un cycle dont le but final est de générer dans un premier temps de la puissance mécanique puis de la puissance électrique. Pour cela les centrales thermiques utilisent le plus souvent un cycle de Rankine, du nom du chercheur qui l'a inventé[25].

5.2. Le cycle de Rankine:

Plusieurs systèmes de génération d'électricité sont envisageables : turbine à gaz solarisées, cycle de Rankine vapeur, moteur Stirling, Cycle de Rankine organique, etc. Le choix d'un système est conditionné par le type de fluide, la technique de captage et de stockage envisagés. Les cycles de Rankine vapeur sont, dans l'état actuel des technologies, les plus largement déployés.

Chapitre 2 : Les concentrateurs solaires

L'hybridation : L'hybridation avec une source de chaleur fossile ou biomasse permet d'accroître la disponibilité des installations et de produire la chaleur de manière garantie. Elle favorise ainsi la stabilité des réseaux électriques nationaux et continentaux[26, 27].

5.3. Le Rendement:

Dans la réalité des cycles de Rankine, qu'ils soient organiques ou pas, on a un rendement inférieur à 1 à cause des transformations irréversibles qui ont lieu. Le cycle de Rankine utilise une machine thermique diatherme (source chaude et source froide), son rendement se ramène donc à celui du cycle de Carnot qui est :

$$\mathbf{r} = \mathbf{1} - \frac{T_f}{T_c}$$

T_f : Température de la source froide (K)

T_c : Température de la source chaude (K)

Dans la réalité on ne peut avoir une source froide à 0 K, c'est pourquoi on ne peut pas avoir un rendement de 100%. Mais on peut s'en approcher en jouant sur les températures de sources chaudes et froides, en essayant d'augmenter le plus possible l'écart de température entre la source chaude et froide. Néanmoins le rendement réel sera inférieur au rendement de Carnot car celui-ci ne prend pas en compte les irréversibilités qui ont lieu[28].

6. Conclusion:

Selon cette présentation de la technologie CSP, nous constatons que l'existence de quatre types de concentration implique l'apparition de quatre types de centrale pour la génération d'électricité et que notre choix se fait sur les concentrateurs cylindro-paraboliques qui sont les plus largement déployés.

Par conséquent, une présentation détaillée de la technologie cylindro-parabolique a été effectuée, dont l'objectif est de connaître les facteurs, les normes et les conditions environnementales et leurs influence sur le fonctionnement, tels que l'influence de température qui a été appropriée à 400 °C et pour l'irradiation solaire on a constaté que ce type de concentrateurs cylindro-parabolique n'utilise que le rayonnement solaire normal direct (DNI) pour leur fonctionnement. Ces paramètres ont une influence directe sur le choix des sites appropriés de cette technologie pour assurer une bonne rentabilité de production, donc l'identification et la sélection de ces critères constitue une nécessité pour ce travail. Et cela sera l'objectif de chapitre suivant.

Chapitre:03

Élaboration d'un système d'information géographique (SIG)

1. Introduction:

Un critère est un aspect mesurable d'un jugement, qui permet de caractériser et de quantifier les alternatives dans un processus décisionnel [29]. Les critères d'évaluation ont été sélectionnés en fonction des résultats visés et d'une revue de la littérature concernant des études de cas sur les énergies renouvelables au moyen d'Arc-GIS. Les critères ont été classés en quatre catégories différentes: environnement, orographie, localisation et climat.

Ce chapitre étudie les résultats de la combinaison des outils de système d'information géographique (SIG) et de la méthode de prise de décision multicritères (MCDM) afin d'évaluer le degré d'acceptabilité d'un certain nombre de sites pour la réalisation d'un projet d'énergie renouvelable CSP.

2. Méthodologie et méthode du travail:

2.1. Collection des données:

Le passage par l'étape de collection des données et des informations est inévitable pour arriver à développer les cartes nécessaires pour ce travail. Nous avons téléchargé des cartes (des habitas, routières, les zones occupées) depuis l'Open Street Map (OSM) et pour la carte des réseaux électriques on a consulté le site web officiel de Sonelgaz, et pour les cartes de la température et d'irradiation, on a utilisé des logiciels présentant des données climatiques et géographiques comme Métronome et Google Earth. Les données collectées ont été traitées puis filtrées et finalement organisées dans des feuilles Excel. Dans cette étude, les cartes ou d'un terme plus précis les critères ont été sélectionnés sur la base d'une étude bibliographique comme représenté le tableau 3.1.

2.2. Préparation de Géo Data Base (GDB):

Après la collection des et la préparations des données pour chaque carte. On utilise le Système d'Information Géographique (SIG) (Arcgis V10.2) pour créer une base de données géographique présentée sous forme de cartographies géo numérisées à l'aide des outils d'analyse spatiale disponibles dans ce programme. La structure organisationnelle suivante représente les principales étapes de cette démarche.

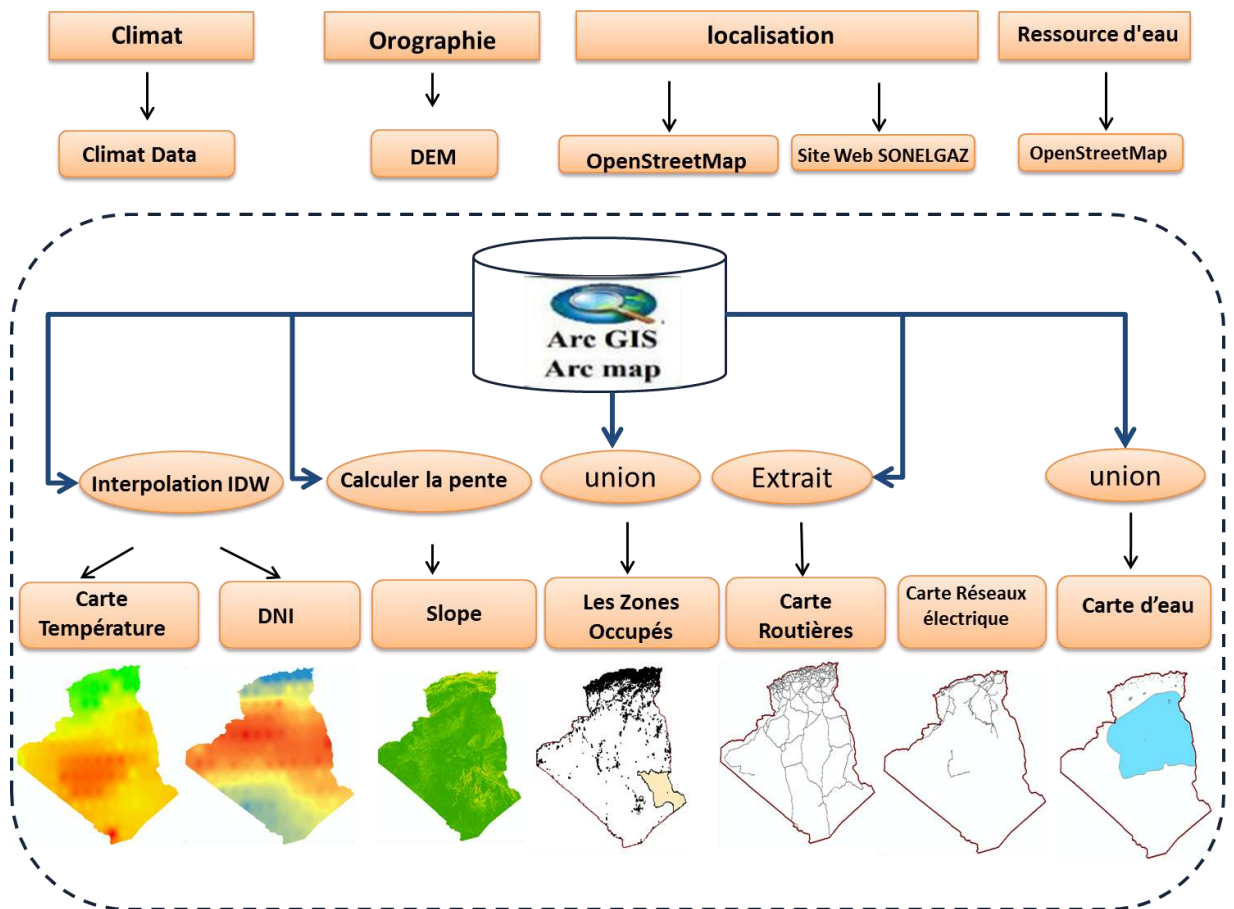


Figure.3.1: Organigramme représente les étapes de préparation de Géo Data Base.

3. Les critères sélectionnés:

Dans ces études, les critères sont un facteur important pour déterminer l'emplacement d'un projet de nombreux critères peuvent être utilisés dans notre étude, et nous nous baserons sur notre sélection de critères en comparant certaines sources portant sur le même sujet, en vous reportant au tableau 3.1 montrant la compatibilité des critères les plus importants, déterminants pour la localisation du projet.

Chapitre03:Élaboration d'un système d'information géographique (SIG)

Tableaux .3.1 : Les critères les plus appropriées pour un projet CSP[30], [31], [32], [33], [34], [35], [29].

Référence Les critères	Réf [30]	Réf [31]	Réf [32]	Réf [33]	Réf [34]	Réf [35]	Réf [29]	Cette étude
Annuel direct DNI	X	X	X	X	X	X	X	X
Pente de terrain	X	X	X	X	X	X	X	X
Réseaux électrique	X	X	X	X	X	X	X	X
Réseau routier	X	X	X	X	X		X	X
Ressource d'eau	X	X	X			X	X	X
Les zones occupées		X	X	X		X		X
Moyenne Température			X				X	X
Aéroport		X	X					
Établissements Urbains					X			
Méthode d'analyse	AHP	AHP	AHP	AHP	AHP	/	AHP	AHP

Nous avons choisi sept critères lors de la comparaison précédente et nous nous sommes assurés que ces critères sont communs à la plupart des références, à savoir: (rayonnement solaire, température, réseaux routiers, réseaux électriques, zones occupées, pentes et sources d'eau). Nous pouvons les classer comme suit :

- Les critères d'efficacité comprennent les radiations solaires et la température, sont des facteurs importants pour l'efficacité de cette station.
- Critères environnementaux tels que les zones occupées et les pentes.

- Critères économiques tels que la proximité des routes et des réseaux électriques, ce dernier pour éviter des coûts élevés.

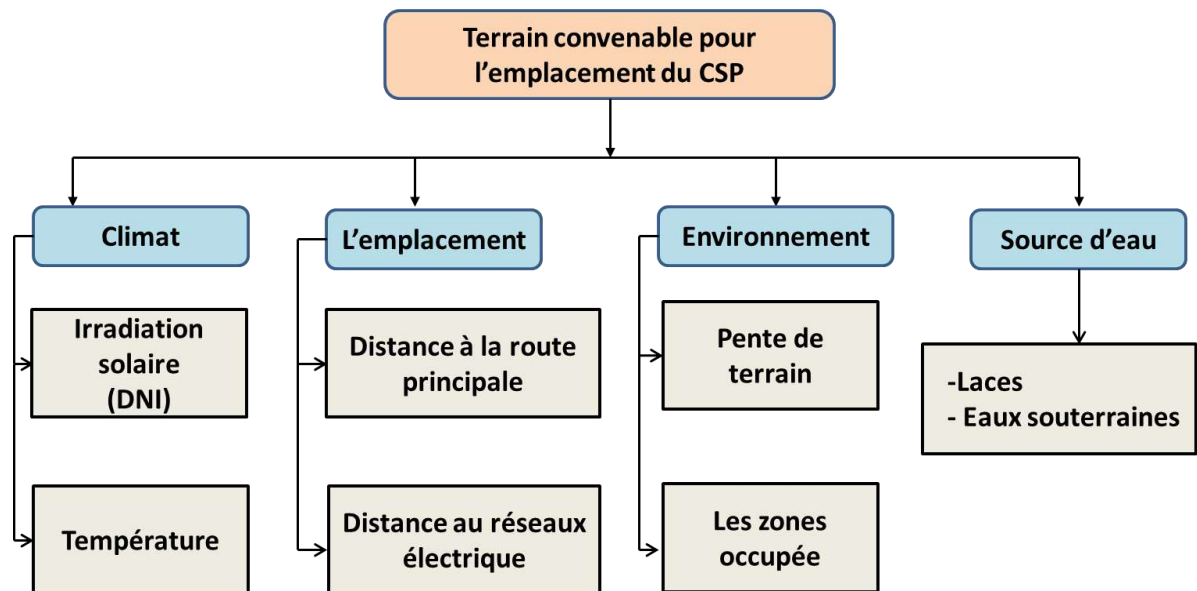


Figure.3.2: Critère d'évaluation pour l'emplacement du CSP.

3.1. Irradiation solaire et température

Les facteurs climatiques (rayonnement solaire et température) sont considérés comme les paramètres les plus significatifs de la règle de décision déterminant si l'emplacement sélectionné sera approprié pour la capacité de production d'électricité estimée des centrales CSP[36].

3.1.1. Préparation de carte irradiation solaire et carte température

Afin d'évaluer le potentiel solaire d'une région ou d'un pays, il est essentiel de développer une carte solaire avec une grande précision. Plusieurs méthodes sont disponibles pour le développement de cartes solaires, Premièrement, nous divisons le territoire national en points à l'aide du programme Fortran, où ces points sont répartis de manière égale et uniforme. Nous avons reçu 96 points réguliers et homogènes sur l'ensemble du territoire national, ce qui a permis d'améliorer la carte d'irradiation.

Ensuite, nous utilisons "GOOGLE EARTH" [37] pour importer les altitudes de tous les points obtenus précédents, après en utilisant le logiciel "METEONORM" (c'est un recueil très complet de données météorologiques il contient également des algorithmes pour la création des fichiers météorologiques - valeurs mesurées) pour apporter les données climatiques pour chaque point (températures et radiation), à la fin, nous enregistrons toutes les coordonnées des points et les données climatiques dans un fichier "Excel" qui contient (longitude, latitude, altitude, température, irradiation).

Pour réaliser une carte radiation nous utilisons le programme Arcgis (c'est un programme qui basé sur l'analyse spatiale), et avec l'aide de l'outil "Arc Toolbox" (Une interface utilisateur dans Arcgis utilisée pour accéder, organiser et gérer une collection d'outils de géo traitement, de modèles et de scripts), en réalisant cette carte avec méthode d'interpolation (Inverse Distance Weighted) "IDW", qui détermine les valeurs de cellule via la combinaison pondérée de manière linéaire d'un ensemble de points d'échantillonnage, la pondération est une fonction d'inverse de la distance; La surface qui est interpolée doit être celle d'une variable dépendante de l'emplacement, de la même étape que nous avons suivi pour réaliser la carte irradiation solaire en réalisant la carte de température.

3.2. Pentés de terrain

Les centrales solaires, en particulier CSP, sont fortement affectées par la pente du terrain. Il est considéré comme un paramètre majeur pour l'évaluation des terres, car il affecte grandement la faisabilité et le coût de tout projet solaire [38].

3.2.1. Réalisation de carte des pentés de terrain

La préparation de la carte de pentés de terrain passe par plusieurs étapes (téléchargement, rassemblement, extraction par masque et projection) pour obtenir la carte de pentés de terrain, le premier est le téléchargement de la donnée d'élévation SRTM (Shuttle radar Topography Mission) du site (SRTM. CSI. CGIAR. ORG) [39], ce site fournit des données d'altitude à une résolution spatiale de 90 m, ces données sont utilisées pour la préparation de la carte des pentés.

Après avoir téléchargé toutes les coupes qui incluent toute la région de l'Algérie, nous devons l'ajuster pour devenir approprié au programme Arcgis. On assemble les pièces téléchargées en une seule pièce par processus (Merge) est disponible dans [Arc Toolbox] en Arcgis, puisque cette pièce est accrue à la carte de l'Algérie, nous avons besoin d'une étape supplémentaire, qui doit être coupée par un processus dans le toolbox "Extract By mask".

Après nous convertissons ses coordonnées de "WGS 1984" à "WGS1984 UTM_ zone _30N" avec un outil disponible de Toolbox, à la fin de ce processus, nous avons obtenu le modèle d'élévation numérique, après on utilise l'outil "slope" pour développer la carte finale des pentes des terrains, l'unité de cette carte est le pourcentage (%)

3.4. Le réseau routier

Le meilleur emplacement pour une centrale électrique est celui proche du réseau routier pour le transport des matériaux et des travailleurs. Le facteur économique tel que la distance des routes peuvent avoir une incidence sur le coût de construction de l'installation de la centrale solaire. Les projets ont également plus de chances de réussir s'ils se trouvent à une distance accessible du réseau électrique [40]. Cela peut par exemple être le plus rentable, en réduisant le nombre de routes supplémentaires à construire.

3.4.1. Préparation de carte routière:

Nous avons téléchargé le réseau routier du site " OPEN STREET MAP " (OSM)[41], (c'est un projet qui a pour but de constituer une base de données géographiques libre du monde et aussi contient des données gratuites à télécharger), cette carte réseau contient tous les types de routes en Algérie (primaire, secondaire, Résidentiel, Service, autoroute ...etc.). Dans cette étude, nous intéressées aux routes nationales, nous devons donc apporter des modifications à cette carte téléchargée, ce processus est effectué via "editor" qui permet de dessiner des lignes, des polygones et des points sur des cartes.

3.5. Les zones occupées

Les zones occupées désignent les lieux qui ne sont pas adaptés pour les projets (station d'énergie renouvelable CSP), ils sont plusieurs types, nous les mentionnons les forêts,les réserves naturelles, les zones agricoles, les zones résidentielles, les plans d'eau, tous ces endroits seront identifiés pour éliminer, on a téléchargé la carte du site qui ont à utiliser précédemment

(OPEN STREET MAP), après ont à ajouter quelques modifications et nous les comparons à certains endroits connus dans "GOOGLE EARTH"[37].

3.6. Réseau électrique

Compte tenu des coûts élevés associés à la construction de lignes de transmission d'énergie, l'un des critères importants pour l'emplacement des parcs solaires est la distance qui les sépare des lignes de transmission. Globalement, les lignes de transport d'électricité influent sur le positionnement des parcs solaires en termes de sécurité, de sécurité des réseaux et d'accessibilité rapide pour l'installation d'équipements et les réparations éventuelles.

En d'autres termes, la proximité de l'emplacement de la construction de l'installation par rapport aux lignes de transport d'énergie électrique constitue un avantage économique important [40].

3.6.1. Préparation de carte de réseaux électrique:

Après avoir apporté la carte de réseau électrique de Sonelgaz, qui montre les lignes électriques (Transport et distribution), certains processus doivent être ajoutés à la carte afin qu'ils puissent faire l'objet d'une analyse spatiale dans l'ArcGIS(numérisation de cette carte), après avoir inséré la carte image dans l'ArcGIS, nous commençons le processus de" l'Editor" Cette fonctionnalité nous permet de créer une couche numérique copie conforme sur l'image de réseaux électriques, nous sauvegarderons le travail à chaque fois pour ne pas perdre, après avoir terminé l'édition complète, nous verrouillons l'édition ,et nous serons en mesure d'obtenir une carte électrique convenable pour l'analyse spatiale.

3.7. Source d'eau:

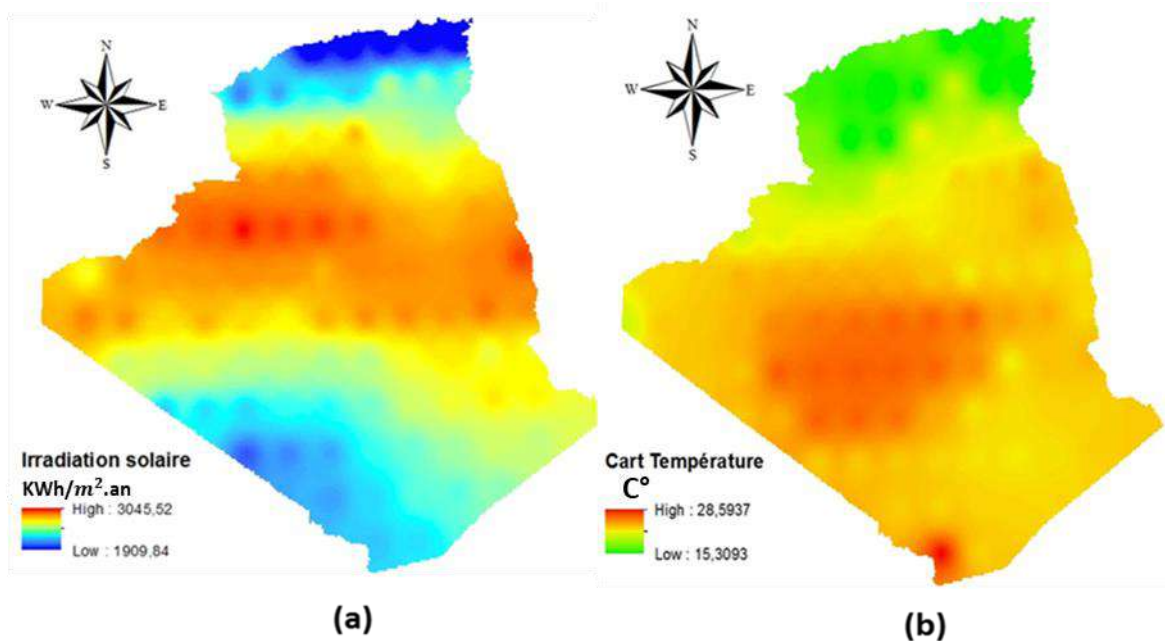
Même si la disponibilité de l'eau est importante pour les centrales solaires, en particulier dans les régions arides, peu d'études documentées traitent de ce facteur. Dans ce mémoire, nous examinons l'aptitude de l'Algérie à accueillir des centrales solaires à concentration utilisant les deux techniques de refroidissement. La norme de ressources en eau dans cette étude est divisée en deux facteurs: la distance aux lacs et la distance aux eaux souterraines.

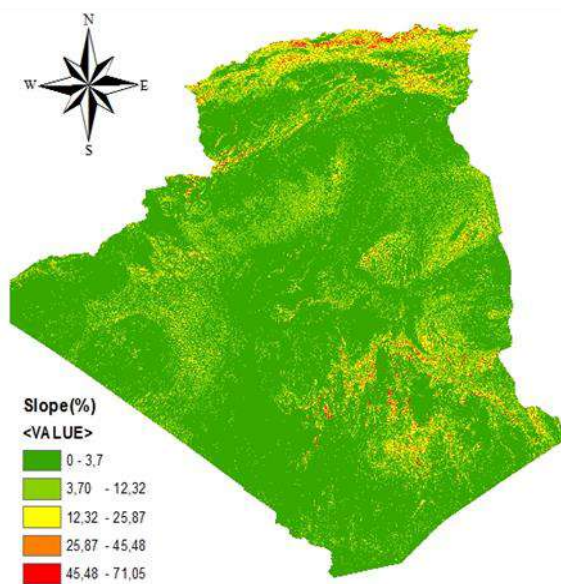
3.7.1. Préparation de carte de Source d'eau:

Après avoir apporté de la carte source d'eau du site "Open Street Map" (OSM), qui montre la distribution des lacs de surface et des eaux souterraines en Algérie, il est nécessaire d'ajouter certains processus à la carte afin que l'analyse spatiale puisse être ajoutée à ArcGIS après l'insertion de la carte dans l' ArcGIS, cette pièce est accrue à la carte de l'Algérie, nous avons besoin d'une étape supplémentaire, qui doit être coupée par un processus dans le toolbox "Extract By Clip".

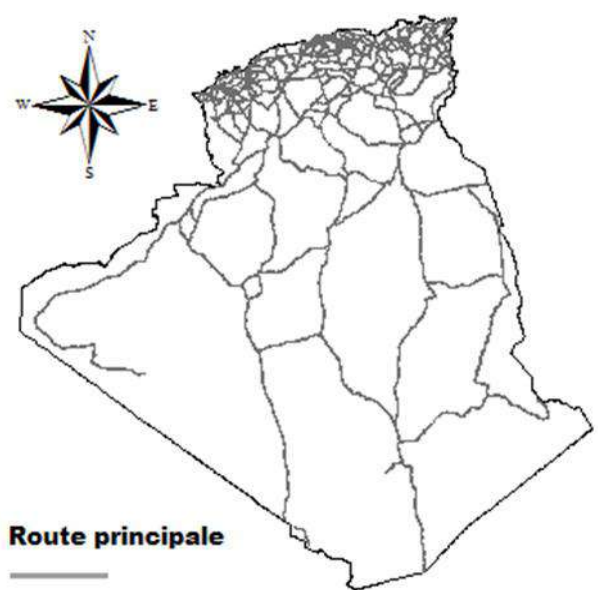
4. Les résultats de la collecte des Géo Data Base

Après avoir montré tous les critères et les étapes de traitement que nous avons effectués sur les cartes, nous avons obtenu les résultats de la collecte des Géo Data Base sont illustrés sur la figure (3.3) :

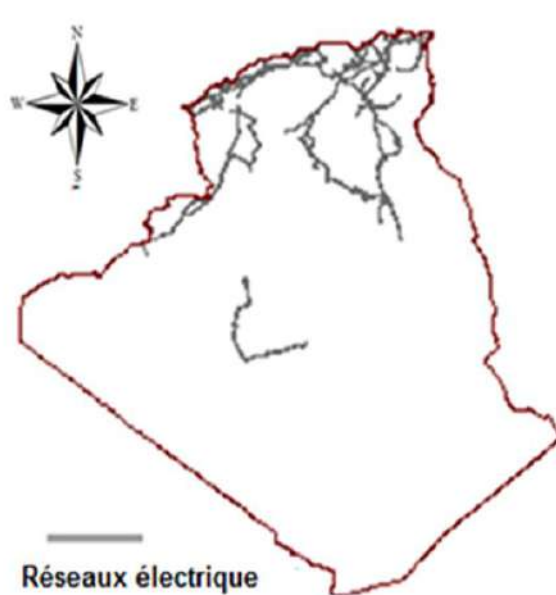




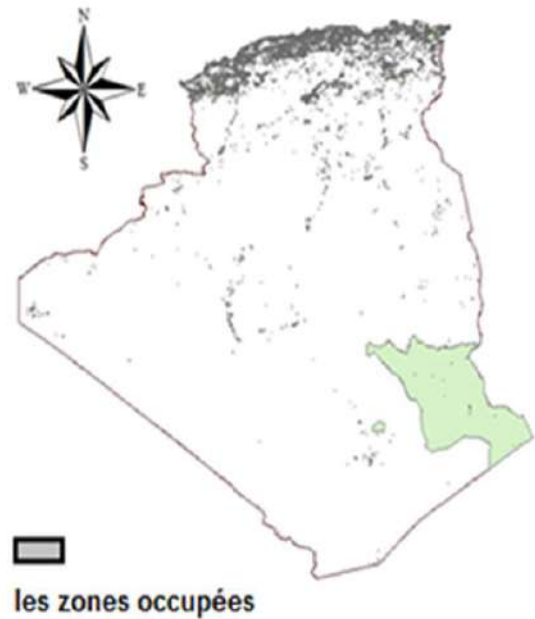
(c)



(d)



(e)



(f)

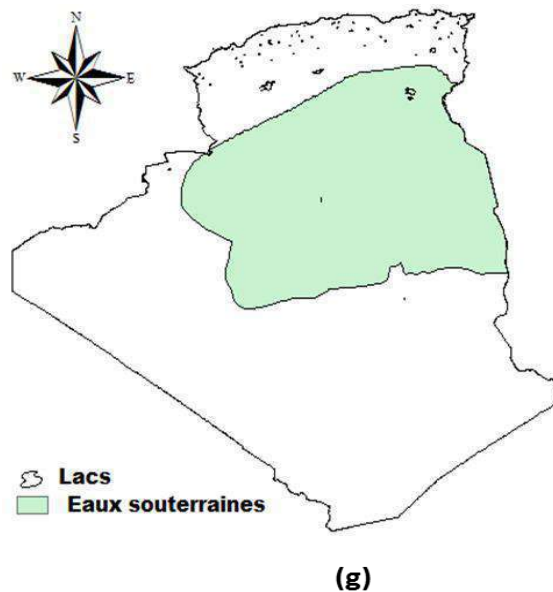


Figure.3.3: Les cartes élaborées sous ArcGis 10.2. a) carte irradiation solaire b) carte température c) carte pentes de terrain d) carte routières e) carte électrique f) les zones ouccpée g) les lacs et Eaux souterraines.

5. Méthodes de prise de décision multicritères (MCDM)

La prise de décision selon plusieurs critères a été présentée comme un domaine d'étude prometteur et important au début des années 1970. Depuis lors, le nombre de contributions aux théories et aux modèles, qui pourraient servir de base à une prise de décision plus systématique et rationnelle avec plusieurs critères, a continué de croître à un rythme soutenu, c'est-à-dire qu'il simplifie (représente) le système réel, et avec la condition qu'il soit facilement compris et facile à mettre en œuvre.

Ainsi, on étudie les alternatives que nous pouvons choisir, aussi que les critères sur lesquels ces alternatives doivent être évaluées. Ceci, qui à première vue semble être simple, fait partie de l'ensemble de la discipline c'est ce qu'on appelle la prise de décision multicritères (MCDM) [31],[33]. MCDM est une procédure qui trouve la meilleure décision parmi un ensemble décisions disponibles. Donc, un problème MCDM avec (m) décisions et (n) critères, peut-être exprimé sous la forme d'une matrice comme suite d'équations ci-dessus ou $A_1 ; A_2; \dots; A_m$ sont des décisions faisables; $C_1 ; C_2 ; \dots ; C_n$ sont des critères d'évaluation ; z_{ij} est la valeur de performance de décision A_i sous le critère C_j ; et w_j est le poids du critère C_j [31].

6. La Méthodes AHP

Le choix de l'emplacement le plus approprié pour les centrales solaires est un problème très complexe. Cela nécessite d'identifier différentes alternatives, de choisir entre elles et de trouver la solution la plus appropriée. [42]. Habituellement, pour résoudre ce type de problème, les chercheurs et les décideurs utilisent les méthodes de prise de décision multicritères (MCDM)[43]. Plusieurs méthodes MCDM sont présentes dans la littérature. Cependant, les chercheurs favorisent l'utilisation de la méthode de processus d'analyse hiérarchique (AHP) pour résoudre des décisions complexes avec différents critères. L'AHP est une approche mathématique développée par Satty en 1977[44]. L'avantage de cette technique est la diminution du nombre de décisions complexes en une série de comparaisons par paires. De plus, il s'agit d'une méthode utile pour vérifier la cohérence de la décision, réduisant ainsi les biais dans la progression de la prise de décision. Au début de chaque processus AHP, nous définissons un objectif et sélectionnons les alternatives et les critères. Ensuite, une matrice de comparaison par paires (A) est générée. Supposons que n est le nombre de critères, alors la matrice (A) sera une matrice où chaque entrée a_{ij} de la matrice décrit l'importance du $i^{\text{ème}}$ critère par rapport au $j^{\text{ème}}$ critère. L'importance relative des deux critères est mesurée selon une échelle numérique allant de 1 à 9.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a & b \\ 1/a & 1 & c \\ 1/b & 1/c & 1 \end{bmatrix}$$

Pour calculer le poids de chaque critère, nous devons normaliser la matrice (A) en divisant les éléments de chaque colonne par la somme des éléments de la même colonne. La moyenne des lignes de la nouvelle matrice donne les pondérations du critère relatif requis.

Après un certain nombre de comparaisons par paires, une certaine incohérence peut survenir. Le AHP comprend un paramètre permettant de contrôler la cohérence des valeurs de poids, appelé ratio de cohérence (CR). Pour calculer le CR, nous devons d'abord calculer l'indice de consistance (CI) en utilisant la formule:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - N}{N_1}$$

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \frac{(s.A)_j}{(n.A)_j}$$

Où λ_{max} est la valeur propre de la matrice de comparaison par paires et N le nombre de critères. À la fin, le RC est calculé en divisant l'indice de consistance (CI) par l'indice de cohérence aléatoire (RI). Les valeurs de RI pour les valeurs N appropriées sont bien connues et rassemblées dans un tableau.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Pour obtenir des résultats significatifs avec le AHP, le CR doit être égal ou inférieur à 0,10 ($CR \leq 0,10$), sinon ($CR > 0,10$), il y aura une incohérence et les valeurs de comparaison par paire doivent être ajustées[44].

7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué en détail tous les critères sélectionnés pour notre étude, en présentant la contribution de chaque critère dans l'aide à la décision pour le choix de site d'implantation d'un projet CSP. Nous avons choisi sept critères basés sur la comparaison d'études précédentes, et chaque critère a été élaboré et introduit comme base des données géo numériques dans une plateforme GDB au niveau de l'Arcgis. Ainsi ce chapitre présente le rôle des méthodes multicritères d'aide à la décision pour le choix des sites optimisés pour des projets d'énergie solaire. Le résultat obtenu dans ce chapitre constitue un aller précieux vers l'analyse et le traitement pour l'aide à la décision comme sera présenté dans le chapitre qui suit.

Chapitre 04:

Analyse et Discussions

1. Introduction:

Afin de déterminer les sites le plus approprié pour installer une centrale de production d'énergie solaire à grande échelle. Le SIG est utilisé pour répondre à cette question de sélection des sites appropriés à travers des opérations d'évaluation et d'analyse spatiales. Le système solaire considéré dans cette étude est constitué de centrales de production d'énergie solaire à concentration (CSP) (en particulier, des collecteurs cylindro-parabolique). Des évaluations techniques sont effectuées pour spécifier la quantité d'énergie solaire qui peut être exploitée en Algérie ainsi que d'estimer la capacité de production de l'énergie électrique.

Le chapitre est introduit par une étape d'analyse et traitement des données et des critères de sélections. La classification des couches et des indicateurs ainsi que la reclassification des cartes, nous permettons d'effectuer la dernière étape de raster calculatrice (en anglais "raster calculator"). La dernière partie de ce chapitre présente les zones optimales pour l'installation des projets des (CSP) et leurs capacités de production en énergie électrique avec une discussion approfondie des principaux résultats obtenus.

2. Analyse et traitement des données

2.1. Climat:

Les performances des centrales CSP ne sont pas affectées de manière significative par la température[45]. De plus, les centrales CSP utilisent la composante directe qui peut être concentrée de l'irradiation solaire pour produire de l'électricité.

Sur le plan économique, la valeur minimale de la DNI requise pour qu'une région utilise des centrales CSP est de 1800 kWh / m².an [46]. En Espagne, la valeur du DNI se situe entre 2000 et 2100 kWh / m².an, tandis qu'en Afrique du Sud, cette valeur peut atteindre 2 900 kWh / m².an [30]. Dans cette étude, le critère climatique est représenté par la valeur du DNI, car c'est le facteur climatique qui a une influence direct sur la faisabilité d'un projet CSP.

Pour cette raison, il est important de mentionner qu'aucun critère d'exclusion n'a été affecté à la DNI, car dans notre territoire nationale (domaine d'étude), les valeurs de l'irradiation solaire direct sont totalement supérieures à 1800 kWh / m².an.

2.2. Pente de terrain:

Les technologies des concentrateurs cylindro-paraboliques et de Fresnel linéaires sont particulièrement limitées par la pente du sol en raison de la conception du champ solaire, ce qui nécessite que le sol soit nivelé [47]. Les zones présentant une pente au sol élevé sont jugées inappropriées pour ces technologies [48]. Les concentrateurs cylindro-paraboliques peuvent être construits sur des pentes allant jusqu'à 5% - mais la construction sur un terrain en pente très élevées peut entraîner une augmentation des exigences de conception.

2.3. Proximité des réseaux électriques et routiers:

Dans cette étude, la proximité des réseaux électriques et routiers est considérée comme un facteur importante, nous avons pris de 1,5 km de Buffer (zone protégée), et un rayon maximum de 50 km est considéré comme limite, dont la proximité des réseaux électriques et routiers est préférable [30]. La distance euclidienne (outil disponible dans ArcToolbox -Arcgis) est principalement utilisé dans l'analyse multicritère. Cet outil est utilisé pour calculer la source la plus proche (en termes de distance) au réseau routier et au réseau électrique (figure.4.1) avec une distance maximal de 50 km. Les facteurs de proximité sont considérés comme des facteurs importants pour l'énergie solaire thermique.

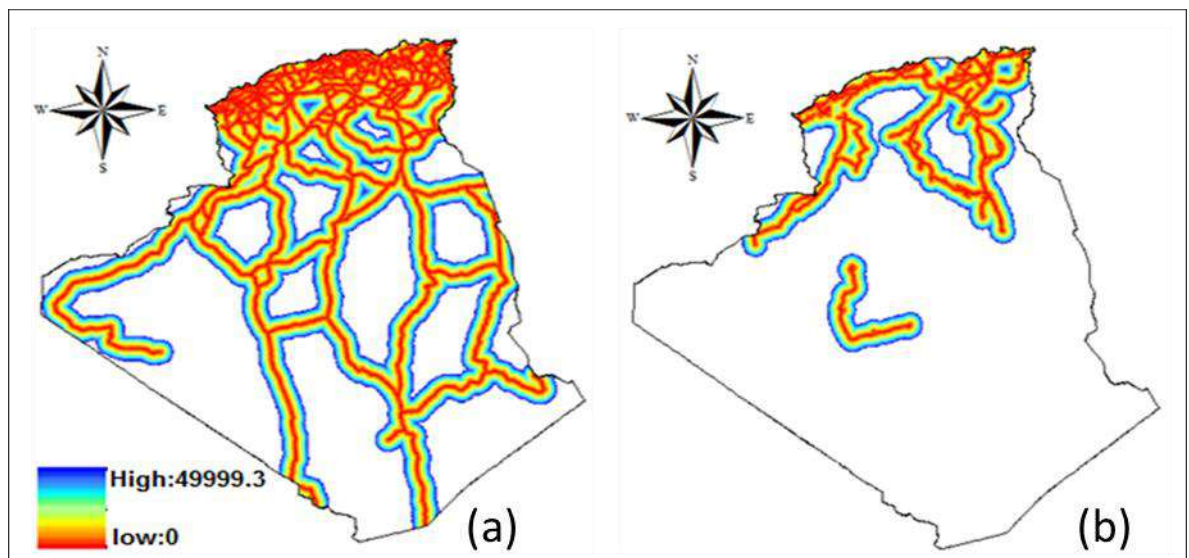


Figure 4.1 : (a) distance euclidienne pour le réseau routier principale et (b) réseaux électrique à haut tension.

Chapitre 4 : Analyse et Discussions

2.4. Ressource d'eau

Malgré que le facteur de la disponibilité de l'eau est crucial pour le fonctionnement d'une centrale solaire, en particulier dans les régions arides. Dans la littérature; on trouve que le facteur de disponibilité de l'eau n'a pas avoir son importance avec un nombre limités des études traitant ce facteur-là tel que "Tahri Meryem et al[29]", "Alami et al [30]". A cet effet et pour bien évaluer ce facteur, nous étudions l'aptitude de l'Algérie à accueillir des centrales CSP et on prend en considération la disponibilité de l'eau. Le critère de ressource en eau est divisé en deux facteurs: la distance à lac et la distance à l'eau souterraine.

3. Classification des couches et des indicateurs

Dans un processus décisionnel, chaque critère représente un aspect mesurable d'un jugement qui permet de caractériser et de quantifier les alternatives. Dans cette étude, les critères ont été choisis sur la base d'études de cas antérieures de la littérature, ainsi que de nos propres objectifs.

Après avoir extrapolé les études menées dans ce domaine, nous avons obtenu le tableau.4.1, qui présente les indicateurs de chaque critère[29] , [30], [31], [32], [33], [34], [35].

Chapitre 4 : Analyse et Discussions

Tableau.4.1: Les indicateurs pour chaque critère d'analyse.

<i>Les critères</i>	<i>classer les couches</i>	<i>Des indicateurs</i>
Climat	Direct Normal Irradiation (DNI) KWh/m ² .an	1909 - 2136 2136 - 2364 2364 - 2600 2600 - 2820 2820 - 3045
	Température moyenne (°C)	15 - 17 19 - 21 22 - 23 23,45 - 23,98 23,98 - 24,57 24,57 - 25,35 25,35 - 26,21 26,21 - 28,59
Environnement	Pentes de terrain (%)	0 - 3 % 3 - 7 % 7 - 12 % 12 - 25 % 25 - 75 % > 75%
	Les zones occupées (km)	0 - 1 1 - 3 5 - 7 7 - 9 9 - 11 13 - 15 17 - 20
Emplacement	Distance aux réseaux électriques (km)	0 - 10 10 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 50
	Distance aux réseaux routiers (km)	0-10 10-20 20-30 30-40 40-50
Ressource d'eau	Distance aux lacs (km)	0 - 4 4 - 10 10 - 14 14 - 19 19 - 25
	Les eaux souterraines	sur la surface souterraine

Chapitre 4 : Analyse et Discussions

Les zones protégées, les lignes de transport et les lacs n'ont pas la capacité d'installer des centrales solaires, ces zones sont donc exclues de la carte potentielle de l'énergie solaire, grâce à l'outil buffer disponible dans le programme SIG (des zones buffer sont souvent mises en place pour protéger l'environnement contre les accidents industriels ou les catastrophes naturelles, les types de zones 'BUFFER' peuvent être des zones de protection contre la pollution des vallées et des rivières. Il peut également être sur les bords des routes pour éviter les accidents...etc.). Cela nous permet de disposer d'espaces d'installation des projets CSP protégés à 100%. Le tableau suivant indique la distance des zones de protection.

Tableau.4.2: les zones restrictives.

Zone de protection	Distance(m)
Réseaux électriques	1500
Réseaux routière	1500
Les zones occupées	2000
Lacs	200

La figure.4.2 montre les étapes à suivre pour traiter les critères à travers le SIG et enfin de classer les critères selon les quatre catégories mentionnées précédemment.

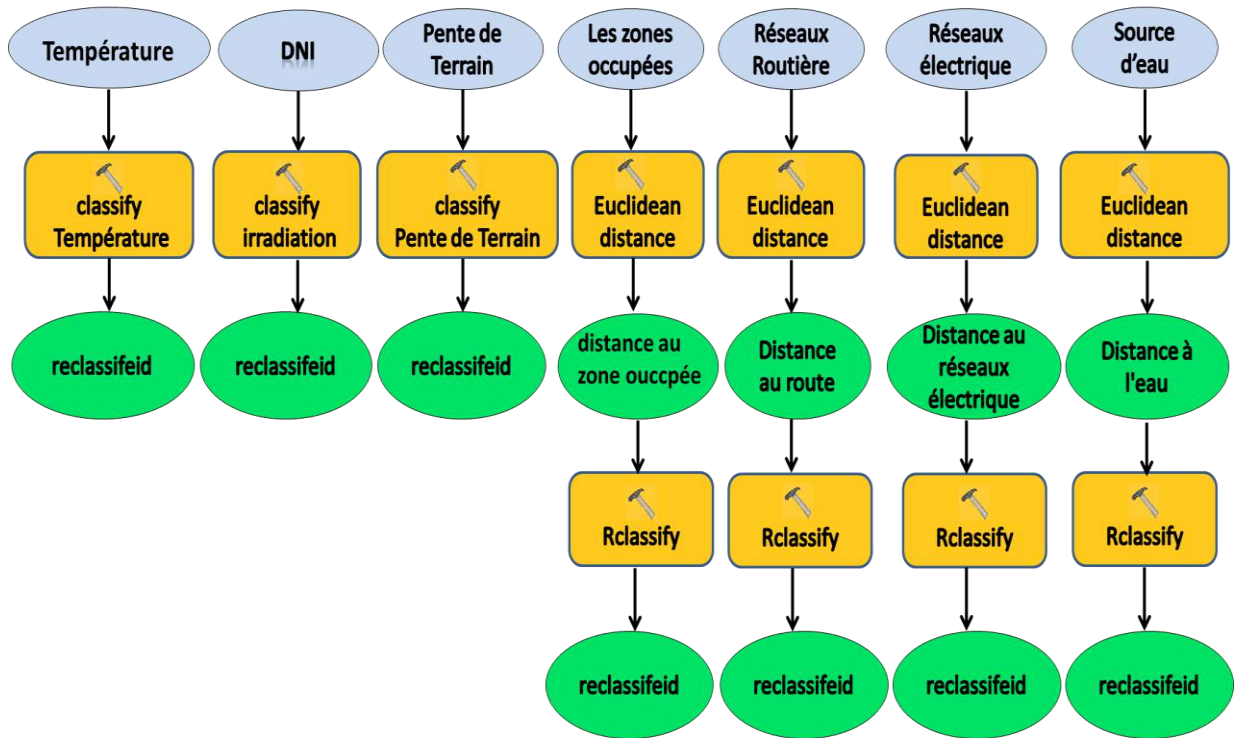


Figure 4.2: Le processus de critères par système SIG.

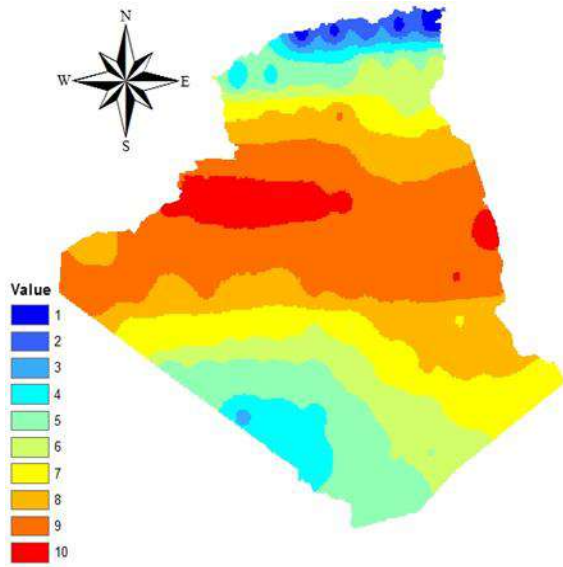
4.Reclassification des cartes:

Les outils de reclassification permettent de reclasser ou de modifier des valeurs de cellules à l'aide de diverses méthodes. Nous pouvons reclasser une valeur à la fois ou des groupes de valeurs un par un à l'aide des champs secondaires, en fonction de critères tels que les intervalles définis (par exemple, regrouper les valeurs en 10 intervalles) ou par superficie (par exemple, regrouper les valeurs en 10 groupes contenant le même nombre de cellules). Pour la carte d'irradiation solaire, la zone favorable (classe 10) correspond à une valeur importante d'irradiation solaire (environ 3045,52 kWh/m²), et la zone avec une irradiation solaire minimale prendre la classe 1, cette classification est adaptée aussi pour la carte de température où les zones à haut température prendre la classe 10 et 1 pour les zones à faible valeur de température. Par contre cette technique est totalement inversée pour la carte de pente de terrain où la classe 10 correspond au plus faible pourcentage de la pente.

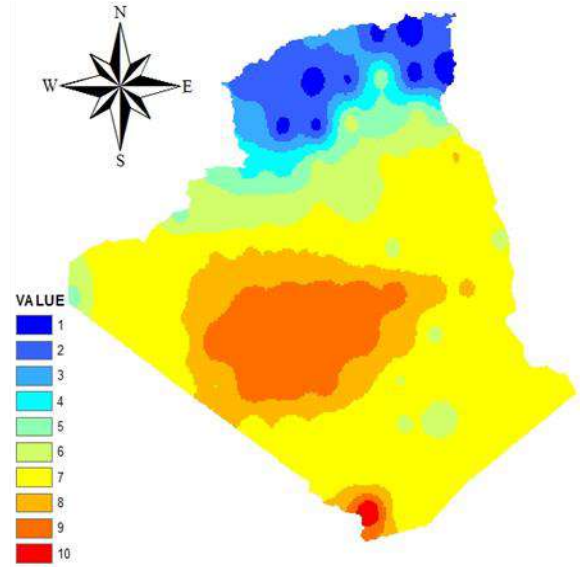
En ce qui concerne la distribution des routes et de l'électricité, on applique le facteur de proximité qui est le plus précieux, où les zones les plus proches correspondent à des classes plus importantes.

Chapitre 4 : Analyse et Discussions

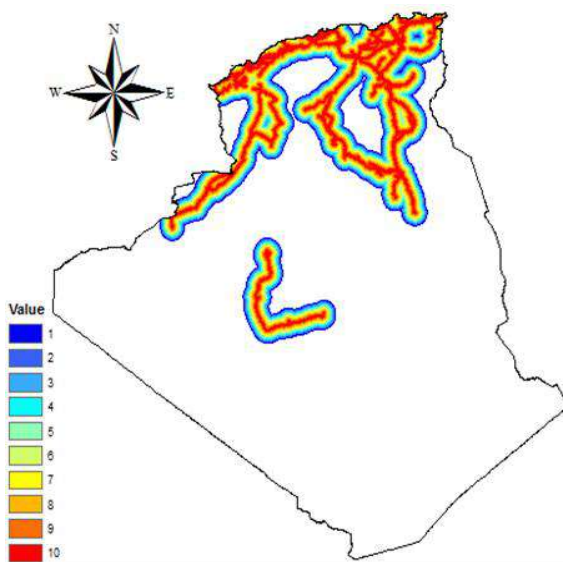
La figure (4.3) Présente les cartes obtenues après l'opération de classification pour les sept critères d'analyses.



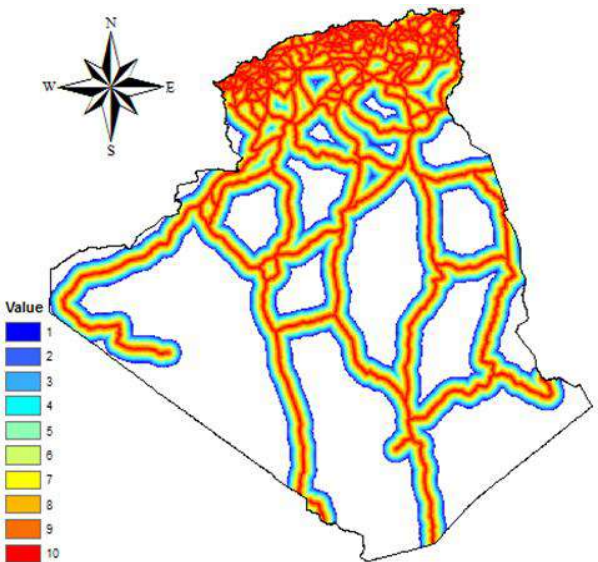
(a)



(b)



(c)



(d)

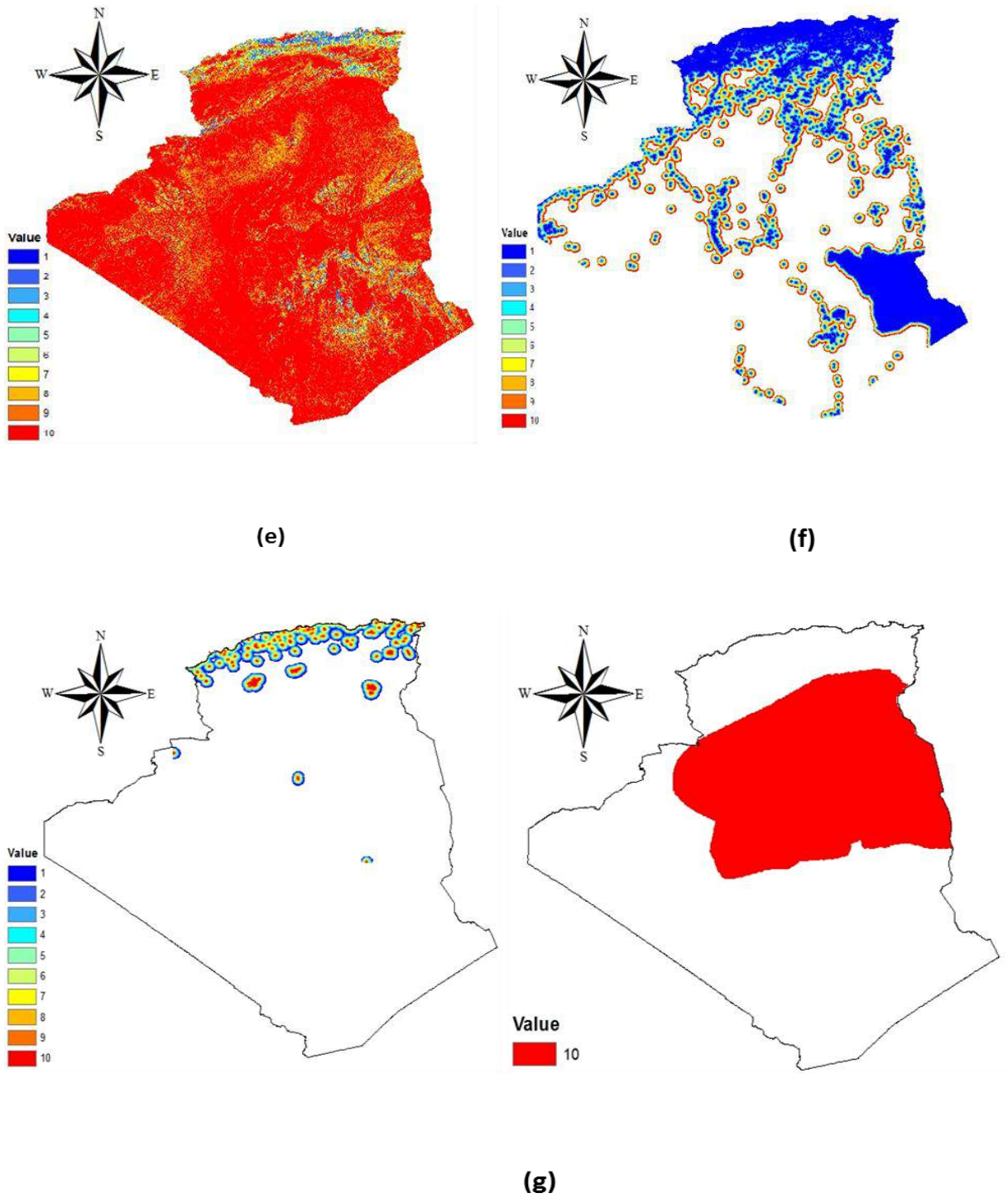


Figure.4.3: Reclassification des cartes: (a) Irradiation solaire, (b) Température, (c) carte réseaux électrique, (d) Réseau Routières, (e) pente de terrain, (f) Zones occupée et (g) Ressources en eau.

4.1. Poids et combinaison des couches d'information

Afin de calculer l'indice d'aptitude, une matrice de comparaison par paires (critère à critère) (voir Tableau Annexe(B)) obtenue à l'aide de la méthode AHP est calculée. Dans cette étape, nous avons rassemblé toutes les couches d'information, puis nous avons donné pour chacune un poids (ou indice d'aptitude) selon son importance dans le projet. Le tableau 4.3 indique les poids obtenus pour chaque critère.

Tableau .4.3: Les poids de chaque critère d'analyse.

Catégories	Critères C_i	Poids W_i (%)
Climat	Irradiation solaire	24
	Moyenne température	7
Economie	Réseaux routier	10
	Réseaux électriques	35
Environnement	Les zones occupées	5
	Resource d'eau	16
	Pentes de terrain	3

Les principaux critères sont divisés en quatre catégories: orographie, climat, économie et environnement. Le critère climatique (irradiation et température) ainsi que le réseau électrique a été identifié pour être les critères le plus important, suivi par la disponibilité des ressources en eau avec une moindre importance que les deux critères précédentes. La proximité au réseau routier prendre la 4^{ème} position avec une indice d'aptitude de 10%, suivi par les zones occupées et en dernier position les pentes de terrain.

La figure suivante est un modèle de construction pour la superposition pondérée:

Chapitre 4 : Analyse et Discussions

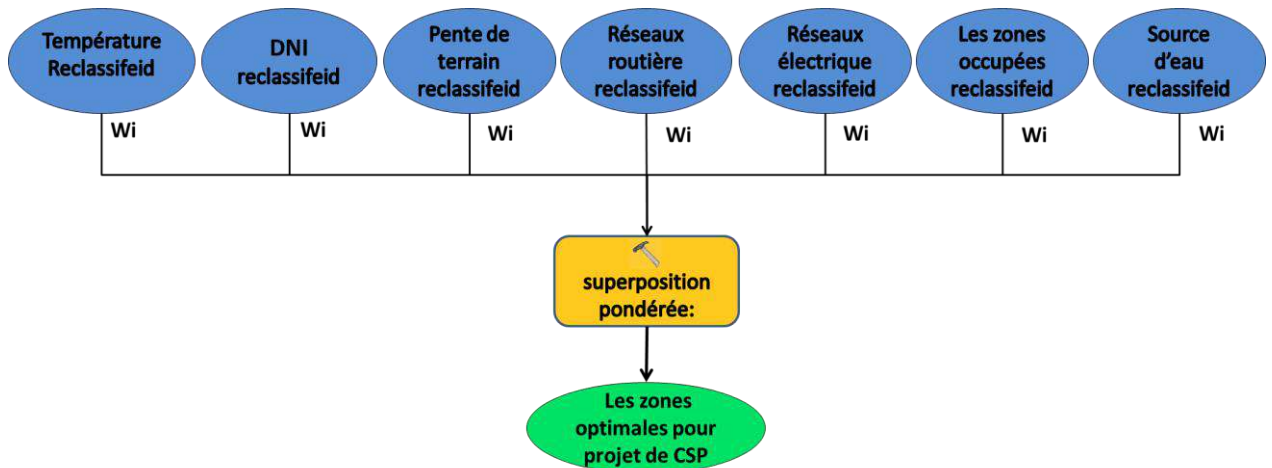


Figure .4.4: modèle de construction pour la superposition pondérée.

4.2. Raster calculatrice:

Par la suite nous avons utilisé l'outil "raster calculatrice" disponible dans "Arctoolbox" et en utilisant la formulation suivante:

$$R = \sum_{i=1}^n c_i * w_i$$

C_i : le critère utilisé dans cette analyse.

W_i : le poids de chaque critère.

N:nombre de critère.

Après avoir traité une combinaison d'outils SIG et AHP et l'application du raster calculatrice. Les résultats de ce processus nous permettent d'identifier des zones favorables pour l'installation des centrales solaires (concentrateur cylindro-parabolique), les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 4.5.

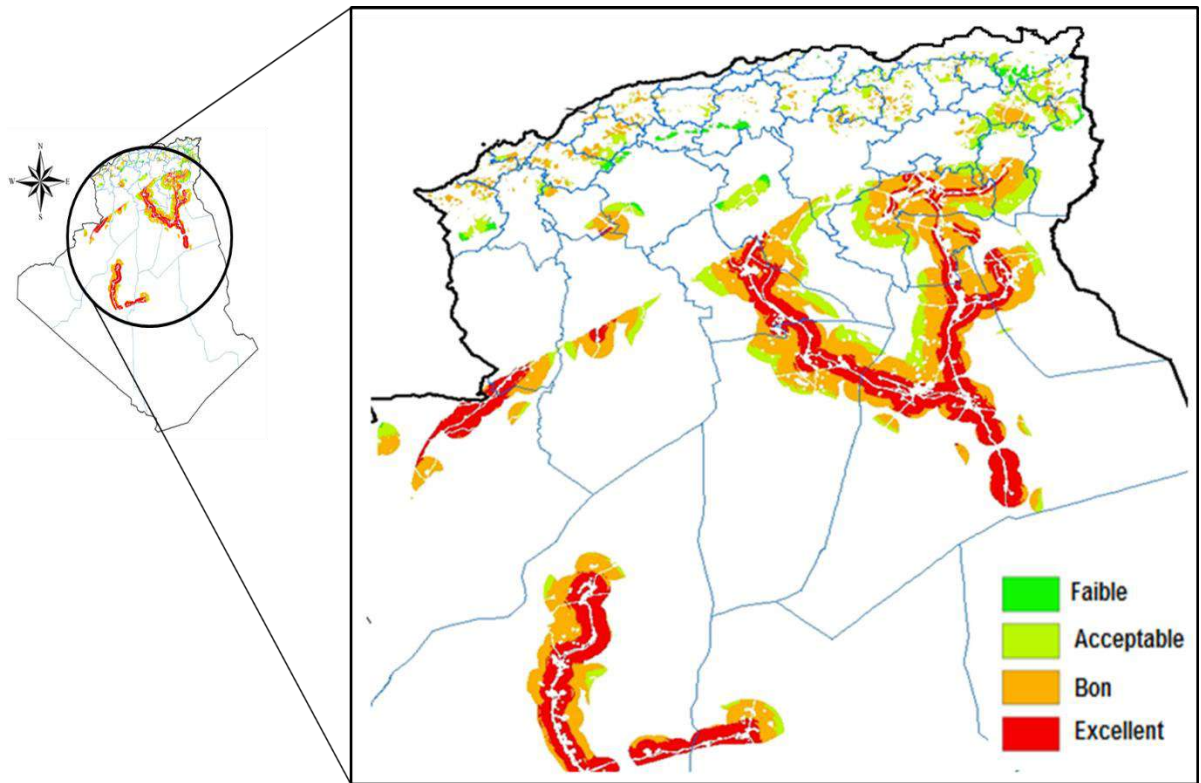


Figure.4.5: Les zones favorables obtenues.

5. Estimation d'énergie électrique

Le potentiel de production d'électricité est calculé en fonction de formule:

$$\text{Potentiel de production d'électricité} = \text{DNI} * \text{Efficacité} * S$$

DNI: est la valeur de l'irradiation solaire directe.

Efficacité: Efficacité du système (15%-20%)[32],[34].

S: Surface

6. L'analyse des résultats

Les zones favorables présentées dans la figure (4.5) sont classifiées en quatre catégories Excellente, Bon, Acceptable, et Faible.

Les zones protégées correspondent aux facteurs restrictifs relatifs aux routes, aux lignes électriques et aux zones occupées (habitats, forêts, ...etc.). Ce genre des zones n'étaient pas pris

Chapitre 4 : Analyse et Discussions

en compte dans les calculs de potentiel. Les zones excellentes pour les centrales à CSP sont apparues dans les régions de haut plateau et de sud de pays avec des superficies très importantes en comparaison avec les autres régions. Cette résultat est dû essentiellement au fait que l'irradiation solaire direct (DNI) prendre des valeurs maximales dans ces régions, comme indique sur (la figure.3.4.) l'irradiation solaire direct dans les hauts plateaux et au sud de pays est au tour de 2445 kWh / m². an - 3045 kWh / m² .an

La superficie totale de l'Algérie est d'environ 2 381 741 km², mais la zone d'étude pour ce projet CSP exclues totalement les zones protégées. Pour cette raison le calcul de la superficie de ces zones protégées est nécessaire. Le tableau suivant montre les superficies des zones protégées ainsi que des zones étudiées en utilisant l'outil "calculate Geometry" disponible sous ArcGis. Le tableau (4.4):

Tableau.4.4: Calcule de la superficie des zones protégées et zones étudiée.

	La superficie de totale l'Algérie	Les zones protégées	la zone étudiée pour ce projet
La superficie km	2381741	814 898,8	1 566 842,3
Pourcentage %	100	34	66

Par conséquent, la superficie étudiée pour ce projet est estimée à 66% de la superficie totale étudiée, mais les zones possible pour l'installation du projet est de 10%. La figure 4.6 montre la répartition détaillée des zones étudiées pour le projet CSP selon le classement adapté précédemment (Excellent, Bon, Acceptable et Faible).

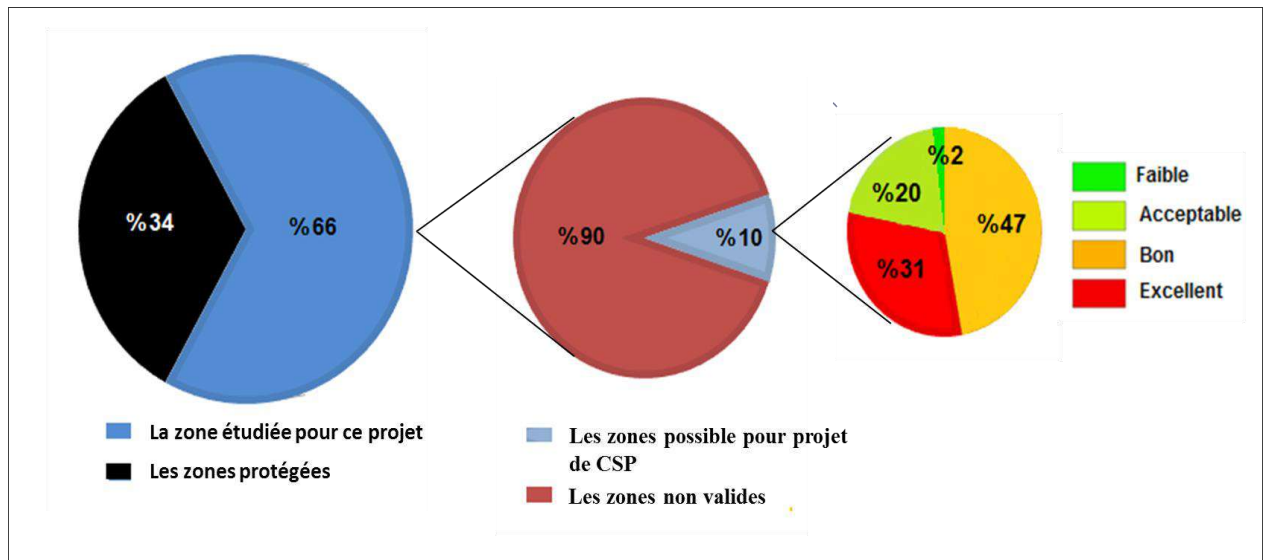


Figure.4.6: la répartition détaillée des zones étudiées pour le projet CSP

Pour bien explorer les résultats obtenus (superficie, Irradiation et le potentiel électrique) En adaptant deux façons de présentation des résultats :

Premièrement par zone : on prendra

La zone 1:est la zone faible ; La zone 2:est la zone acceptable ; la zone 3:est la zone bon

La zone 4:est la zone excellente.

Dans la figure (4.6), on remarque clairement que la zone 3 a la plus grande superficie, 47% de la zone possible. Avec une moyenne de l'irradiation solaire est de 2445,9036 kWh / m². An (figure4.7), suivie par la zone 4 de 31% mais avec une valeur d'irradiation solaire moyenne de 2492,3164 kWh / m². an supérieure à celle de la zone 3.

La zone 2 a une superficie de 20%, avec une irradiation solaire moyenne estimée à 2361,5331 kWh / m². an. En revanche, la zone 1 a une superficie minimale de 2% avec une irradiation solaire de 2384,3449 kWh / m². an.

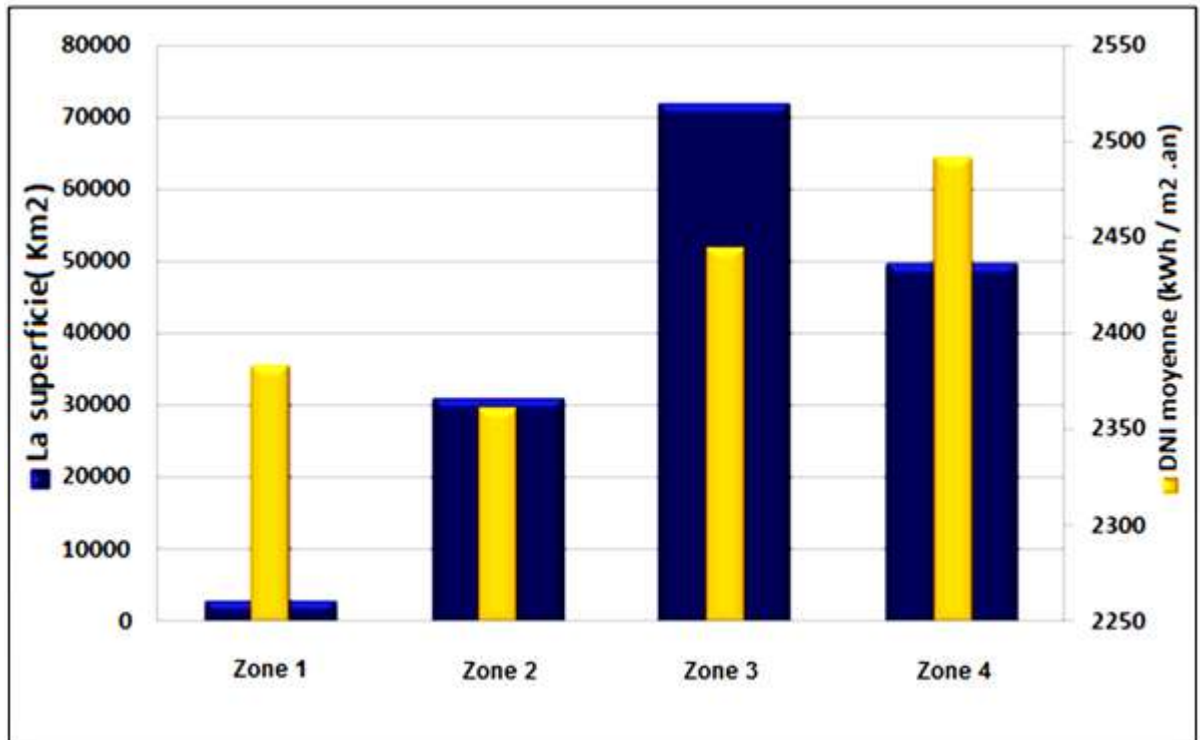


Figure.4.7: Évaluation de la superficie et de l'irradiation par zone.

D'après les résultats présents précédemment, on remarque que la zone 1 est la plus faible superficie que les autres zones, due au faible accessibilité ou critère de décision comme les réseaux électriques et l'irradiation solaire en 1^{er} lieu.

La figure (4.8) montre que la quantité d'énergie électrique estimée dans chaque zone, On note que la zone 4 représente la plus grande puissance électrique représentant 59% de la production électrique totale, avec une valeur de $247,962 \cdot 10^5$ GWh, suivie de la zone 3 avec pourcentage 20% à une valeur $830,845 \cdot 10^3$ GWh.

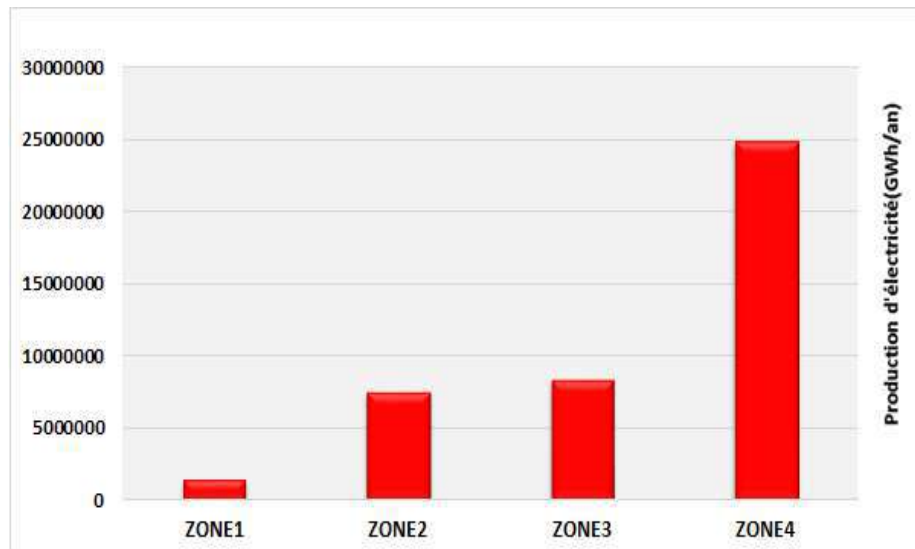


Figure.4.8:La production d'électricité (GWh/an) pour chaque zone.

Deuxièmement par wilaya:

Après avoir discuté des résultats par région, nous discutons maintenant des résultats par wilaya. La figure suivante montre les wilayas où se trouve la zone 4.

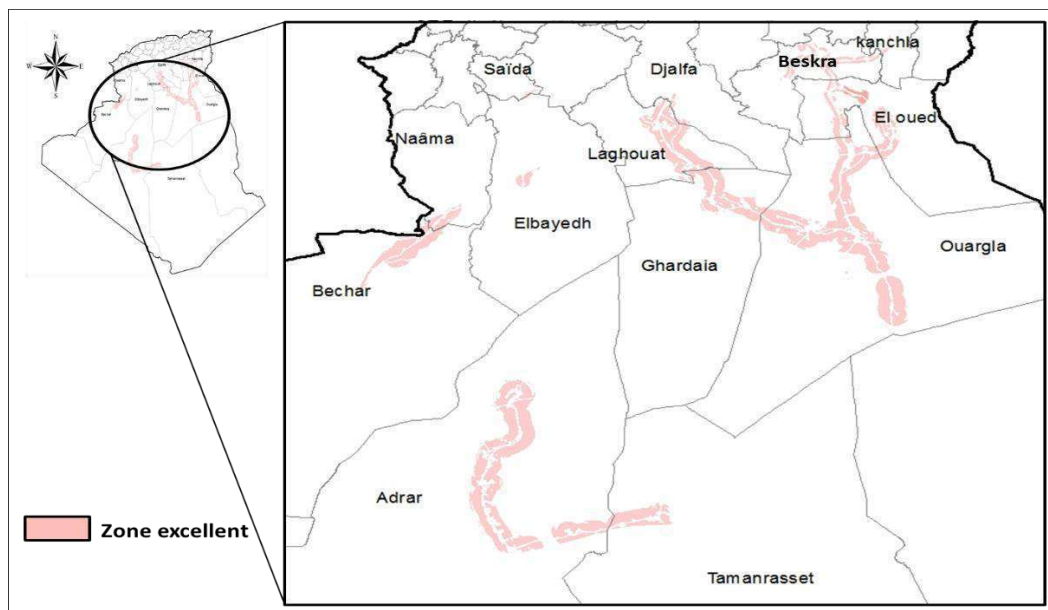


Figure.4.9: les wilayas où se trouve la zone 4.

Chapitre 4 : Analyse et Discussions

La figure (4.10) montre les résultats pour les provinces algériennes en fonction du pourcentage de zones liées à chaque classe définie. Les provinces du Ouargla, Tamanrasset, Khenchela, El oued , Laghouat, Bechar ,Adrar ,Saïda, Ghardaia, Beskra, ElNaâma et Elbayedh se classent dans la catégorie des zones excellentes en raison des grandes zones de radiations situées au centre de l'Algérie.

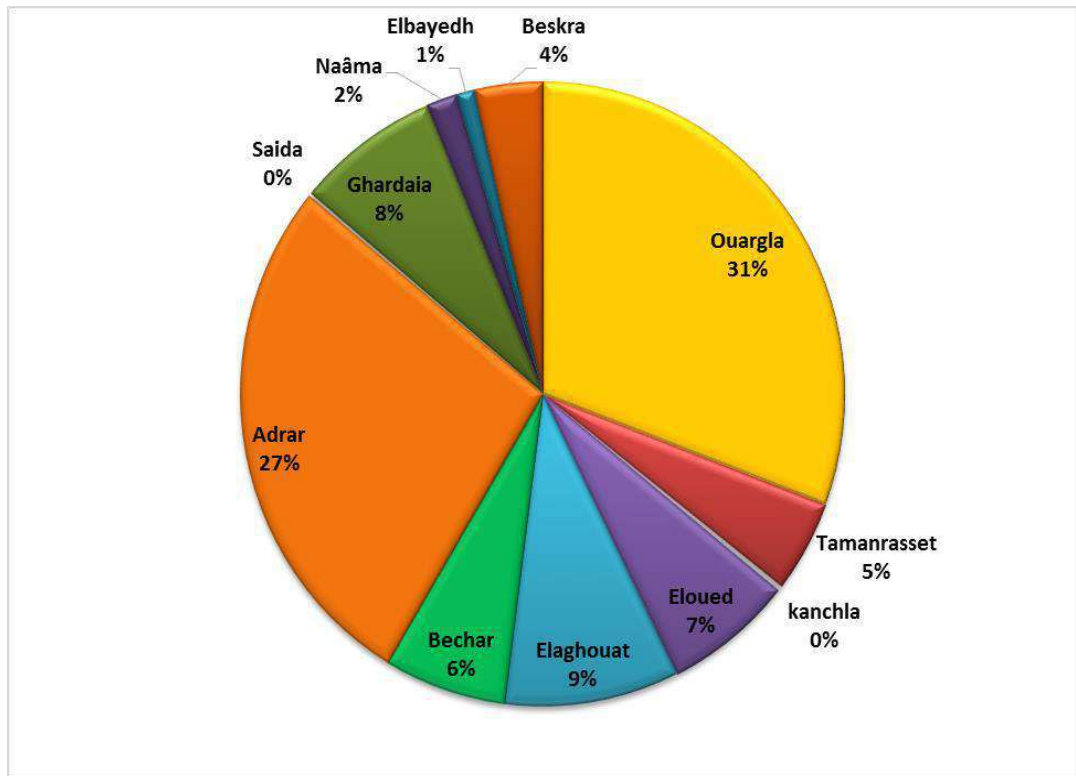


Figure.4.10: Pourcentage des wilayas liées à zone excellente.

La figure (4.11): montre la production d'électricité par kilomètre carré des wilaya bénéficiant d'un excellent emplacement, où l'on observe que Tamanrasset et Bechar, Elbayadh, Ghardaïa, Ouargla , El Naâma et Khenchela ont la plus grande production d'électricité entre 500 et 580 GWh / km², ce qui montre l'importance de la localisation géographique dans L'Algérie. Et le grand champ solaire dont jouit l'Algérie. En revanche, nous remarquons que la plus basse puissance électrique indiquée dans l'Adrar et le Laghouat, qu'est comprise entre 84 et 58 GWh / km².

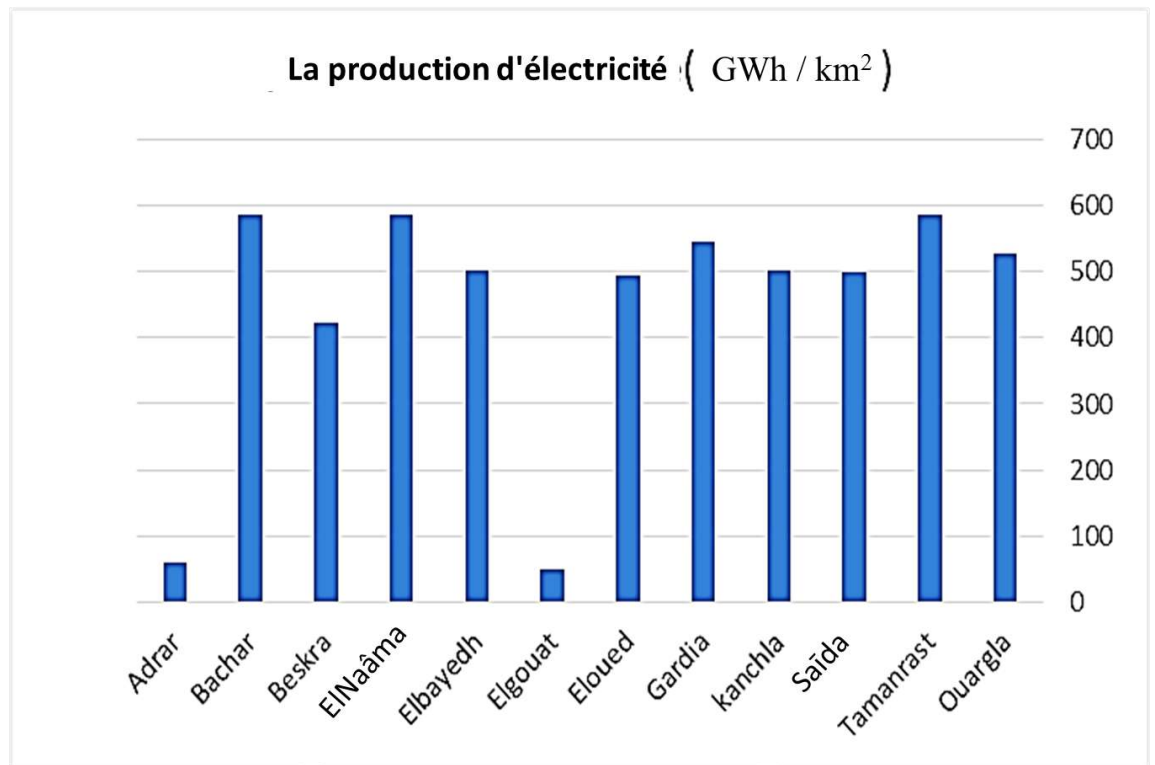


Figure.4.11: La production d'électricité par kilomètre carré des wilayas.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté totalement les résultats des zones favorables pour l'installation des centrales solaires (concentrateur cylindro-parabolique) ,Où les zones favorables ont été classifiées en quatre catégories Excellente, Bon, Acceptable, et Faible. La superficie des zones possible pour l'installation du projet est de 10%.

Nous avons discuté des résultats par deux parties :

Premièrement par les zones: où nous avons constaté que la production d'électricité dans la zone 4 est estimée à une capacité de 558 554 GWh.

Deuxièmement par wilaya : où l'on observe que Tamanrasset et Bechar, El-Bayad, Ghardaïa, Ouargla, ElNaâma et Khenchela ont la plus grande production d'électricité entre 500 et 580 GWh / km².

Conclusion Générale

Pour des pays ont un fort rayonnement solaire comme l'Algérie, l'application des systèmes d'énergies renouvelables solaires et particulièrement les systèmes à concentration solaire, peut faire la différence et contribue d'une manière significative à résoudre des nombreux problèmes énergétique. Car ces systèmes peuvent également remplacer complètement les énergies fossiles pour la production de l'électricité avec des faibles coûts et défis environnementales.

L'objectif de ce travail était d'étudier des évaluations techniques et théoriques pour spécifier la quantité d'énergie solaire pouvant être exploitée en Algérie. L'étude focalise essentiellement sur des critères d'exclusion et d'analyse pour l'aide à la décision aux sélections des sites convenables et de comparer par la suite l'apport énergétique issue de l'irradiation solaire (DNI) pour différentes régions du territoire. Toutes les étapes du travail ont été effectuées par la combinaison des modèles techniques avec des données spatiales dans un Système d'Information Géographique (SIG). Cette étude a également présente l'importance de l'utilisation de l'approche multicritères et de la méthode AHP pour évaluer et déterminer le poids des critères.

La combinaison entre Le SIG et l'analyse multicritères qui se base sur sept critères techniques et économiques, nous permettons de développer un modèle de pertinence des zones de potentiel optimales de production d'énergie électrique sur le territoire algérien.

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit:

Nous avons discuté des résultats par deux parties :

Premièrement par les zones: où nous avons constaté que la production d'électricité dans la zone 4 est le plus optimal, qui estimée à une capacité de 558 554 GWh/an.

Deuxièmement par wilaya : où l'on observe que Tamanrasset et Bechar, El-Bayad, Ghardaïa, Ouargla, El Naâma et Khenchela ont la plus grande production d'électricité entre 500 et 580 GWh / km².

Conclusion générale

Enfin, on peut dire que l'Algérie jouit d'une excellente situation géographique. Et le grand champ solaire dont jouit l'Algérie contribue à la prospérité de son énergie et de son statut économique.

Bibliographie

1. <Programme National Energies Nouvelles Renouvelables.>[En ligne]. Disponible sur <http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Programme-National/Programme-National-Energies-Nouvelles-Renouvelables.pdf>.
2. Zarza, M.R.-A.a.E., *Concentrating Solar Thermal Power*. 2007,Plataforma Solar de Almeria-CIEMAT.
3. *Jesús Mora Contreras.Contrats d'exploration et de production de pétrole: Les contrats d'amodiation de pétrole et de gaz aux États-Unis (Oil Exploration and Production Contracts: Oil and Gas Leases in the United States)*.Universidad de los Andes, Venezuela. May 1, 2016.
4. Dalemont, E. and J. Carrié, *Histoire du pétrole*. Vol. 2795. 1993: Presses universitaires de France.
5. *ABDENNOUCHE Djida<Etude préventive de la formation des hydrates lors de la déshydratation du gaz naturel de Hassi R-mel optimisation de la consommation du glycol du module processing plant 4 MPP4.pdf>Mémoire de fin d'étude université de Abderrahmane MIRA-Béjaia,2013.*
6. <http://cnpa-dz.org/actualite-algerienne-aujourd-hui/>
7. GOUAREH, A., *Maîtrise et optimisation de la gestion énergétique en Algérie*, 2017.
8. *Ministry of Energy. 2017.Bilan énergétique . Disponible sur: http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/MAJ_2018/Stat/Bilan_Energ%C3%A9tique_National_2017_edition_2018.pdf.*
9. *présentation de groupe. SONELGAZ. [En ligne].2018. Disponible sur <http://www.sonelgaz.dz/?page=article&id=4>.*
10. *BP-Statistical-Review of world Energy-june 2018.*
11. *Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency "Etude documentaire-Algérie (projet)*. Avril 2010.
12. *la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA-AN) : Le secteur des énergies renouvelables en Afrique du Nord, Situation actuelle et perspectives, Maroc Septembre 2012,.*
13. *DLR - Institut für Technische Thermodynamik - Global Concentrating Solar Power Potentials.Disponible sur: https://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422_read-16596/.*

Annexe

14. Massimo Falchetta , Carmine Manfredi , "Perspectives for Concentrating Solar Power in coastal areas of Mediterranean sea",2006.
15. José A. Nebrera; Christoph Richter;Sven Teske;"Concentrating Solar Power Global Outlook ";ESTELA,2009.
16. L'électricité solaire thermodynamique valoriser le potentiel mediterraneen , Association Européenne de l'Electricité Solaire Thermodynamique à Concentration, www.estelasolar.EU.
17. Nobuo Tanaka; Technology Roadmap Concentrating Solar Power;© OECD/IEA, International Energy Agency , France 2010.
18. une technologie dévoilée;EDF R&D JUIN 2012; disponible sur: <https://www.edf.fr/sites/default/files/Lot203/CHERCHEURS/Publications/technologie devoilee01internet.pdf>.
19. Quoilin Sylvain,"Les Centrales Solaires à Concentration",Université de Liège ;Faculté des sciences appliquées,2007.
20. Axel Augéard ,Côme Cabriel;Clément Le Berre,"Concentrateurs solaires et production électrique"Projet de Physique P6 STPI/P6/2014-041.
21. Pierre GARCIA,Thème:Outils d'évaluation technico-économique et d'aide à la conception des centrales solaires thermodynamiques du futur;THESE présentée à l'Université de Perpignan ;2007
22. PRISME : L'énergie solaire thermique à concentration, Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie, Numéro 4 de Fiche technique, 2008, 8 pages.
23. TAPACHÈS, E., UNIVERSITE DE LA REUNION,Estimation du Potentiel de la Technologie Solaire Thermodynamique à Concentration en Climat Non Désertique - Application à La Réunion. 2015.
24. Syndicat des énergies renouvelables; révision du document : juin 2012; www.enr.fr.
25. BOUGARA-BOUMERDES, B.S.-D.U.M.H., Les opportunités de la technologie CSP « concentrating solar power » dans la génération d'électricité renouvelable en Algérie. 2013.
26. Dunkerque, I.U.T.d.S.-O. and D.e.G.e.T.e. 'énergie, COURS DE THERMODYNAMIQUE. Olivier PERROT 2010-2011.
27. PONCELET, I.C., D.I.V. HANUS, and P. Virton, Étude d'un modèle générique pour un cycle de Rankine à fluide organique Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°31, 2017.
28. Augéard, A., C. Cabriel, and C.L. Berre, Concentrateurs solaires et production électrique,Projet de Physique P6 STPI/P6/-041,2014.

Annexe

29. Tahri, M., M. Hakdaoui, and M. Maanan, *The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015. **51**: p. 1354-1362.
30. Alami Merrouni, A., et al., *A GIS-AHP combination for the sites assessment of large-scale CSP plants with dry and wet cooling systems. Case study: Eastern Morocco*. *Solar energy*, 2018. **166**: p. 2-12.
31. Anwarzai, M.A. and K. Nagasaka, *Utility-scale implementable potential of wind and solar energies for Afghanistan using GIS multi-criteria decision analysis*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. **71**: p. 150-160.
32. Ghasemi, G., et al., *Theoretical and technical potential evaluation of solar power generation in Iran*. *Renewable Energy*, 2019. **138**: p. 1250-1261.
33. Cevallos-Sierra, J. and J. Ramos-Martin, *Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. **81**: p. 1154-1165.
34. Yushchenko, A., et al., *GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. **81**: p. 2088-2103.
35. Dawson, L. and P. Schlyter, *Less is more: Strategic scale site suitability for concentrated solar thermal power in Western Australia*. *Energy Policy*, 2012. **47**: p. 91-101.
36. Arán Carrión, J., et al., *Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008. **12**(9): p. 2358-2380.
37. cite officiel de google Earth. Disponible sur (<https://earth.google.com/web>).
38. Domínguez Bravo, J., X. García Casals, and I. Pinedo Pascua, *GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies*. *Energy Policy*, 2007. **35**(10): p. 4879-4892.
39. *The CGIAR Consortium for Spatial Information(CGIAR-CSI)*. Disponible sur (<http://srtm.csi.cgiar.org>).
40. Noorollahi, E., et al., *Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran*. *Energies*, 2016. **9**(8): p. 643.
41. cite officiel de 'Open Street Map'. Disponible sur(<https://www.openstreetmap.org/#map=8/29.361/4.675>). visité:27/04/2019.
42. Potić, I., R. Golić, and T. Joksimović, *Analysis of insolation potential of Knjaževac Municipality (Serbia) using multi-criteria approach*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. **56**: p. 235-245.
43. Labib, A., *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. 2014: p. 33-44.

Annexe

44. Xue Tan, X.Y., Jun Liu, Peng Wang, Lei Shi, Energy Procedia, *Power Grid Morphological Positioning and Assessment Method in the Energy Revolution*. October 2018. **152**: p. 1176-1181.
45. Dierauf, T., Growitz, A., Kurtz, S., Cruz, J.L.B., Riley, E., Hansen, C., 2013. *Weather Corrected Performance Ratio*. Tech. Rep. NREL/TP-5200-57991. National Renewable Energy Laboratory, Golden CO.
46. Breter, C., Knies, G., 2009. *Global energy supply potential of concentrating solar power*. In: *Proc. SolarPACES Conf., Berlin, Germany..*
47. SolarPACES/IEA, 2009. *Solar Parabolic Troughs*. [online] Available from: [/http://www.solarpaces.org](http://www.solarpaces.org) (accessed Mai 2019).
48. Moser, M., F. Trieb, and T. Fichter, *Potential of Concentrating Solar Power Plants for the Combined Production of Water and Electricity in MENA Countries*. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 2013. **1**(2): p. 122-140.
49. M. Vendé-Leclerc. *Les systèmes d'information géographique : SIG*. Université de Nouvelle Calédonie. 2014.

Annexe(A):

Définition d'un système d'information géographique:

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace.

Alors un projet SIG est considéré comme un ensemble d'activités déclenché pour prendre une décision liée à une problématique. Cet ensemble d'activités se déroule en différentes phases [7]:

- Identification des objectifs par rapport à une problématique
- Evaluation des besoins en couches thématiques, conception de la base de données ;
- Collecte et acquisition des données ;
- Intégration et structuration des données dans la base ;
- Traitement des données (gestion, tableaux attributaires ou spatiales) ;
- Restitution des résultats (cartes, tableaux, diagrammes) ;
- Interprétation et décision.

Différents domaines d'applications du SIG:

Les usages et les potentialités d'application des SIG sont diverses et variés nous citons :

Transport:

Planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires. L'utilisation de l'information géographique par un transporteur va permettre à ce dernier de gérer sa flotte de véhicules en fonction de zones de désert, du trafic ou des perturbations de l'infrastructure (bouchons etc.). Le SIG va par ailleurs permettre une optimisation des tournées (calcul du plus

court chemin, prise en compte des gabarits du matériel roulant en fonction des caractéristiques techniques de la voie...). Un SIG va donc permettre de gérer, d'analyser et de planifier l'utilisation d'un réseau [7].

Gaz, Electricité et Mines:

Le SIG est utilisé dans le cadre de la gestion de réseaux de gaz et d'électricité et permet, par exemple, de connaître à tout moment les caractéristiques de chaque tronçon d'un réseau de distribution ou du réseau entier d'acheminement (permettant ainsi une intervention rapide et efficace sur le réseau). Le SIG permet ainsi de cataloguer et de géo-localiser toute conduite de gaz et/ou d'électricité dans un tissu urbain. Dans le cadre de l'exploration minière, le SIG peut permettre une connaissance précise de la structure géologique des sols, la prospection minière, la contrainte des terrains, les caractéristiques des tracés d'acheminement de la ressource (localisation des pipelines), l'implantation et les caractéristiques des concessions exploitées (onshore/offshore) [7].

Planification énergétique

Le SIG est très utile dans le domaine de planification et de gestion des ressources énergétiques dans un cadre de préservation des ressources et de renforcement des capacités de production. La planification énergétique territoriale est un élément de réponse permettant de participer à l'atteinte des objectifs que se sont fixés tous les acteurs impliqués dans la gestion et l'aménagement énergétique du territoire. Le SIG est désormais possible d'appréhender de manière systémique l'approvisionnement et la consommation d'énergies d'un territoire, grâce à une structuration spatiale des données et une mise en forme des résultats sur un outil cartographique. Il est notamment utilisé pour l'aménagement des ressources énergétiques afin de localiser, évaluer et identifier les zones à fortes potentialités. Il est ainsi conçu comme un système d'aide à la décision pour le choix des sites favorables d'implantations des nouveaux projets énergétiques, en association avec un système d'aide à la décision sur le long terme [7].

Mode de présentation des données dans un SIG

Les informations dans un SIG sont généralement liées à des coordonnées spatiales longitude et latitude (x,y), et parfois l'altitude (z) qui vont indiquer l'emplacement de ces données dans l'espace. Les objets géographique (données géo-localisées) sont organisés sous

formes des couches (figure 1) contenant un ensemble homogène des données et référencé à un thème tels que : de sites de productions, de réseau routier, des stations météorologiques etc [7].

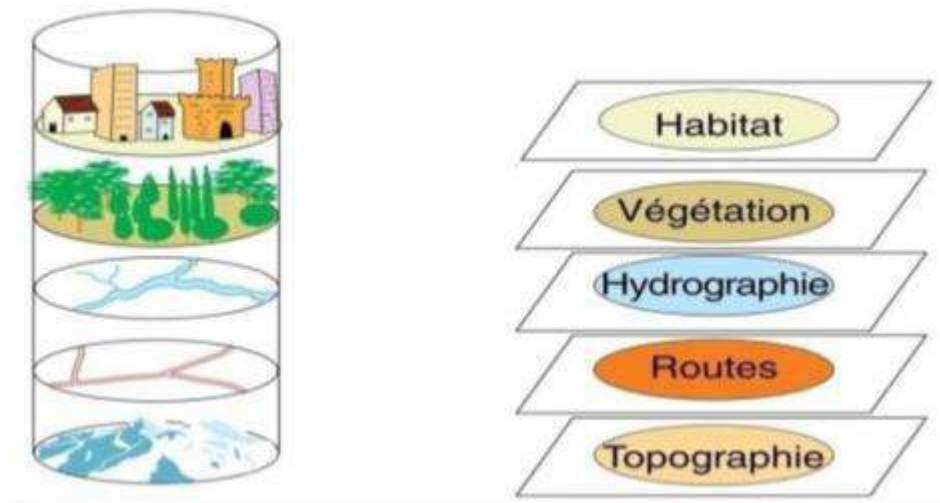


Figure1 : Schéma général d'un SIG [7].

Alors Il y a trois types de données qui peuvent être distingué dans un SIG :

Données vectorielles:

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire [49].

Les points:

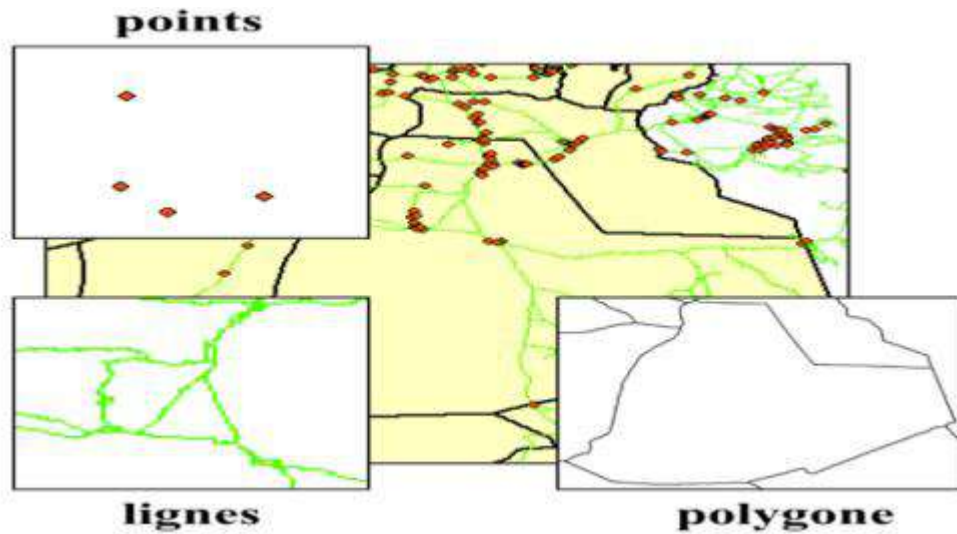
Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle [49].

Les lignes:

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (par exemple : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau [49].

Les polygones

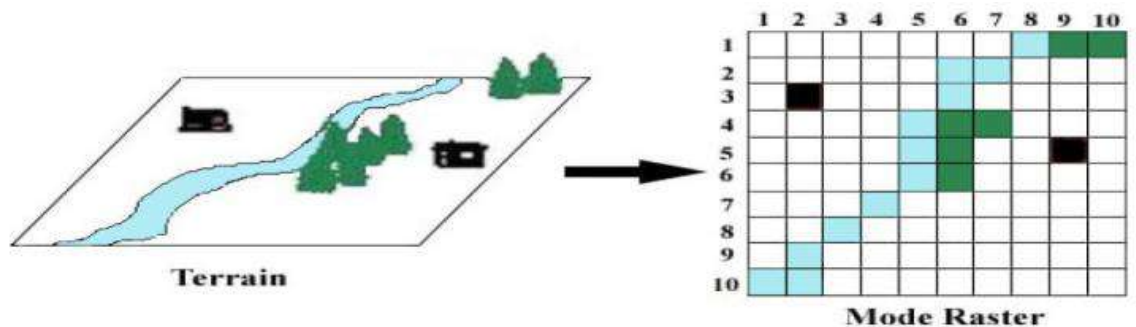
Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols [49].



Figure(2): Représentation de l'information en mode vectoriel [7].

Le mode raster

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille (= pixel) de cette grille ayant une intensité/valeur de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera représentée par un ensemble des points d'intensité identique [49].



Figure(3): Représentation des données en mode raster.

Données alphanumériques:

Les données alphanumériques sont l'ensemble des données qualitatives et quantitatives associées à chaque entité du fichier de formes. Ils sont présentés sous forme des tableaux attributaires contenant des données alphanumériques avec des liens directs à des objets géométriques[7] [49].

Importation des données dans un SIG:

Les données dans un SIG sont le moteur sans lequel en peut pas fonctionnée et aucun projet peut être construire, Ces données peuvent être de type cartographique tel que des images satellitaires ou des cartographies, ou de type numérique tel que des tableaux Excel.

Support cartographique:

L'introduction d'une donnée cartographique dans un SIG nécessite une étape essentielle de numérisation et de géo-référencement appelée dans la langue SIG, le calage de la carte. C'est en effet, le premier travail entrepris dans le processus de mise en place du SIG. C'est une opération qui consiste à enregistrer les cartes des différents niveaux de découpage sous forme de fichiers cartographiques numériques comportant les coordonnées géographiques réels (x,y) et ce en les géo-référencant après les avoir scanner. Les données géo-référencées sont utilisées pour extraire des données ponctuelles ou spatiales. Ce type des données est de plus en plus utilisé comme support à la prise de décision dans un nombre croissant de domaines d'application et à différents niveaux organisationnels.

Les autres données géographiques proviennent essentiellement de la vectorisation d'image existante : carte, photos ou images satellites. Après avoir géo-numériser les objets, des tableaux attributaires vont être rempli contenant des données alphanumériques selon le besoin de l'opérateur (exemple : la numérisation et la vectorisation d'une carte de réseau routier nécessite un tableau attributaire qui contient des données tels que le type de la route (principale ou secondaire) ainsi que leur numéro et leur longueur.

Support numérique

L'importation des données numériques peut se faire à partir d'une base de données structurée dans un format interne au SIG (Système Géo-Data-Base SGDB), ou à travers des fichiers exportés d'autres outils tels qu'Auto-CAD, Google Earth ou des tableaux Excel contenant toutes les informations structurées d'une façon simple. Néanmoins, un important

travail de structuration des données est nécessaire pour le faire coïncider avec la structure interne du SIG.

Logiciels utilisés

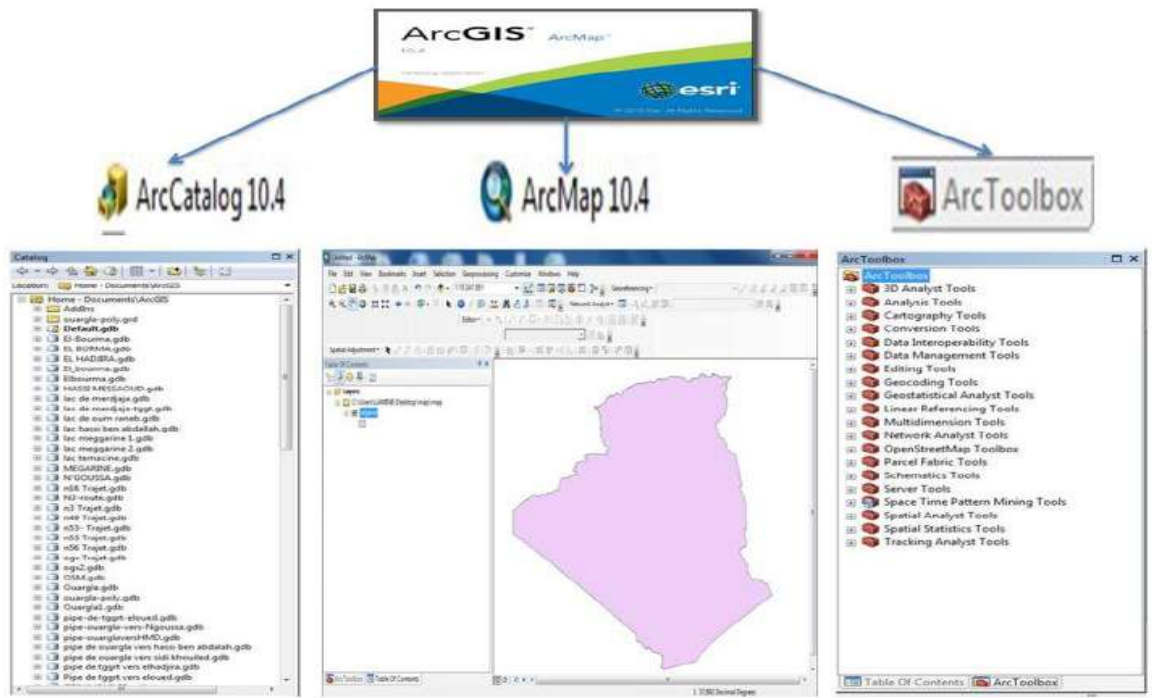
ArcGIS:

L’ArcGIS englobe la gamme complète des tâches SIG de conception, gestion et édition de données, à la production et visualisation des cartographies et l’analyse spatiales des données géographiques. L’ArcGIS est constitué de trois applications qui sont :

- **ArcMap** : ArcMap est l'application principale dans l’ArcGIS et utilisé pour faire des cartes, éditer des données, et permet la visualisation des résultats de l’analyse, tel que des cartographies numérisées.

- **ArcCatalog** : est employé pour établir des bases de données de GIS et les organiser selon le type vecteur (points, lignes, polygones) ou raster. Il est également employé pour rechercher, et contrôler les données géographiques.

- **ArcToolbox** : est la troisième application de l’ArcGIS. Bien que ce ne soit pas accessible dans le menu principal, il est facilement accédé et employé dans ArcMap et ArcCatalog. Les outils dans ArcToolbox sont utilisés pour le traitement, l'analyse, conversion des données géographiques pour développer des nouvelles bases de données. La figure ci-dessous représente les interfaces pour les trois applications de l’ArcGIS.



Figure(4): les interfaces pour les trois applications de l’ArcGIS.

Annexe (B):

	Solar	temperature	Pente de terrain	réseau routier	Réseau électrique	Zones occupée	sources water	N
Solar	1	4	7	3	0,5	5	2	24%
temperature	0,25	1	3	0,5	0,2	2	0,333333333	7%
Pente de terrain	0,142857143	0,333333333	1	0,25	0,125	0,5	0,2	3%
réseau routier	0,333333333	2	4	1	0,25	3	0,5	10%
Réseau électrique	2	5	8	4	1	6	3	35%
Zones occupée	0,2	0,5	2	0,333333333	0,166666667	1	0,25	5%
sources water	0,5	3	5	2	0,333333333	4	1	16%
SUM	4,426190476	15,833333333	30	11,083333333	2,575	21,5	7,283333333	85,41785714

Résume :

La situation énergétique actuelle est caractérisée par une forte croissance de la demande en énergie alliée au fort progrès économique et social et un recours croissant aux énergies fossiles (pétrole, gaz naturel). L'utilisation des énergies renouvelables pour la production de l'énergie électrique constitue une voie clé pour réduire la pollution et éviter les pires conséquences du changement climatique. Selon le programme PENR, la technologie solaire thermique (CSP) occupe la 3^{ème} classe après le PV et l'éolien avec une capacité visé de 2000MW en fin 2030.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est d'estimer le potentiel national en énergie électrique basé sur la technologie des concentrateurs cylindro-paraboliques pour des sites convenables à cette technologie. Un système d'information géographique a été utilisé en combinaison avec la méthode d'aide à la décision multicritères pour répondre à la question d'identification des sites. Cette opération se concentre principalement sur l'intégration des critères d'exclusion ainsi que des données et des modèles d'analyse spatiales. Les résultats obtenus montrent que l'Algérie dispose d'une superficie de 237400,34 km² pour les sites appropriés. Cette dernière représente 10% de la superficie étudiée et se caractérise par une capacité de production d'énergie électrique d'environ 41.876*10⁶ GWh/an, où 0.18% de cette capacité peut répondre au besoin national actuel en énergie électrique qui est d'environ 75.2GWh. Les zones les plus favorables sont localisées dans les régions de hauts plateaux et de sud du pays avec douze wilayas présentées comme suit (Ouargla, Ghardaïa, Adrar, Tamanrasset, Bashar, Laghouat, Naâma, Biskra, Khanshla, Oued, Elbayhd, Saïda).

Les mots clés: Technologie de CSP, Analyse spatiale, PNER, SIG, Potentiel électrique, MCDM.

الملخص :

يتميز وضع الطاقة الحالي بنمو قوي في الطلب على الطاقة إلى جانب تقدم اقتصادي واجتماعي قوي وتزايد استخدام الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي) ، و يعد استخدام الطاقات المتجددة لإنتاج الطاقة الكهربائية وسيلة رئيسية للحد من التلوث وتجنب أسوأ عواقب تغير المناخ. و وفقاً لبرنامج الطاقات المتجددة ، تحتل التكنولوجيا الحرارية الشمسية المرتبة الثالثة بعد الكهروضوئية والرياح مع قدرة مستهدفة 2000 ميغا واط بحلول نهاية عام 2030.

في هذا السياق ، تهدف هذه الدراسة إلى تقدير إمكانات الطاقة الكهربائية الوطنية بناءً على تقنية المركز الشمسي ذوقطع مكافئ أسطواني ، إلى تحديد المواقع المناسبة لهذه التكنولوجيا. تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية بالاقتران مع طريقة دعم اتخاذ القرار متعدد المعالجات لمعالجة مسألة تحديد المواقع. تركز هذه العملية بشكل أساسي على تكامل معايير الاستبعاد

Résumé

وكذلك بيانات التحليل المكاني ونماذجه. تبين النتائج التي تم الحصول عليها أن الجزائر تملك مساحة 237400,34 كيلو متر مربع من المواقع المناسبة لمشروع الطاقة الشمسية. وتمثل هذه الأخيرة 10٪ من المساحة التي تمت دراستها وتتميز بطاقة إنتاج كهربائية بحوالي 41.876×10^6 جيغا واط في السنة؛ حيث أن 0.18٪ من هذه السعة توافق متطلبات الكهرباء الوطنية الحالية البالغة حوالي 75.2 جيغا واط في الساعة. تقع أكثر المناطق المفضلة لمشروع الطاقة الشمسية في المرتفعات والمناطق الجنوبية من البلاد مع اثني عشر ولاية مقدمة على النحو التالي (ورقلة ، غرداية ، أدرار ، تمنراست ، بشار ، الأغواط ، النعامة ، بسكرة ، خنشلة ، الوادي ، سعيدة).

الكلمات المفتاحية:تكنولوجيا الطاقة الشمسية ,التحليل المكاني , البرنامج الوطني للطاقات المتجددة , برنامج نظم المعلومات الجغرافية, الإمكانيات الكهربائية, طرق دعم القرار متعدد المعايير.R