



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université KASDI Merbah d'Ouargla

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière

Département de Physique

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de : **Master académique**

Spécialité : **physique**

Option : **Physique et Météorologie de l'Environnement Aride**

Présenté par : **Yacine HADJ SMAIL**

Thème

**Étude comparative des données climatiques mesurées
par "Meteonorm "et simulées par "RETScreen "et "PVsyst"**

Soutenu publiquement le : 24-09-2020

Devant le jury composé de :

Encadreur :	Dr. KADDOUR Abdelmadjid	MRA	URAER Ghardaïa
Co-encadreur :	Dr. BENMEBROUK Lazhar	MCA	Université d'Ouargla
Examineur :	Dr. MAARIF Yacine	MCA	Université d'Ouargla
Président :	Dr. FEKIH Abdellali	MCB	Université d'Ouargla

Année universitaire 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A ceux qui représentent le symbole du courage et des sacrifices, ceux qui m'ont illuminé le chemin du savoir, mon père et ma mère que Dieu me les protège, et qu'ils trouvent ici une modeste contribution de ma part par rapport à tout ce qu'ils m'ont Offert.

A ma chère grand-mère, à qui je souhaite longue vie et que dieu la garde pour toute la famille.

A mes frères : Bahemed, Tarek et à mes sœurs

A tous ceux qui portent le nom HADJ SMAIL

A tous mes amis et collègues de la promotion.

Et à toute personne que j'ai rencontrée dans ma formation académique

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.

En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Yacine HADJ SMAIL

Remerciements

Au terme de ce travail, avons toute chose, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donnée la force et la patience.

Mes remerciements les plus sincères pour **Dr. KADDOUR Abdelmadjid Maître de Recherche classe A**, qui en tant que Directeur du mémoire, s'est toujours très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire ainsi pour ces remarques, ces conseils, pour l'inspiration, l'aide, et le temps qu'elle a bien voulu nous consacré.

Je tiens à remercier vivement **Dr. BENMEBROUK Lazhar Maître des Conférences classe A** de m'avoir fait l'honneur d'être co-encadreur et de participer à ce jury.

Je remercie **Dr. MAARIF Yacine Maître des Conférences classe A** de m'avoir fait l'honneur d'être examinateur et de participer au jury de ce mémoire.

Je remercie **Dr. FEKIH Abdellali Maître des Conférences classe B** de m'avoir présidé le jury de ce mémoire.

Je dois un remerciement à tous mes enseignants pour leurs qualités scientifiques et pédagogiques. On adresse aussi nos reconnaissances à tous les professeurs et au corps administratifs de département de physique pour leurs conseils et leurs connaissances généreusement transmises.

Je tiens à remercier chaleureusement, tous mes proches et tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce travail.

Table des matières

Liste des acronymes	1
Introduction générale	1
Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat	4
I.1. Introduction	4
I.2 Présentation générale de L'atmosphère	4
I.2.1. Composition de L'atmosphère	5
I.2.2. Structure de l'atmosphère	6
I.2.2.1. La troposphère	6
I.2.2.2. La stratosphère	6
I.2.2.3. La tropopause	7
I.3. L'état du climat actuel et le rôle de l'effet de serre	7
I.3.1. Introduction	7
I.3.2. Définition du climat	8
I.3.3. Le système climatique	9
I.3.3.1. Les échanges au sein du système climatique	10
I.3.4. Le climat en Algérie	11
I.3.4.1. Type méditerranéen	12
I.3.4.2. Type semi-aride	12
I.3.4.3. Type désertique	13
I.4. Paramètres météorologiques	13
I.4.1. La pression	13
I.4.1.1. Unités de mesure	13
I.4.2. La Température	14
I.4.2.1. Unités de mesure	14
I.4.2.2. Variation de température avec la hauteur	14
I.4.3. L'humidité	14
I.4.3.1. Évaporation	14
I.4.3.2. Unités de mesure	15
I.4.4. L'ensoleillement	16
I.4.4.1. Unités de mesure	16
I.4.5. Le vent	17
I.4.5.1. Unités de mesure	17
I.4.6. Les précipitations	17
I.4.6.1. Classification des précipitations	18
I.5. Notion d'échelle	18
I.5.1. L'échelle planétaire	20
I.5.2. L'échelle synoptique	21
I.5.3. Méso-échelle	21
I.5.4. L'échelle aérologique	22
I.5.4. Micro-échelle ou échelle turbulente	23
Conclusion	25
Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire	28
II.1. Introduction	28
II.2. La source de rayonnement solaire	28
II.2.1. Constante solaire	29
II.2.2. Masse d'air	30

Table des matières

II.3. Sphère céleste	30
II.4. Coordonnées Célestes	31
II.4.1. Coordonnées géographiques	31
II.4.1.1. L'attitude φ :	31
II.4.1.2. Longitude λ :	31
II.5. Calcul de la radiation solaire	32
II.5.1. Paramètres influençant le rayonnement solaire	32
II.5.2. La Position du Soleil	32
II.5.2.1. Coordonnées équatoriales	32
II.5.2.2. Coordonnées horizontales	34
II.6. Les composantes du Rayonnement solaire	36
II.6.1. Rayonnement direct	36
II.6.2. Rayonnement diffus	36
II.6.3. Rayonnement global	37
II.7. Rayonnement solaire sur un plan horizontal et sur un plan incliné	37
II.7.1. Plan horizontal	37
II.7.1.1. Rayonnement solaire direct sur un plan horizontal	38
II.7.1.2. Rayonnement diffus sur un plan horizontal	39
II.7.2. Plan incliné	39
II.7.2.1. Rayonnement direct sur un plan incliné	40
II.7.2.2. Rayonnement diffus sur un plan incliné:	40
II.8. Modèle de Perez	41
II.8.1. Le principe de modèle de Perez	41
II.8.2. La clarté TL	41
II.8.3. La luminosité	42
Conclusion	44
Chapitre III : Présentations des études de cas et les logiciels de simulation climatique	44
III.1. Introduction :	44
III.2. Présentations des zones d'études	45
III.2.1. Zone de Tamanrasset	45
III.2.1.1. Situation géographique	45
III.2.1.2. Météo habituelle à Tamanrasset	46
III.2.2. Zone de Tlemcen	46
III.2.2.1. Situation géographique	46
III.2.2.2. Météo habituelle à Tlemcen	47
III.2.3. Zone de Sétif	47
III.2.3.1. Situation géographique	47
III.2.3.2. Météo habituelle à Sétif	48
III.2.4. Zone de Ghardaïa	49
III.2.4.1. Situation géographique	49
III.2.5.2. Météo habituelle à Ghardaïa	49
III.2.5. Zone d'Alger	50
III.2.5.1. Situation géographique	50
III.2.5.2. Météo habituelle à Alger	51
III.3. Les logiciels de simulation climatique	51
III.3.1. Logiciel METEONORM	51
III.3.2. Logiciel RETScreen	53
III.3.3. Logiciel PVsyst	54

Table des matières

Conclusion	58
Chapitre IV Résultats et discussions	59
IV.1. Introduction	59
IV.2. La base des données	59
IV.3. Rayonnement Solaire annuel	60
IV.3.1. Rayonnement solaire annuel aux sites d'Alger et Tlemcen	60
IV.3.2. Rayonnement solaire annuel au site de Sétif	60
IV.3.3. Rayonnement solaire annuel aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset	61
IV.4. Température annuelle simulée par Meteonorm	62
IV.4.1. Température annuelle aux sites d'Alger et Tlemcen	62
IV.4.2. Température annuelle au site de Sétif	63
IV.4.3. Température annuelle aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset	63
IV.5. Les précipitations et l'humidité relative annuelle	64
IV.5.1. Les précipitations et l'humidité relative annuelle aux sites d'Alger et Tlemcen	64
IV.5.2. Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Sétif	65
IV.5.3. Les précipitations et l'humidité relative annuelle aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset	65
IV.6. Les pressions atmosphériques et les vitesses de vent annuelles simulées par Retscreen	67
IV.6.1. Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuelles aux sites d'Alger et Tlemcen	67
IV.6.2. Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuelles au site de Sétif	68
IV.6.3. Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuelles aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset	68
IV.7. Les irradiations solaires globales simulées par Pvsyst pour les sites d'Alger, Tlemcen, Sétif, Ghardaïa, Tamanrasset.	69
IV.8. L'indice de clarté calculée par Pvsyst	69
IV.8.1. L'indice de clarté pour les sites d'Alger et Tlemcen	70
IV.8.2. L'indice de clarté pour le site de Sétif	70
IV.8.3. L'indice de clarté pour les sites de Ghardaïa et Tamanrasset	71
Conclusion	71
Conclusion générale	80
Références bibliographiques	81

Liste des figures

<i>Figure (1) Structure verticale de l'atmosphère</i>	<i>6</i>
<i>Figure (2) Le système climatique</i>	<i>9</i>
<i>Figure (3) Les zones de trois types de climat en Algérie</i>	<i>11</i>
<i>Figure (4) Le cycle de l'eau</i>	<i>18</i>
<i>Figure (5) Les différentes dimensions et le temps de chaque échelle.</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<i>Figure (6) Phénomène des courants dans L'échelle planétaire</i>	<i>20</i>
<i>Figure (7) Phénomène de cyclone dans l'échelle synoptique</i>	<i>21</i>
<i>Figure (8) Phénomène de fronts dans la méso-échelle</i>	<i>22</i>
<i>Figure (9) Phénomène de nuage cumuliforme dans l'échelle aérologique</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<i>Figure (10) Phénomène de vent sable dans le cadre de micro échelle.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure (11) Rotation de la Terre autour de soleil</i>	<i>29</i>
<i>Figure (12) Sphère céleste</i>	<i>30</i>
<i>Figure (13) Coordonnées géographiques.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure (14) Référentiel plan équatorial</i>	<i>33</i>
<i>Figure (15) référentiel, Plan horizontal du lieu</i>	<i>35</i>
<i>Figure (16) Chemins suivis par le rayonnement solaire</i>	<i>36</i>
<i>Figure (17) Le Carte du rayonnement solaire global (pubs.acs.org, N / A)</i>	<i>37</i>
<i>Figure (18) Plan incliné.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure (19) Site de Tamanrasset</i>	<i>46</i>
<i>Figure (20) Site de Tlemcen</i>	<i>47</i>
<i>Figure (21) Site de Sétif.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure (22) Site de Ghardaia.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure (23) Site d'Alger</i>	<i>50</i>

Liste des figures

<i>Figure (24) Différentes stations météorologiques dans le monde sur le logiciel Meteonorm</i>	<i>51</i>
<i>Figure (25) Interface de logiciel Meteonorm</i>	<i>52</i>
<i>Figure (26) Logiciel RETScreen</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<i>Figure (27) Interface de logiciel PVsyst</i>	<i>55</i>
<i>Figure (28) Etude d'un panneau photovoltaïque à partir de logicielle PVsyst</i>	<i>56</i>
<i>Figure (29) Rayonnement solaire annuel aux sites d'alger et Tlemcen</i>	<i>60</i>
<i>Figure (30) Rayonnement solaire annuel au site de Sétif</i>	<i>61</i>
<i>Figure (31) Rayonnement solaire annuel aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset</i>	<i>61</i>
<i>Figure (32) Température annuelle aux sites d'Alger et Tlemcen</i>	<i>62</i>
<i>Figure (33) Temperature annuelle au site de Sétif</i>	<i>63</i>
<i>Figure (34) Moyennes mensuelles de la température ambiante (°C) aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset</i>	<i>63</i>
<i>Figure (35) Les précipitations et l'humidité relative au site d'Alger</i>	<i>64</i>
<i>Figure (36) Les précipitations et l'humidité relative au site de Tlemcen</i>	<i>64</i>
<i>Figure (37) Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Sétif</i>	<i>65</i>
<i>Figure (38) Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Ghardaïa</i>	<i>65</i>
<i>Figure (39) Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Tamanrasset</i>	<i>66</i>
<i>Figure (40) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents au site d'Alger</i>	<i>67</i>
<i>Figure (41) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents au site de Tlemcen</i>	<i>67</i>
<i>Figure (42) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuels au site de Sétif</i>	<i>68</i>
<i>Figure (43) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuels au site de Ghardaïa</i>	<i>68</i>
<i>Figure (44) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuels au site de Tamanrasset . Erreur ! Signet non défini.</i>	
<i>Figure (45) Comapariason des irradiations solaires globales pour les cinq sites</i>	<i>69</i>
<i>Figure (46) Indice de clarté aux sites d'Alger et Tlemcen</i>	<i>70</i>

Liste des figures

Figure (47) Indice de clarté pour le site de Sétif..... 70

Figure (48) Indice de clarté aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset..... 71

Liste des tableaux

<i>Tableau (1) Composition de l'atmosphère terrestre[4]</i>	<i>5</i>
<i>Tableau (2) Différentes caractéristiques de chaque échelle [17]</i>	<i>24</i>
<i>Tableau (3) Coefficients F_{ij} de Perez[44]</i>	<i>43</i>
<i>Tableau (4) Comparaison entre les logiciels PVsyst et RETScreen[55].....</i>	<i>57</i>

Liste des acronymes

Liste des acronymes

hpa: hecto **P**ascal

mb: millibar

N: Newton

ppm: partie par million

RMH : le **R**apport de **M**élange d'**H**umidité

RMS : le **R**apport de **M**élange de **S**aturation

HR : l'**H**umidité **R**elative

FGP : Force de **G**radient de **P**ression

OMM : organisation **M**étéorologique **M**ondial

D : la **d**istance terre soleil

SNLA : Sandia National **L**aboratoires

ASRC : Centre de **R**echerche en **S**cience **A**tmosphérique

Introduction générale

Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20^{ème} siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C. Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydroclimatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresse chroniques. Les avis des chercheurs qui décrivent les changements climatiques divergent. Selon certains, il se produit des variations dues à l'intervention humaine alors que pour d'autres, le climat varie d'une façon naturelle sous l'influence de différents facteurs climatiques. Aujourd'hui, on observe que l'action humaine (industrialisation, déforestation, etc....) contribue négativement et de façon significative aux changements climatiques[1].

À cause de ce changement climatique et d'essais d'éviter et limiter les dégâts des énergies fossiles sur notre globe et ou même temps pour freiner le réchauffement climatique. L'énergie solaire, qui se caractérise par une absence de pollution, par sa disponibilité fait l'objet d'un grand intérêt ces dernières années. En effet, les systèmes d'exploitation qui utilisent cette forme d'énergie demandent une légère maintenance et présentent une bonne fiabilité de fonctionnement, une autonomie de plus en plus accrue, une résistance extrême aux conditions naturelles (température, humidité, vent, corrosion, etc.), et donc une grande longévité. [1]

Le présent travail traite une comparaison entre des valeurs de rayonnement solaire mesurées et des valeurs estimées par trois approches théoriques sur les sites de (Alger, Tamanrasset, Tlemcen, Sétif, Ghardaïa). Des données radiométriques sont continuellement collectées pour tester ces approches qui sont valables pour un ciel totalement clair. Selon les confrontations et les résultats obtenus, Plusieurs méthodes sont utilisées pour caractériser le régime climatique. Pour répondre à notre problématique il faut :

- analyser les composantes principales de climats
- présenter les modèles concernant l'étude du rayonnement solaire
- détailler logiciels de simulation et leurs applications dans la météorologie

Introduction générale

Le manuscrit est composé de quatre chapitres,

Premièrement, nous présentons la structure d'atmosphère, le système climatique, les types de climat en Algérie, ainsi que la notion des échelles météorologiques.

Ensuite, nous donnons un aperçu sur le gisement solaire dans le deuxième chapitre.

Par suite, nous détaillons une étude climatique des zones d'études et la description des logiciels de simulation.

Enfin, nous discutons les résultats obtenus par les logiciels Meteonorm, RETScreen et PVsyst, concernant les variations mensuelles et annuelles des rayonnements solaires et des températures, les précipitations, l'humidité relative, les vitesses des vents, et l'indice de clarté dans les cinq sites étudiés.

CHAPITRE I

Recherche bibliographique sur le climat

I.1. Introduction

Le climat caractérise l'état moyen de nombreux paramètres, principalement physiques, de l'atmosphère, de l'océan et des surfaces continentales. Le mot « climat » dérive du grec (κλίμα) qui signifie « inclinaison », en référence à l'inclinaison des rayons solaires commune aux régions de climat semblable. De manière usuelle, le climat désigne la moyenne, calculée sur une longue période de temps (30 ans, par convention, pour les météorologistes), des observations de paramètres tels que la température, la pression, la pluviométrie ou la vitesse du vent, en un lieu géographique et à une date donnée [2].

De la même façon que la météo change au cours d'une semaine, le climat varie aussi, mais sur des échelles de temps plus longues. La palette de ces variations est large, à la fois dans le temps (d'une saison à l'autre, d'une année à l'autre, d'une dizaine, centaine à l'autre) et dans l'espace (local, régional, continental, global). Et pour étudier le climat, la terre a une partie très importante qui réduit les écarts de température à cause des rayonnements solaires c'est l'atmosphère terrestre [3].

I.2 Présentation générale de L'atmosphère

Nous en savons peu sur l'origine de notre atmosphère, tout comme nous en savons peu sur l'origine de notre planète. En l'absence de preuves fiables, on ne peut que spéculer. Selon les cosmologistes, notre planète est probablement venue du soleil il y a environ 4,6 milliards d'années dans le sillage de la rencontre de ce dernier avec une étoile qui passait, suite à un événement cosmique, populairement connu sous le nom de (Big Bang). Après sa séparation avec le soleil, il a commencé à tourner autour du soleil sous l'effet de la traction gravitationnelle du soleil et tournant autour de son axe comme une boule de feu, entouré d'une enveloppe gazeuse extrêmement chaude qui peut être appelée l'atmosphère primordiale[4].

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

I.2.1. Composition de L'atmosphère

La météorologie repose sur l'observation régulière des phénomènes météorologiques et sur l'étude des lois qui régissent les gaz de l'atmosphère, leurs changements d'état et leurs mouvements.

L'enveloppe gazeuse qui couvre la surface de la terre n'a pas de limite supérieure. Elle se fond progressivement dans l'espace interplanétaire. Il existe aujourd'hui comme un mélange de plusieurs gaz dont la composition dans les 25 premiers km de l'altitude de la terre est présentée au tableau (1).

GAZ		volumiques%
azote	N ₂	78.09
oxygène	O ₂	20.95
Argon	Ar	0.93
Dioxyde de carbone	CO ₂	0.038
néon	Ne	1.8 10 ⁻³
Hélium	He	5.2 10 ⁻⁴
Krypton	Kr	1.0 10 ⁻⁴
Hydrogène	H ₂	5.0 10 ⁻⁵
Xénon	Xe	8.0 10 ⁻⁶
Ozone	O ₃	1.0 10 ⁻⁶

Tableau (1) Composition de l'atmosphère terrestre [4]

Comme le montre le tableau (1), l'azote et l'oxygène sont les deux principaux constituants de l'atmosphère terrestre, leurs proportions combinées approchant près de 99 % en masse et en volume. Leurs compositions varient peu avec le temps, de sorte qu'ils sont traités comme des gaz permanents[4,5].

D'autres gaz existent en petites quantités seulement. Les proportions de dioxyde de carbone et d'ozone sont variables. Un autre composant de l'atmosphère qui ne trouve pas de place dans le tableau mais il est très important pour la météorologie est la vapeur d'eau qui se produit également dans les petites et variables[4,5].

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

I.2.2. Structure de l'atmosphère

Bien que l'atmosphère se subdivise en plusieurs grandes parties en fonction du gradient vertical de température Figure (1)[6] il contient des parités ou bien des couches avec différentes

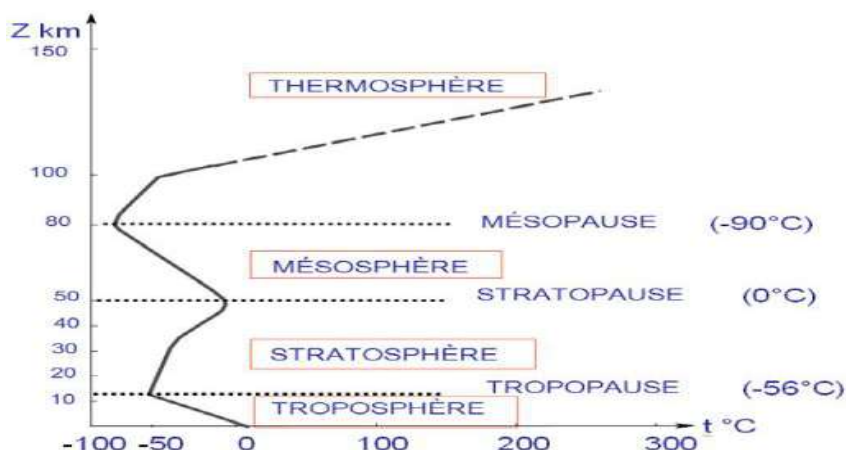


Figure (1) Structure verticale de l'atmosphère

températures :

I.2.2.1. La troposphère

C'est la couche la plus basse de l'atmosphère terrestre où la température diminue avec l'augmentation de la hauteur.

- il se compose de $\frac{3}{4}$ de poids total de l'atmosphère.
- il contient presque toutes les conditions météorologiques.[7]

I.2.2.2. La stratosphère

C'est la couche au-dessus de la troposphère où la température reste d'abord constante à une hauteur moyenne de 20 km puis augmente pour atteindre une température de $-2,5^{\circ}\text{C}$ à une hauteur de 47 km, puis au-dessus de 51 km la température commence à diminuer à nouveau. La raison de cette augmentation est l'action du rayonnement ultraviolet dans la formation de l'ozone. La limite entre la stratosphère et la couche suivante, la mésosphère est connue sous le nom de stratopause. La hauteur moyenne de la stratopause est de 50 km dans les latitudes tempérées[7][5].

I.2.2.3. La tropopause

Marque la frontière entre la troposphère et la stratosphère et c'est là que la température cesse de chuter avec une augmentation de la hauteur. (Prise pratiquement comme la hauteur ou la température chute est inférieure à $0,65\text{ °C}$ par 100 m (2 °C par 1000 pi.))[7][8].

La hauteur de la tropopause est contrôlée par la température de l'air près de la surface. Plus l'air est chaud, plus la tropopause est élevée. Plus l'air est froid, plus la tropopause est basse. Par conséquent, les variations de température dues à la latitude, à la saison, à la terre et à la mer, entraîneront toutes différentes hauteurs de la tropopause. Il y a deux endroits où la tropopause change brusquement de hauteur ou de « plis ». Ils se trouvent à environ 40° et 60° de latitude. La hauteur moyenne de la tropopause à l'équateur est de 16 à 18 km avec une température moyenne de -75 °C à -80 °C , et aux pôles de 8 km avec une température moyenne de -40 °C à -50 °C . La hauteur moyenne de 11 km avec une température de $-56,5\text{ °C}$ [8][7].

La température de la tropopause est contrôlée par sa hauteur. Plus elle est élevée, plus la température à la tropopause est froide. Plus elle est basse, plus la température à la tropopause est élevée. La température à la tropopause peut atteindre -40 °C sur les pôles et -80 °C sur l'équateur [7].

I.3. L'état du climat actuel et le rôle de l'effet de serre

I.3.1. Introduction

Nous avons maintenant étudié les divers processus atmosphériques associés aux conditions météorologiques et la façon dont leur interaction produit les différents types de phénomènes météorologiques que nous vivons. Maintenant, nous portons notre attention sur la météo à l'échelle mondiale et nous examinons les conditions météorologiques auxquelles nous pouvons nous attendre dans différents endroits. Cette étude est connue sous le nom de climatologie. Les éléments de la climatologie sont les précipitations, la température, l'humidité, le soleil et la vitesse du vent. Ces éléments seront affectés différemment dans le monde par la latitude, l'emplacement (maritime ou continental), la circulation des systèmes de pression, l'altitude et la

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

géographie. Au fil des ans, les données climatologiques ont été accumulées à un point tel que les prévisions météorologiques par zone sont devenues assez précises et que Au fil des ans, les données climatologiques ont été accumulées à un point tel que les prévisions météorologiques par zone sont devenues assez précises et que les communications ne se sont tellement améliorées que les conditions météorologiques[9].

I.3. 2. Définition du climat

Mais, plus généralement, on entend par le mot « climatologie », est la science qui donne une description systématique et une explication de la répartition des climats. On pourrait préciser que la climatologie cherche maintenant à expliquer non seulement la répartition géographique des climats, mais aussi leur évolution au fil des décennies et des siècles, surtout depuis qu'une évolution lente du climat de la planète (vers le réchauffement) est devenue évidente. Pour prendre en compte cette évolution lente, certains ont introduit la notion de « climatologie dynamique ». Quant à l'évolution du passé, elle a fait l'objet d'un énorme travail de reconstitution de la part des historiens, glaciologues, sédimentologistes, etc., travail documenté dans de nombreux ouvrages[10].

À l'échelle de la décennie ou du siècle, l'évolution de l'atmosphère est largement pilotée par celle des océans (gelés ou pas), des surfaces continentales (couvertes de glace ou pas) et de toute la biosphère. Elle dépend aussi, dans une plus faible mesure, de facteurs astronomiques tels que l'évolution du rayonnement solaire ou des caractéristiques géométriques de l'orbite terrestre. Pour étudier, comprendre et prévoir l'évolution du climat (souvent en s'aidant de la modélisation numérique), le scientifique est amené à traiter beaucoup de processus physiques extérieurs à l'atmosphère. Il s'agit de tous les processus qui affectent ce qu'on appelle « le système climatique » comme ceux, par exemple, qui affectent l'océan profond et l'hydrologie (lacs, fleuves, glaciers et réserves continentales d'eau profonde)[10].

Pour le météorologiste chargé de la prévision du temps à quelques jours d'échéance, il n'est pas nécessaire de s'intéresser en détail à tous ces milieux connexes à l'atmosphère, vu qu'ils évoluent beaucoup plus lentement que l'atmosphère elle-même. On peut alors se contenter de modéliser très simplement ces milieux connexes. Ainsi, dans les modèles de prévision opérationnels, l'état de l'océan est-il supposé constant (y compris pour sa température

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

de surface qui pilote directement l'échange d'énergie océan-atmosphère). Sur les continents, la plupart des variables sont aussi maintenues constantes dans un modèle de prévision (végétation, étendue des glaciers, état du sol, etc.), à l'exception notable de la température et de l'humidité des surfaces continentales qui peuvent présenter de fortes variations diurnes, ainsi que de l'épaisseur du manteau neigeux lorsqu'il recouvre le sol.

Ainsi l'ensemble des processus physiques qui intéresse le météorologiste est souvent plus restreint que celui qui intéresse le climatologiste. Le « système météorologique » (limité à la prévision du temps) peut donc être vu comme un sous-ensemble du « système climatique », contrairement à l'acception courante du mot « climat » qui peut être vu comme un sous-ensemble de la météorologie[10].

I.3.3. Le système climatique

Le système climatique est l'ensemble Terre-atmosphère. Il évolue au cours du temps sous l'effet du processus internes et de contraintes externes, d'origine naturelle ou humaine. Les modèles de climat s'efforcent de simuler au mieux son fonctionnement. (voir figure 2)

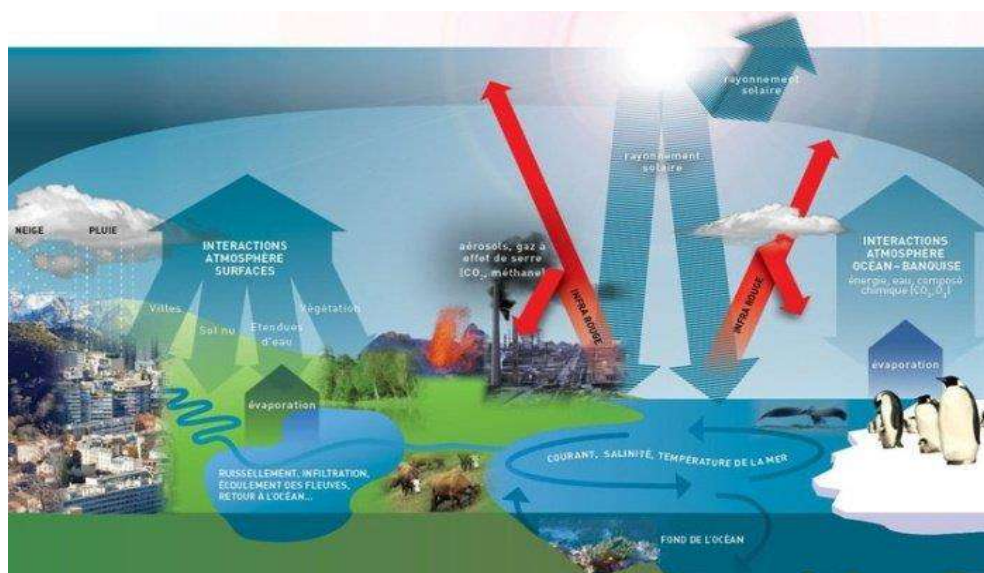


Figure (2) Le système climatique

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

L'étude des changements climatiques nécessite de définir le système climatique, un ensemble complexe constitué de composantes principales :

L'atmosphère c'est les surfaces continentales

L'hydrosphère (océans, lacs, rivières, nappes d'eau souterraines...)

La cryosphère (glaces terrestres ou marines, manteau neigeux...)

La biosphère (tous les organismes vivants dans l'air, sur terre et dans les océans)

I.3.3.1. Les échanges au sein du système climatique

La lumière du soleil est la seule source d'énergie apportée au système climatique. Les composantes du système interagissent entre elles en échangeant l'eau, la chaleur, le mouvement et les composés chimiques[4].

La terre et l'atmosphère se réchauffent sous l'effet du soleil. Les grands courants aériens redistribuent cette énergie des tropiques vers les pôles.

Une partie de l'énergie solaire parvient aux océans qui, eux aussi, participent à la redistribution de la chaleur.

Le sol et les océans se refroidissent par évaporation et par transpiration de la végétation, une perte d'énergie regagnée par l'atmosphère lorsque la vapeur d'eau se condense. L'eau retourne à la Terre et à l'océan par les précipitations, les rivières et les fleuves (cycle de l'eau)[4].

I.3.3.1.1. Neige et glace

Plus la superficie du manteau neigeux, des glaciers et de la banquise diminue, plus les rayonnements solaires chauffent le sol ou l'océan et plus la température augmente.

I.3.3.1.2. Couvert végétal

Selon sa nature (prairies, cultures, forêts...), il stocke ou rejette plus ou moins de chaleur, d'eau, de CO₂ et autres gaz.

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

I.3.3.1.3. L'effet de serre

Les deux tiers de l'énergie en provenance du soleil sont absorbés par l'atmosphère, les sols et l'océan (le tiers restant est directement réfléchi vers l'espace par les nuages, les aérosols, l'atmosphère et la surface terrestre). L'atmosphère et la surface terrestre émettent en retour un rayonnement infrarouge que les nuages et les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, ozone et méthane pour les plus importants) absorbent et retournent en grande partie vers le sol. La chaleur est piégée, un peu comme sous les vitres d'une serre.

Sa concentration augmente continûment depuis le milieu du XIXe siècle, en raison principalement des activités industrielles, passant de 280 ppm vers 1870 à 388 ppm en 2009. Le taux de croissance mesuré depuis 1970 est environ 500 fois plus élevé que celui-ci observé en moyenne sur les 5 000 dernières années. Les études isotopiques montrent que l'origine de cette augmentation est due pour plus de la moitié à la combustion des combustibles fossiles, le reste aux déboisements massifs et pour une faible part à la production de ciment[8]. En tout point de la Terre, le climat est la résultante de ces interactions. Même sans changement de l'intensité solaire, du volcanisme, ou de la composition de l'atmosphère, le climat varie d'une année sur l'autre ou suivant des cycles pluriannuels. C'est la conséquence de la variabilité interne (ou intrinsèque) du système climatique. Les modèles de climat reproduisent correctement cette variabilité interne[12].

I.3.4. Le climat en Algérie

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-africain. Son climat est variable entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est du type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'atlas tellien (été chaud et sec, hiver humide et frais), semi-aride sur les

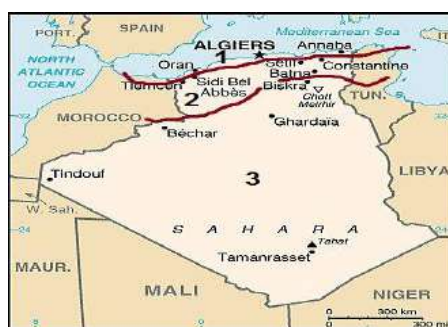


Figure (3) Les zones de trois types de climat en Algérie

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'atlas saharien.[12] la figure (3)[13] présente les zones de trois types de climat :

I.3.4.1. Type méditerranéen

Un climat se définit grâce à différentes données météorologiques. Les températures et les précipitations sont déterminantes en la matière. Elles permettent de définir de grandes zones climatiques. Ainsi le climat méditerranéen fait partie de la famille des climats tempérés. Il se caractérise par un ensoleillement important, de fréquents vents violents, des étés chauds - entre 25 et 40 °C - et secs et des hivers doux - en moyenne 5 °C - et humides.

Pour être plus précis, ce sont surtout les saisons intermédiaires qui sont pluvieuses : le printemps et l'automne. Les pluies tombent généralement sous forme d'orages. Dans les régions qui connaissent un climat méditerranéen, il pleut moins de 100 jours par an. Mais en quelques heures, une moyenne mensuelle de précipitation peut être dépassée. Et notamment à proximité des reliefs. Ainsi l'exemple des épisodes cévenols.

I.3.4.2. Type semi-aride

En trouve ce type de climat dans la zone de hauts plateaux il est plus froid et neigeux pendant l'hiver et plus chaud et sec pendant l'été les régimes de pluies sont très irréguliers d'un régime à l'autre notamment entre le nord et le sud de zone et aussi entre l'est et l'ouest.

Les climats des steppes sont intermédiaires entre les climats désertiques (BW) et les climats humides en matière de caractéristiques écologiques et de potentiel agricole.

Pour déterminer si un endroit a un climat semi-aride, le seuil de précipitation doit d'abord être déterminé. Trouver le seuil de précipitation (en millimètres) consiste d'abord à multiplier la température annuelle moyenne en °C par 20, puis à ajouter 280 si 70 % ou plus des précipitations totales se trouvent dans la moitié ensoleillée de l'année (d'avril à septembre dans la zone tempérée du Nord, ou d'octobre à mars dans la zone méridionale), ou 140 si 30 à 70 % des précipitations totales sont reçues au cours de la période applicable, ou 0 si moins de 30 % des précipitations totales sont reçues. Si les précipitations annuelles de la zone sont inférieures au seuil mais supérieures à la moitié du seuil, elles sont classées comme BS (climat de steppe).

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

Les climats semi-arides froids ont une température annuelle moyenne inférieure à 18 °C, ou une température moyenne ne dépassant pas 0 °C au cours du mois le plus froid.

I.3.4.3. Type désertique

C'est un type qui se trouve dans la plupart de la surface de l'Algérie il contient d'un désert chaud à une température annuelle moyenne d'au moins 18 °C et pas plus de 200 mm de précipitations par année. Ces climats présentent généralement des périodes chaudes, parfois exceptionnellement chaudes, de l'année. Dans de nombreux endroits où le climat est chaud dans le désert, les températures maximales de plus de 40 °C ne sont pas rares en été et peuvent atteindre plus de 45 °C dans les régions les plus chaudes.

I.4. Paramètres météorologiques

Nous nous intéressons aux paramètres qui peuvent avoir une relation avec l'étude de climat des longues durées pour faire une prévision météorologique ou une étude comparative des données climatiques.

I.4.1. La pression

La pression atmosphérique est la force par unité de surface exercée par l'atmosphère sur toute surface en contact avec elle. Si la pression est considérée comme le poids d'une colonne d'air de la section transversale de l'unité au-dessus d'une surface, on peut voir sur le diagramme que la pression (poids de la colonne ci-dessus) à la surface supérieure sera inférieure à celle de la surface inférieure. Ainsi la pression atmosphérique diminuera avec une augmentation de la hauteur.[7]

I.4.1.1. Unités de mesure

Unités de mesure L'unité de force standard sont le NEWTON (N) et la moyenne de la pression atmosphérique au niveau de la mer est de 101 325 newtons par mètre carré (pascals). Pour des raisons de simplicité, ceci est exprimé comme 1013,25 hectopascals (hPa) parce que le système de mesures précédent était millibars (mb) et 1 hPa = 1 mb. Dans certains pays, des millibars sont

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

encore utilisés. D'autres unités qui sont encore utilisées sont liées à la hauteur d'une colonne de mercure dans un baromètre en pouces ou en millimètres .[7]

I.4.2. La Température

L'une des variables importantes dans l'atmosphère est la température. L'étude des variations de température, horizontales et verticales, revêt une importance considérable dans l'étude de la météorologie.[7]

I.4.2.1. Unités de mesure

Il existe trois échelles qui peuvent être utilisées pour mesurer la température bien que seuls les degrés Celsius et Kelvin soient utilisés en météorologie. Les figures montrent le point de fusion de la glace et le point d'ébullition de l'eau (à pression standard) dans chaque échelle.

- L'échelle FAHRENHEIT : +32 et +212 degrés.
- L'échelle CELSIUS (ou Centigrade) : 0 et +100 degrés.
- L'échelle KELVIN (ou absolue) : +273 et +373 Kelvin.

Facteurs de conversion : $^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$ $^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$ $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$
instruments.[7]

I.4.2.2. Variation de température avec la hauteur

Nous avons vu que bien que notre source de chaleur soit le soleil, en raison de la transparence virtuelle de la troposphère à l'insolation, il est en fait chauffé (par IR à ondes longues) de la surface vers le haut. Ainsi, à mesure que nous nous éloignons de la surface, nous nous attendons à ce que les effets de chauffage diminuent.

I.4.3. L'humidité

I.4.3.1. Évaporation

L'évaporation est le changement d'état de la vapeur de liquide. La chaleur latente est absorbée. L'évaporation peut se produire à n'importe quelle température. Pour une température

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

donnée, il y a une quantité particulière d'eau par unité de volume que l'air peut retenir. Lorsque ce maximum sera atteint, l'évaporation cessera.[7]

I.4.3.2. Unités de mesure

I.4.3.2.1. • Humidité absolue : le poids de la vapeur d'eau dans le volume unitaire d'air. L'humidité absolue est habituellement exprimée en $\frac{g}{m^3}$.

I.4.3.2.2. • Le rapport de mélange d'humidité (RMH) : est le poids de la vapeur d'eau contenue dans la masse unitaire d'air sec. Le rapport de mélange d'humidité est généralement exprimé en $\frac{g}{kg}$. Dans l'air non saturé, le RMH reste constant pendant la montée tandis que la température et la pression diminuent.

I.4.3.2.3. • Le rapport de mélange de saturation (RMS) : est la quantité maximale de vapeur d'eau qu'une masse unitaire d'air sec peut contenir à une température donnée.

I.4.3.2.4. • Humidité relative (HR) :

ou plus simplement, la quantité de vapeur d'eau présente dans un volume d'air divisé par la quantité maximale de vapeur d'eau que ce volume pourrait contenir à cette température exprimée en pourcentage équation (1.1).[7]

$$\frac{RMH}{RMS} * 100\% = HR \quad (1)$$

RMH : Le rapport de mélange d'humidité.

RMS : Le rapport de mélange de saturation.

HR : Humidité relative.

$$HR \ 100\% = SATURATION$$

I.4.4. L'enseillement

Aussi appelé insolation, est la mesure du rayonnement solaire que reçoit une surface au cours d'une période donnée, donc Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variante de 0,22 à 10 micro mètre (μm). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi; 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$), 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$), 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$). Le rayonnement solaire émet en direction de la terre est intercepté par son atmosphère, à ces frontières une certaine quantité de rayonnement solaire où des photons sont absorbés, une certaine quantité est reflétée de nouveau dans l'espace, et une partie la traverse. Passant par l'atmosphère, le faisceau solaire subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite de phénomènes complexes d'absorption, diffusion et de dispersion par les gaz, les aérosols, poussières et les gouttelettes d'eau en suspension dans les nuages etc. De ce fait le rayonnement solaire atteint le sol sous différentes formes à savoir le rayonnement dispersé atteignant la surface de la terre désignée sous le nom du rayonnement diffus, le rayonnement direct provenant directement du disque solaire sans subir des modifications et également le rayonnement reflété par la terre à différentes longueurs d'onde dues à la température de sa surface. Le rayonnement réfléchi par la surface terrestre est renvoyé dans une direction privilégiée (réflexion dite spéculaire) ou de manière diffuse. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope. La quantité d'énergie transportée par le rayonnement solaire à la surface terrestre dépend de certaines considérations géométriques dues au mouvement apparent du soleil et aux mouvements de la terre.[14]

I.4.4.1. Unités de mesure

L'unité de mesure en mégajoules par mètre carré, MJ/m^2 (comme recommandé par l'Organisation météorologique mondiale) ou en watts-heures par mètre carré, Wh/m^2 (surtout par l'industrie solaire). Cette mesure divisée par le temps d'enregistrement fournit la mesure de densité de puissance, appelée l'éclairement énergétique/irradiation, exprimé en watts par mètre carré (W/m^2).[7]

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

I.4.5. Le vent

Le vent est généré par les différences de pression entre les systèmes à haute et basse pression qui donnent lieu à ce que nous appelons la force de gradient de pression (FGP) le changement de pression sur la distance. La FGP agit directement de la haute pression à la basse pression. L'espacement des isobares détermine l'ampleur de la force, plus les isobares sont rapprochées, plus la différence de pression est grande et donc la PGF et donc la vitesse du vent. Cela implique que le vent ne s'écoule pas directement de la haute pression à la basse pression, mais parallèlement aux isobares.[7]

L'examen d'une carte d'analyse montrera que le vent de surface ne coule en effet pas presque parallèle à la :

Le vent géostrophique

Le vent de gradient

I.4.5.1. Unités de mesure

La vitesse du vent est habituellement exprimée en nœuds, mais certains pays donnent la vitesse en mètres par seconde (m/s).[7]

I.4.6. Les précipitations

La précipitation est toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre, sous forme liquide (pluie, bruine) ou solide (neige, grêle). [15]

D'un point de vue physique, la pluie peut être définie comme des gouttes d'eau d'un diamètre variant entre 0,5 et 5 mm, tombant ou non sur le sol (reprise par l'évaporation ou par les mouvements de l'atmosphère).[15]

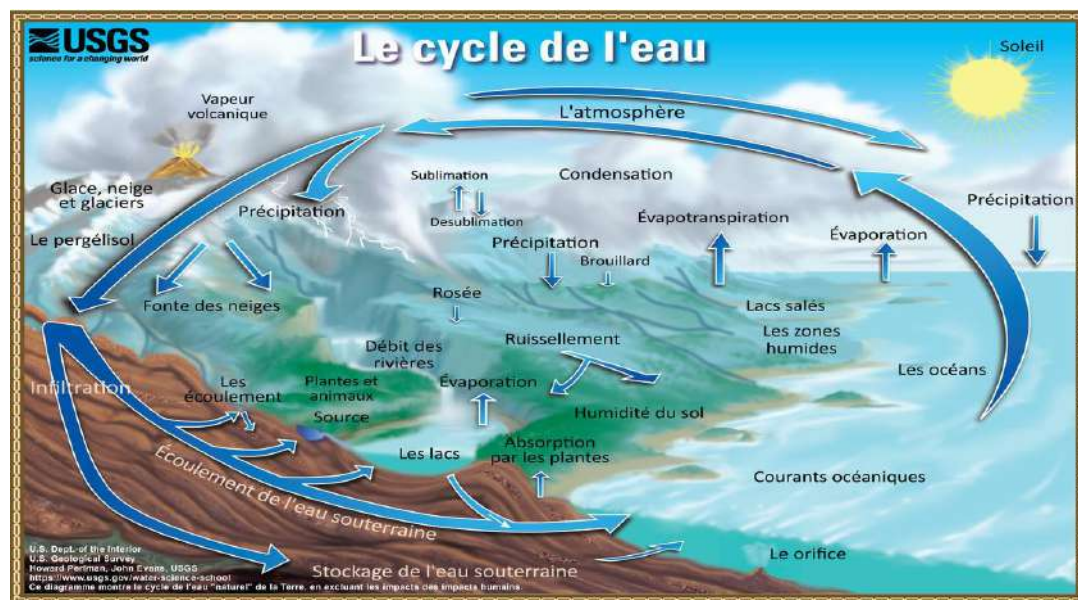


Figure (4) Le cycle de l'eau

Le chemin de l'eau dans la nature comme le montre la figure (4)[16].

I.4.6.1. Classification des précipitations

Sur la base des phénomènes météorologiques qui leur donnent naissance, ou qui les accompagnent, on peut diviser les précipitations en trois classes :

1. Précipitations de convection
2. Précipitations orographiques
3. Précipitations cycloniques ou des fronts (chauds ou froids)

I.5. Notion d'échelle

L'atmosphère est soumise à de nombreuses excitations extérieures comme le rayonnement solaire ou les interactions entre les continents et les océans. Ces excitations sont cycliques (cycles journaliers ou saisonniers du rayonnement solaire) ou régulières, mais aussi très variables dans l'espace et le temps. En réaction, des mouvements de l'atmosphère se mettent en place pour réduire les hétérogénéités induites par l'extérieur et évoluer vers un état d'équilibre. Ces mouvements atmosphériques se produisent à des échelles d'espace et de temps très divers.

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

Les échelles sont en réalité très imbriquées malgré une dominance de certains phénomènes météorologiques à des échelles bien particulières.

En retenant les critères de taille et de durée, une classification usuelle des phénomènes météorologiques est généralement admise.

Les phénomènes atmosphériques décrivent une très grande gamme d'échelles (en temps et en espace) et un même système d'équations doit pouvoir décrire l'ensemble de ces échelles. Par exemple, il doit permettre de décrire l'évolution de la fumée de cigarette ou bien un front atmosphérique. Il est évident qu'on ne peut étudier en même temps l'ensemble des mouvements de l'atmosphère.

Selon le problème traité, les processus qui dominant diffèrent et des modélisations appropriées

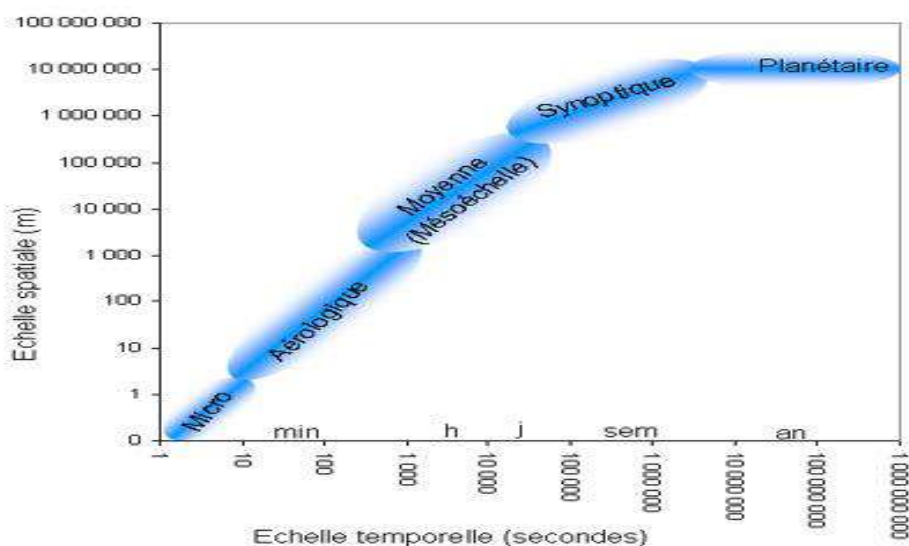


Figure (5) Les différentes dimensions et le temps de chaque échelle.

doivent être utilisées. Voir la figure (5)[17].

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

On est ainsi amené à définir plusieurs échelles caractérisées par leurs dimensions horizontales (L) et les échelles temporelles (t) associées. Les différents phénomènes d'origine naturels observables dans l'atmosphère (rafales de vent, orages perturbations ...) peuvent être regroupés suivant deux critères :

Leurs dimensions (échelle spatiale) et leurs durées de vie (échelle temporelle)[18].

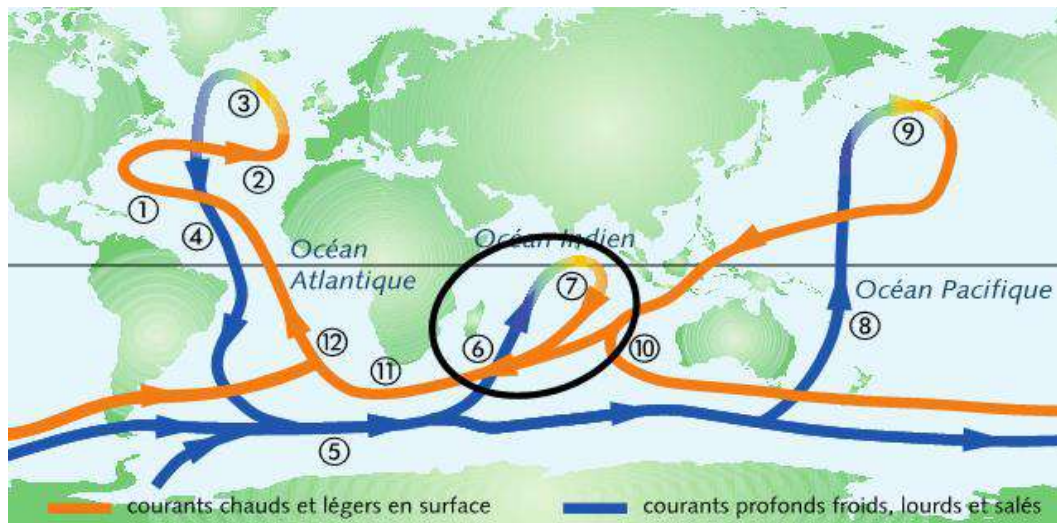


Figure (6) Phénomène des courants dans L'échelle planétaire

I.5.1. L'échelle planétaire

Les phénomènes météorologiques à l'échelle planétaire s'étendent sur plusieurs milliers de kilomètres et leur durée de vie est de l'ordre de plusieurs mois ou de l'année. Par exemple le jet Stream correspond à un phénomène planétaire car on le retrouve sur des surfaces très étendues dans l'atmosphère à haute altitude (7 à 12 km au-dessus du niveau de la terre). En plus, nous pouvons citer comme exemple l'alternance des périodes sèches et humides des régions intertropicales ou le régime des moussons. Ces phénomènes sont associés aux grandes fluctuations saisonnières de l'atmosphère. Ils s'étendent sur plusieurs milliers de km et leur durée de vie est de l'ordre du mois ou de l'année. Nous pouvons les appréhender grâce aux satellites géostationnaires. Figure (6)[19] présente un phénomène dans l'échelle planétaire[18].

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

I.5.2. L'échelle synoptique

En météorologie, les phénomènes atmosphériques de l'échelle synoptique ont des dimensions dont l'ordre de grandeur est de quelques milliers de kilomètres pour les dimensions horizontales, Quelques kilomètres pour la dimension verticale et quelques jours pour la durée. La figure (7)[20] illustre un phénomène dans l'échelle synoptique. [18]



Figure (7) Phénomène de cyclone dans l'échelle synoptique

On y retrouve les dépressions, les anticyclones et les aérosols présents dans l'air (pollution atmosphérique, sable transporté par le vent ...). [18]

À l'échelle synoptique, la vitesse horizontale moyenne des particules atmosphériques est de 10 m/s environ tandis que la vitesse verticale est à peine de l'ordre de 1cm/s. en deçà de l'échelle synoptique, on retrouve une échelle légèrement plus restreinte, il s'agit de l'échelle synoptique. Celle-ci est utilisée principalement pour les cyclones tropicaux[18].

I.5.3. Mésos-échelle

La méso-échelle décrit les phénomènes qui se déroulent sur une échelle plus petite que l'échelle synoptique. Elle se définit par les dimensions horizontales des phénomènes qui varient de 2 km à 2000 km. Leur durée varie entre quelques heures jours. Cette échelle prend en compte des phénomènes tels que les vents régionaux. [21]

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

La méso-échelle se distingue en trois sous-catégories selon le diamètre et la durée du phénomène étudié : méso-gamma (2-20 kilomètres / 2-30 minutes),

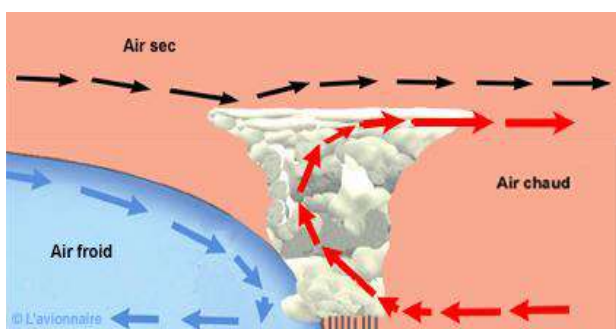


Figure (8) Phénomène de fronts dans la méso-échelle



Figure (9) Phénomène de nuage cumuliforme dans l'échelle aérologique

méso-beta (20-200 kilomètre/30 minutes – 6heures) et méso-alpha (200-2000 kilomètre / 6 heures à 2 jours).

Le phénomène de fronts dans la méso-échelle voir la figure (8)[21].

Dans le cadre de la prévision météorologique la méso-échelle est utilisée par les modèles à mailles fines qui bénéficient d'une plus grande précision pour analyser des phénomènes dans des espaces plus restreints (pays, régions). [21]

I.5.4. L'échelle aérologique

Elle concerne tout phénomène ayant des dimensions horizontales de 1 – 10 km et d'une durée de vie de l'ordre de l'heure. Un nuage cumuliforme, un orage, une tornade relèvent de cette catégorie, la figure (9)[22] schématise un phénomène météorologie dans l'échelle aérologique.

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

I.5.4. Micro-échelle ou échelle turbulente

Cette échelle est utilisée en météorologie et en océanographie pour désigner ce qui se passe au moins de deux kilomètres avec une durée de quelques secondes à une dizaine de minutes seulement. La micro-échelle intervient pour l'étude de phénomènes dont l'échelle est assez petite comme les remous observés dans l'écoulement atmosphérique à cause de la rugosité du sol et du frottement occasionné (rafales de vent) voir la figure (10)[23]. Ou encore la formation de grêle



Figure (10) Phénomène de vent sable dans le cadre de micro échelle

dans un orage et la formation d'une tornade par exemple.[18]

La séparation en échelles n'est qu'une « vue de l'esprit ». En fait, toutes les échelles interagissent. Par ex, un phénomène modifie son environnement ce qui va modifier le phénomène et donc à nouveau, modifier son environnement. De même, les petites structures, dépendent du phénomène, mais elles finissent par le modifier également. Comme le montre le tableau (2).

En réalité, l'atmosphère est tellement complexe, qu'il faut tenir compte des processus à toutes les échelles pour obtenir une vision correcte des phénomènes atmosphériques[24].

Chapitre I : Recherche bibliographique sur le climat

Échelle	Dimension spatiale	Dimension temporelle	Phénomènes météorologiques
Plantaire	10 000 km	>1 semaine	Circulation de Hadley Moussons
synoptique	1000 km – 100 km	Quelques jours	Dépressions et anticyclones Cyclones tropicaux
Méso-échelle	100 km – 10 km	1 jour	Vents régionaux Brises thermiques Lignes de graine
Échelle aérologique	10 km - 100 m	Quelques heures	Orage isolés Tornades Convection thermique
Micro-échelle	m	Seconde, minute	Rafales Tourbillons de poussière

Tableau (2) les différentes caractéristiques de chaque échelle [17]

Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre l'atmosphère terrestre et les deux couches qui sont concernés beaucoup plus aux phénomènes météorologiques d'autre part ont été voir aussi les paramètres météorologiques la pression atmosphérique, la pression, la température etc.

Ensuite, nous avons présenté des échelles météorologiques utilisés pour étudier les phénomènes météorologiques et chaque échelle et son efficacité.

Nous parlerons dans le chapitre suivant sur le rayonnement solaire et ses caractéristiques et la source et la nature, on plus l'intensité de rayonnement.

CHAPITRE II

*Généralités sur le
gisement*

Solaire

II.1. Introduction

Dans l'étude de climat d'une zone on s'intéresse à l'énergie solaire qui joue un rôle principal pour définir le climat de la zone. On sait que l'énergie solaire est origine du rayonnement solaire. Il serait tout d'abord intéressant de connaître quelques notions sur le rayonnement solaire (caractéristique, nature, intensité...), les différents phénomènes physiques qui seront sujets à ce rayonnement, la structure de l'atmosphère et ces effets sur le rayonnement solaire. Ainsi, la connaissance de ces divers paramètres permet d'établir un bilan radiatif du système terre-atmosphère.

II.2. La source de rayonnement solaire

La principale source d'énergie dont nous disposons est le soleil, qui est situé à environ 150 millions de kilomètres de la terre, il émet de manière isotrope un rayonnement qui peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un corps noir (parfaitement émissif et parfaitement absorbant) à 5800°k. Ce rayonnement se propage dans l'espace sous forme d'onde électromagnétique, il atteint la terre après environ huit minutes de son émission[25].

Il émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variante de 0,22 à 10 micromètres (μm). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi [1,2] ; 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$), 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$), 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$). Le rayonnement solaire émet en direction de la terre est intercepté par son atmosphère, à ces frontières une certaine quantité de rayonnement solaire où des photons sont absorbés, une certaine quantité est reflétée de nouveau dans l'espace, et une partie la traverse. Passant par l'atmosphère, le faisceau solaire subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite de phénomènes complexes d'absorption, diffusion et de dispersion par les gaz, les aérosols, poussières et les gouttelettes d'eau en suspension dans les nuages etc. De ce fait le rayonnement solaire atteint le sol sous différentes formes à savoir le rayonnement dispersé atteignant la surface de la terre désignée sous le nom du rayonnement diffus, le rayonnement direct provenant directement du disque solaire sans subir des modifications et également le rayonnement reflété par la terre à différentes longueurs d'onde dues à la température de sa surface. Le rayonnement réfléchi par la surface terrestre est renvoyé dans une direction privilégiée (réflexion dite

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

spéculaire) ou de manière diffuse. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope. La quantité d'énergie transportée par le rayonnement solaire à la surface terrestre dépend de certaines considérations géométriques dues au mouvement apparent du soleil et aux

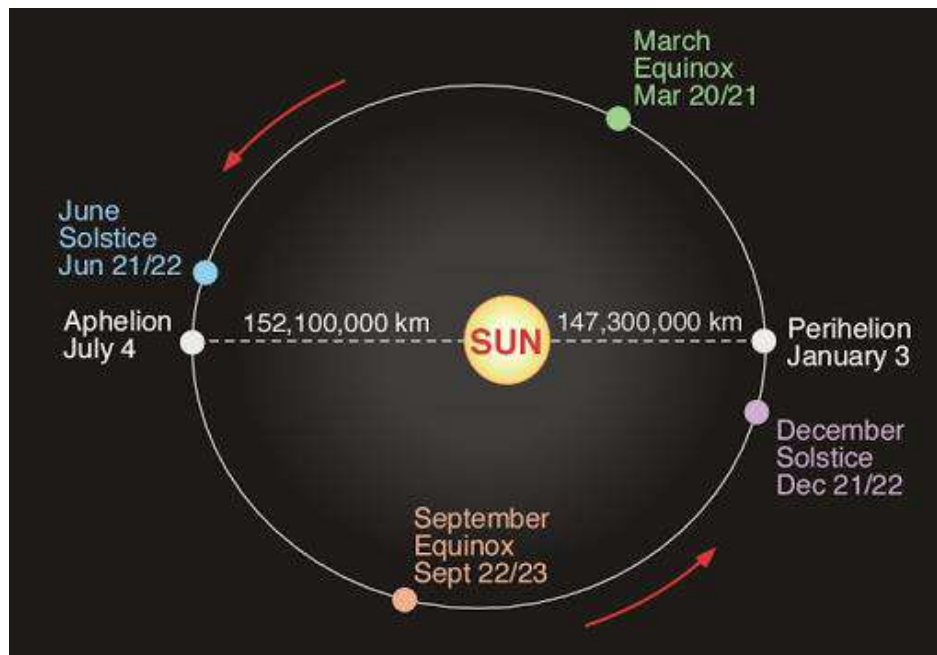


Figure (11) Rotation de la Terre autour de soleil

mouvements de la terre[26][14]. Voir la figure (11)[27] ci-dessus.

II.2.1. Constante solaire

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère, sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire C a été estimée à 1367 W/m^2 par Claus Fröhlich et Christoph Wehrli du Centre radiométrique mondial de Davos (Suisse), avec une incertitude de l'ordre de 1%. Cette valeur a été adoptée par la commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) en octobre 1981. En première approximation, par l'équation (2.2.), on peut calculer sa valeur en fonction du numéro du jour de l'année n par[28][29]:

$$G_o = 1367(1 + 0.033 \cos(0.9856 * n)) \text{ W/m}^2 \quad (2)$$

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

n : représente le numéro du jour de l'année compté à partir du premier janvier

G_0 : la constante solaire

II.2.2. Masse d'air

Le rayonnement solaire traversant l'atmosphère au cours de la journée dépend de la position relative du soleil dans le ciel, pour tenir compte de cette position qui modifie l'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons lumineux, on définit un coefficient m appelé masse atmosphérique ou nombre masse d'air défini par[28][29] :

$$m = \frac{P}{1013 \sin A} \exp\left(-\frac{Z}{7.8}\right) \quad (3)$$

7.8 Km : L'épaisseur verticale moyenne standard de l'atmosphère

$Z \text{ Km}$: L'épaisseur de l'atmosphère traversée par le rayonnement solaire

P : pression atmosphérique $\frac{N}{m^2}$

A : élévation du soleil en degré.

II.3. Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de

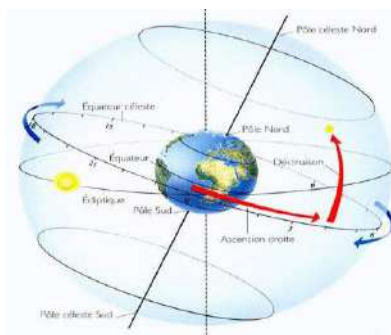


Figure (12) Sphère céleste

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps, comme le montre la figure (12)[30][31].

II.4. Coordonnées Célestes

II.4.1. Coordonnées géographiques

Ces coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre comme le

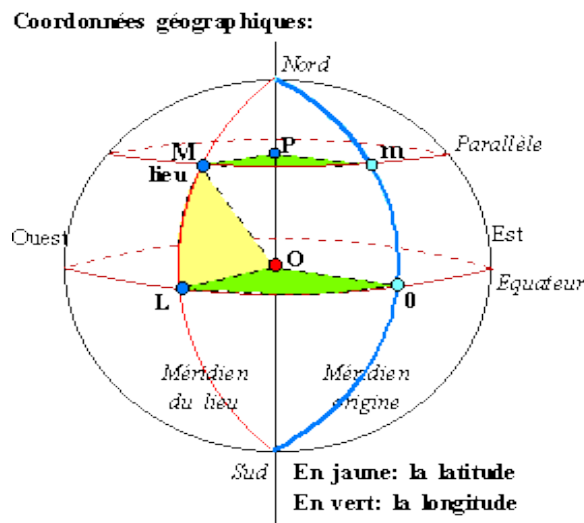


Figure (13) Coordonnées géographiques

montre la figure (13)[32].

II.4.1.1. L'attitude φ :

C'est l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction reliant le centre de la terre au point considéré. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et la pole sud par la latitude -90° .

II.4.1.2. Longitude λ :

C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. On a choisi pour méridien (origine 0°), le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) le méridien situé à l'est de ce méridien, et du signe (-) le méridien situé à l'ouest.

II.5. Calcul de la radiation solaire

II.5.1. Paramètres influençant le rayonnement solaire

Par évidence l'atmosphère influence le rayonnement solaire, mais d'autres facteurs majeurs agissant sur le rayonnement solaire reçu à la surface de la terre, il est bien établi que la terre est en rotation autour du soleil dans une orbite elliptique dont le soleil occupe l'un de ces foyers. Le plan contenant cette orbite est appelé plan écliptique, cette rotation induit l'alternance des saisons au cours de l'année ainsi que la distance terre soleil D varie selon relation[33] :

$$D = 1.510^{11} \left[1 + 0.017 \sin \left(\frac{360(n-93)}{365} \right) \right] m \quad (4)$$

n : représente le numéro du jour de l'année compté à partir du premier janvier

Sa rotation autour de son propre axe polaire, qui donne naissance au cycle jour et nuit, l'axe polaire est incliné d'un angle δ oscille entre -23.45 et 23.45 avec le plan écliptique, cette inclination a pour effet la présence des saisons et également la cause des plus longues ou plus courtes heures de lumière au fil des saisons. Cet angle est appelé déclinaison solaire, qui est calculé à n'importe quel jour de l'année par l'expression suivante[33][28] [29][34] :

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360(n+284)}{365} \right) \text{deg } ré \quad (5)$$

n : représente le numéro du jour de l'année compté à partir du premier janvier

II.5.2. La Position du Soleil

Pour un lieu donné, la position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux référentiels différents, grâce à deux plans, plan horizontal du lieu et le plan équatorial de la terre.

II.5.2.1. Coordonnées équatoriales

Dans ce référentiel le soleil est localisé au moyen de deux angles voir la figure (14)[14], la déclinaison solaire donnée à l'équation (5) et l'angle horaire défini par [34]:

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

$$\Omega = 15(TSV - 12) \quad (6)$$

$$TSV = TL - GMT + \left(\frac{Et + 4\lambda}{60} \right)$$

$$Et = 9.87 \sin 2N - 7.35 \cos N - 1.5 \sin N \quad (7)$$

$$N = \frac{360}{365}(n - 81) \quad (8)$$

GMT : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich

TSV : Temps solaire vrai TL

TL : Temps légal (donnée par une montre)

Et : L'équation de correction du temps

λ : Longitude du lieu

L'angle horaire Ω varie de -180° à $+180^\circ$, il prend la valeur nulle à midi TSV, négative durant

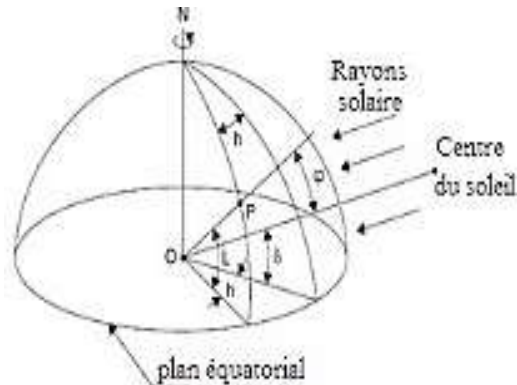


Figure (14) Référentiel plan équatorial

la période avant midi TSV et positive après.

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

II.5.2.2. Coordonnées horizontales

Pour déterminer la position de soleil qui est repéré par rapport au plan horizontal du lieu d'altitude φ , par deux angles, la hauteur et azimut du soleil[14].

II.5.2.2.1 La hauteur de soleil

Pour calculer la hauteur du soleil qui s'intéresse à l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal du lieu. La hauteur de soleil évolue à chaque instant de la journée selon l'expression (9) suivante[14] :

$$\sinh = \cos \delta \cos \varphi \cos \Omega + \sin \delta \sin \varphi \quad (9)$$

La hauteur h il varie entre deux valeurs -90° et $+90^\circ$, il prend la valeur nulle au lever du soleil et aussi au coucher du soleil, la valeur de h elle est positive dans le jour et négative à la nuit[35].

II.5.2.2.2 Distance zénithale (angle zénithal)

La distance zénithale ou angle zénithal, c'est l'angle que fait la direction du soleil avec le vertical du lieu[14][36] :

$$\cos \theta_z = \sinh \quad (10)$$

II.5.2.2.3 Azimut du soleil

Azimut du soleil est défini par l'angle que fait la projection de la direction du rayonnement solaire avec la direction sud du lieu [14]:

$$\sin \alpha = \frac{\sin \Omega \cos \delta}{\cosh} \quad (11)$$

L'azimut oscille entre -180 et $+180$, l'angle α pris des valeurs positives vers l'Ouest, négatives

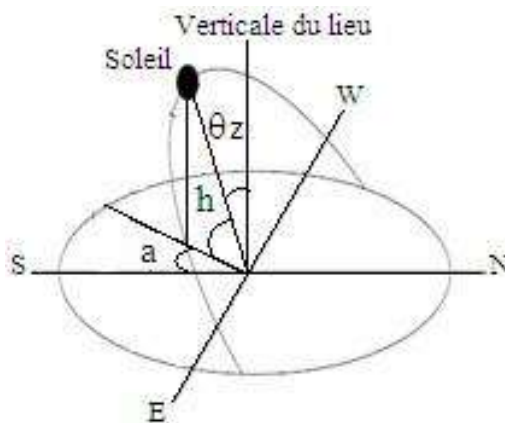


Figure (15) référentiel, Plan horizontal du lieu

vers l'Est et nulle en direction vers le Sud[14], voir la figure (15)[14]

II.5.2.2.4 Durée du jour

La durée du jour présente la durée scindant l'heure solaire du lever de soleil et du coucher, qui s'obtient en écrivant $\sin h = 0$, ce qui conduit à[14] :

$$\Omega l = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (12)$$

L'heure solaire du lever a donc pour valeur[14] :

$$TSL = 12 - \frac{\Omega l}{15} \quad (13)$$

L'angle horaire au coucher du soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc[14] :

$$\Omega c = -\Omega l \quad (14)$$

L'équation de durée du jour sous la forme suivante [14]: $Dj = \frac{2\Omega l}{15} \quad (15)$

II.6. Les composantes du Rayonnement solaire

II.6.1. Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le flux solaire incident directement sur le plan considéré sous un angle représentant la hauteur solaire. il est nul quand le soleil est occulté par les nuages[36][37].

II.6.2. Rayonnement diffus

Le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension comme le montre la figure (16)[38].

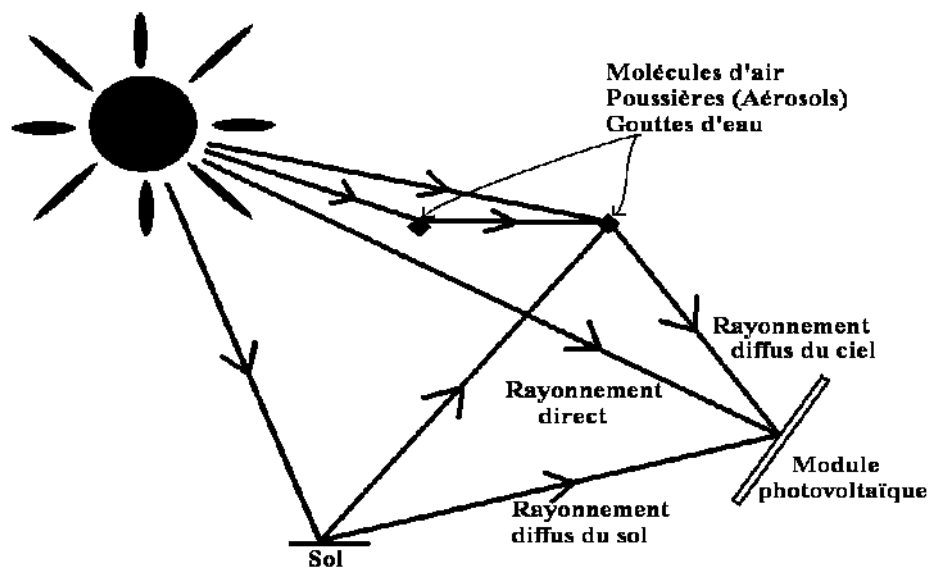


Figure (16) Chemins suivis par le rayonnement solaire

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

Donc le rayonnement diffus est le flux solaire reçu par un plan considéré qui traverse les nuages, provenant de la voûte céleste dans toutes les directions dans sa traversée de l'atmosphère[31][38].

II.6.3. Rayonnement global

C'est le total des rayonnements qui entrant à la terre donc c'est la somme de rayonnement diffus et

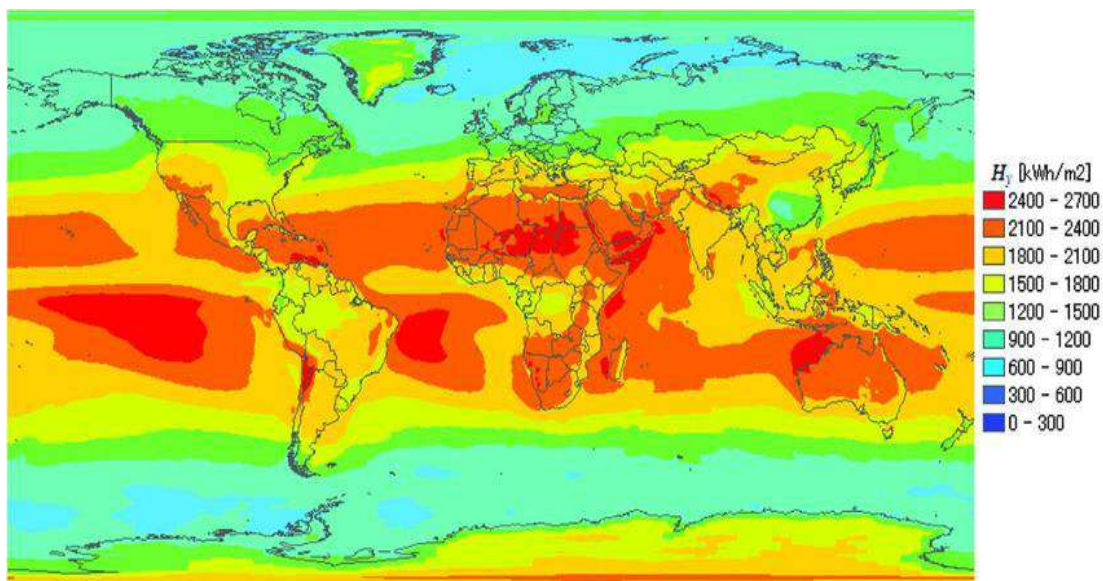


Figure (17) Le Carte du rayonnement solaire global (pubs.acs.org, NASA)

rayonnement direct. Comme le montre la figure (17)[39] :

II.7. Rayonnement solaire sur un plan horizontal et sur un plan incliné

II.7.1. Plan horizontal

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme du rayonnement direct et diffus donné par [40][41]:

$$G = S + D \quad (16)$$

Où

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

S: le rayonnement direct reçu par une surface horizontale.

D: le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale.

G: le rayonnement global reçu par une surface horizontale.

II.7.1.1. Rayonnement solaire direct sur un plan horizontal

Le rayonnement solaire direct reçu sur un plan horizontal peut être déterminé par:

$$S = F * \sin(h) \quad (17)$$

Avec $\sin(h)$ est évalué par l'expression (9)

Où F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires et peut être évalué Par :

$$F = E_{sol} * Exp(T_l / (0.9 + 9.4 \sin(h))) [w / m^2] \quad (18)$$

Avec $E_{sol} = 1370 [w / m^2]$ et TL le facteur de trouble de Linke défini comme suit :

$$TL = 2.4 + 14.6B + 0.4(1 + 2B) \ln(P_v) \quad (19)$$

Où B est le coefficient de trouble atmosphérique qui prend une des valeurs[31] :

B = 0.02 pour un lieu situé en montagne

B = 0.05 pour un lieu rural

B = 0.10 pour un lieu urbain

B = 0.20 pour un lieu industriel (atmosphère polluée)

P_v est la pression partielle de vapeur d'eau, qui se calcule par :

$$P_v = P_{vs} * HR \quad (20)$$

P_{vs} : c'est la pression de vapeur saturante.

HR : le taux moyen d'humidité relative.

$$P_{vs} = 2.165 * (1.098 + T / 100)^{8.02} \quad (21)$$

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

T : la température de l'air en °C.

II.7.1.2. Rayonnement diffus sur un plan horizontal

Le rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal peut être déterminé par :

$$D = 54.8\sqrt{\sin(h)} * (TL - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}) \quad (22)$$

TL : le facteur de trouble de Linke, l'équation (19).

II.7.2. Plan incliné

Généralement, sous diverses conditions les capteurs solaires sont installés suivant une inclinaison et une orientation fixes. Cette dernière est choisie vers le sud ou le nord, suivant la situation géographique du site considéré par rapport à l'équateur. Ceci étant, pour que les capteurs puissent absorber le maximum d'énergie au voisinage du midi, temps solaire vrai (TSV), là où la hauteur du soleil est au zénith et les valeurs de l'éclairement solaire sont maximales. Par ailleurs, pour pouvoir répondre aux besoins énergétiques et optimiser le rendement global du système, le champ de capteurs doit d'une part avoir une surface suffisante et d'autre part des caractéristiques thermomécaniques devant être les meilleurs possibles ainsi de capter le maximum d'énergie

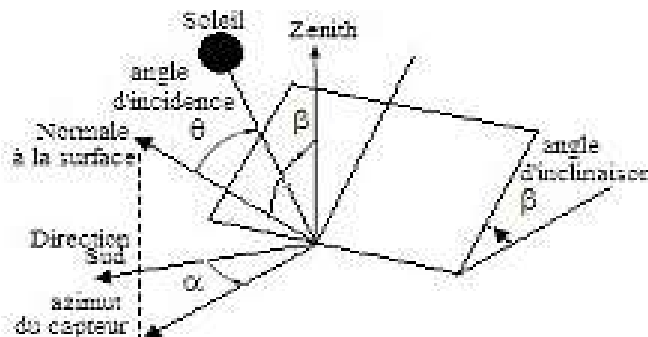


Figure (18) Plan incliné

solaire durant la journée[31] , comme le montre la figure (18)[14]

Les paramètres permettant de satisfaire cette dernière condition sont l'inclinaison et l'orientation du champ de capteurs. Une des meilleures solutions proposées, c'est d'orienter le champ de capteurs vers le sud (hémisphère nord) et d'incliner sa structure suivant un angle optimal pré calculé pour le site considéré. Par conséquent, les concepteurs de système ont besoin

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

des données de l'ensoleillement solaire sur les surfaces inclinées; mesurées ou estimées les données de l'éclairement solaire, cependant, sont la plupart du temps disponibles sur les surfaces normales ou sur les surfaces horizontales. Par conséquent, on a un besoin de convertir ces données sur les surfaces inclinées[14][42].

II.7.2.1. Rayonnement direct sur un plan incliné

Quand le rayonnement solaire direct arriver à la terre avec un angle d'incidence θ c'est l'angle qui est formé entre la direction du soleil et le normal à la surface inclinée du capteur. L'angle d'incidence θ a un effet primordial et une incidence directe sur la quantité d'ensoleillement reçue sur la surface collectrice. Cet angle peut être déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayonnement incident et la normale du plan incliné en coordonnées horizontale du lieu, cet angle dépend des paramètres de la position du soleil et de l'angle d'inclinaison du capteur[14][39]. Il est défini par :

$$\cos \theta = \cos \beta \sin h - \sin \beta \cos h \cos(\alpha - a) \quad (23)$$

Les angles α , β , a et h sont respectivement l'azimut du capteur, l'angle d'inclinaison, l'azimut du soleil et sa hauteur dans le ciel par rapport au plan horizontal du lieu. Pour calculer le rayonnement solaire sur un plan incliné fixe, les angles d'inclinaison (β) et d'orientation (α) sont choisis suivant le cas étudié et remplacés dans l'équation.

II.7.2.2. Rayonnement diffus sur un plan incliné:

Le rayonnement solaire diffus D arrive sur le plan récepteur incliné après avoir été diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère, il n'a pas de direction privilégiée, que ce fait, l'orientation du plan (l'azimut) n'a pas d'importance, seule son inclinaison (β) la formule de rayonnement diffus soit :

$$D = 125 * \sin(h)^{0.4} ((1 + \cos(\beta)) / 2 + 211.86 \sin(h)^{1.22} ((1 - \cos(\beta)) / 2) \left[W / m^2 \right] \quad (24)$$

Le rayonnement diffus pour un plan incliné fixe est un cas particulier du rayonnement diffus pour un plan incliné mobile, l'inclinaison (β) doit être prédéfinie.

II.8. Modèle de Perez

Le modèle de Perez est un modèle qu'a créé par Le Centre de recherche en sciences atmosphériques de l'Université d'État de New York à Albany (ASRC) a été retenu par les Sandia National Laboratoires (SNLA) en 1986 pour développer et effectuer une validation complète de l'algorithme d'irradiance de pente proposé par **Perez et al.** Cet algorithme, maintenant appelé modèle Perez, tient compte de l'anisotropie de l'irradiance diffuse du ciel pour prédire l'irradiance sur les surfaces inclinées. Il s'agit d'une composante du programme de simulation photovoltaïque de SNLA, PVFORM. L'objectif principal de ce programme était de répondre aux questions restantes sur la dépendance du modèle par rapport au site et d'élaborer, au besoin, différentes versions du modèle pour des environnements particuliers [43].

II.8.1. Le principe de modèle de Perez

Le modèle de Perez et al (1990) est basé sur trois composantes.

L'équation de Perez est :

$$I_d(\beta) = I_d \left[(1 - F_1) \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) + F_1 \left(\frac{a_0}{a_1} \right) + F_2 \sin \beta \right]$$

$$a_0 = \max[0; \cos \theta_i] \quad ; \quad a_1 = \max[\cos 85^\circ, \cos \theta_z]$$

Perez a formulé un algorithme unique qui couvre l'ensemble des conditions du ciel[42][44]. Il a introduit deux paramètres caractérisant les conditions climatiques du ciel qui sont :

II.8.2. La clarté TL

La clarté TL (indice de clarté) représente les variations liées à la couverture nuageuse sur site. Il est déterminé à partir des mesures du rayonnement global horizontal.

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

$$TL = \frac{I_d + I_{bn} + 5,535.10^{-6} \theta_Z^3}{1 + 5,535.10^{-6} \theta_Z^3} \quad (25)$$

I_d : C'est le rayonnement diffus horizontal.

I_{bn} : C'est le rayonnement direct normal.

θ_Z : C'est l'angle azimutal en degrés ($\theta_Z = 90 - h$) h est la hauteur du soleil.

II.8.3. La luminosité

La luminosité représente le caractère rayonnement diffus du ciel lumineux du ciel :

$$\Delta = m \frac{I_d}{I_{bne}} \quad (26)$$

m : Masse d'air optique.

I_{bn} : Rayonnement direct normal hors atmosphère.

F_1 Et F_2 : Elles sont donnés par des tables.

$$F_1 = \max \left[0, \left\{ F_{11} + F_{12} \Delta + \left(\frac{\pi}{180} \right) \theta_Z F_{13} \right\} \right] \quad (27)$$

$$F_2 = F_{21} + F_{22} \Delta + \left(\frac{\pi}{180} \right) \theta_Z F_{23} \quad (28)$$

Perez classifie les divers ciels en huit catégories basées sur l'indice de clarté TL de 1.000 à 1.065 pour ciel couvert (rayonnement direct nul) ; au-delà de 6.200 pour un ciel sans nuages et entre les valeurs extrêmes on a des états de ciels nuageux voir tableau ci-dessous[44].

Chapitre II : Généralités sur le gisement solaire

Tableau (3) Coefficients F_{ij} de Perez[44]

ε	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{21}	F_{22}	F_{23}
1-1.065	-0.196	1.084	-0.006	-0.114	0.180	-0.019
1.065-1.230	0.236	0.519	-0.180	-0.011	-0.020	-0.038
1.230-1500	0.454	0.321	-0.255	0.072	-0.098	-0.046
1500-1.950	0.866	-0.381	-0.375	0.203	-0.403	-0.049
1.950-2800	1.026	-0.711	-0.426	0.273	-0.602	-0.061
2800-4500	0.978	-0.986	-0.350	0.280	-0.915	-0.024
4500-6200	0.748	-0.913	-0.236	0.173	-1.045	0.065
6200-	0.318	-0.757	0.103	0.062	-1.698	0.236

Trois types sont définis pour caractériser l'état de ciel basant sur cet indice:

- Type A: $0 < TL < 0.35$;
- Type B: $0.35 < TL < 0.75$;
- Type C : $TL > 0.75$;

Type A représenté des journées entièrement ensoleillées. Tandis que le type B correspond à des journées partiellement ensoleillées, et enfin les journées complètement nuageuses transformant plus de 90% du rayonnement solaire global incident en rayonnement diffus sont représentées par le type C.

Le modèle de Perez qu'a été présenté, est basé sur trois idées de base :

- ✓ une représentation géométrique de la coupole du ciel incorporant l'éclairement variable de l'atmosphère circum- solaire et de l'horizon.
- ✓ une description partielle des conditions d'insolation, sur la base des quantités radiatives disponibles.
- ✓ une loi dérivée expérimentalement qui régit les variations du circum-solaire et de l'horizon éclairant avec les conditions d'insolation[42][25].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le gisement solaire : le rayonnement solaire (global, direct et diffus) .Dans le prochain chapitre, nous choisissons les études de cas et les logiciels de simulations climatiques.

CHAPITRE III

*Présentations des études
de cas*

*Et les logiciels de
simulation climatique*

III.1. Introduction :

L'Algérie est située au centre du continent Nord-Africain, avec une superficie de 2.381.741 km², près de 1200 km de côtes sur la mer Méditerranée, elle est bordée à l'Est par la Tunisie, au Sud-Est par la Libye, au Sud par le Niger et le Mali, au Sud- Ouest par la Mauritanie et à l'Ouest par le Sahara Occidental et le Maroc.

Le relief algérien se compose de deux principales chaînes montagneuses : l'Atlas tellien et l'Atlas saharien : ce sont deux ensembles parallèles qui parcourent le pays d'Ouest en Est, elles se rapprochent au centre du pays jusqu'à presque se confondre vers l'extrême Est à la frontière de la Tunisie. Ces deux chaînes constituent des frontières naturelles entre lesquelles s'intercalent de vastes plaines et hauts plateaux. L'Algérie possède un gisement solaire non négligeable, elle est classée parmi les zones privilégiées pour les applications des systèmes solaires. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2500 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national[31][12][25]. Pour effectuer cette étude on a choisi 6 zones pour étudier la surface de la zone et pour des résultats très spécifiques ce sont :

- ✓ Zone de Tamanrasset
- ✓ Zone de Tlemcen
- ✓ Zone de Sétif
- ✓ Zone de Ghardaïa
- ✓ Zone d'Alger

On a choisi les zones d'études suivant les caractéristiques météorologiques et le type de climat et ça dépend le lieu de zone on a sélectionné 2 zones pour chaque type de climat :

- ✓ type méditerranéen
- ✓ type semi-aride
- ✓ type désertique

III.2. Présentations des zones d'études

III.2.1. Zone de Tamanrasset

III.2.1.1. Situation géographique

Tamanrasset est une vaste terre aride, au milieu du Sahara algérien, les coordonnées géographiques pour Tamanrasset sont 22,785° de latitude, 5,523° de longitude et 1380 m d'altitude. Sa superficie est de 556 200 km² la topographie dans les 3 kilomètres entourant Tamanrasset ne présente que des variations légères de l'altitude, avec une variation maximum de l'altitude de 61 mètres et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 1378 mètres. Dans les 16 kilomètres, légères variations de l'altitude uniquement (900 mètres). Dans les 80 kilomètres, variations considérables de l'altitude (2 079 mètres). La région dans un rayon de 3 kilomètres de Tamanrasset est couverte par des surfaces artificielles (56 %) et de sol nu (44 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des de sol nu (94 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par de sol nu (98 %)[45].

Elle est la capitale du Hoggar, Située à L'extrême sud du pays à 1 900 km au sud d'Alger[46], la wilaya de Tamanrasset est limitée par :

- ✓ La Wilaya de Ghardaïa au Nord
- ✓ La wilaya d'Ouargla au Nord Est
- ✓ La Wilaya d'Illizi à L'Est
- ✓ La Wilaya d'Adrar à l'Ouest
- ✓ La République du Mali au Sud-est
- ✓ La République du Niger au Sud-ouest

III.2.1.2. Météo habituelle à Tamanrasset

À Tamanrasset, voir figure (19)[47], les étés sont longs et caniculaire, les hivers sont courts et frais et le climat est sec et dégagé dans l'ensemble tout au long de l'année. Au cours de l'année, la température varie généralement de 5 °C à 36 °C et est rarement inférieure à 2 °C ou supérieure à 38 °C [46][45].

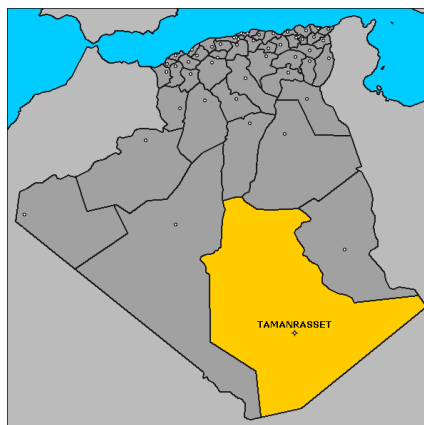


Figure (19) Site de Tamanrasset

III.2.2. Zone de Tlemcen

III.2.2.1. Situation géographique

Le site de Tlemcen est situé sur le littoral Nord-ouest du pays et dispose d'une façade maritime de 120 km. C'est un lieu frontalier avec le Maroc, avec une superficie de 9 017,69 km². Il est située à 432 km à l'Ouest de la capitale, Alger. Les coordonnées géographiques pour Tlemcen sont 34,878° de latitude, -1,315° de longitude et 787 m d'altitude.

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Tlemcen présente des variations considérables de l'altitude, avec une variation de l'altitude de 607 mètres maximum et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 850 mètres. Dans les 16 kilomètres, variations considérables de l'altitude (1 363 mètres). Dans les 80 kilomètres, présente également des variations extrêmes de l'altitude (1 844 mètres). La région dans un rayon de 3 kilomètres de Tlemcen est couverte par des surfaces artificielles (68 %) et des terres cultivées (23 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des terres cultivées (60 %) et des pâturages (12 %) et dans un rayon

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

de 80 kilomètres par des terres cultivées (42 %) et une végétation éparse (23 %)[45].la wilaya de Tlemcen est limité par :

- ✓ La Méditerranée au nord
- ✓ Maroc à l'ouest
- ✓ La wilaya de Naâma au sud
- ✓ Les wilayas de Sidi-Bel-Abbès et Ain Témouchent à l'est

III.2.2.2. Météo habituelle à Tlemcen

À Tlemcen la figure (20)[48], les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont longs, frisquet, venteux et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 2 °C à 32 °C et est rarement inférieure à -2 °C ou supérieure à 36 °C.



Figure (20) Site de Tlemcen

à 36 °C.

III.2.3. Zone de Sétif

III.2.3.1. Situation géographique

La wilaya de Sétif situé à l'est d'Algérie avec une superficie de 6504 km², les coordonnées géographiques pour Sétif sont 36,191° de latitude, 5,414° de longitude et 1 054 m d'altitude.

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Sétif présente des variations importantes de l'altitude, avec une variation de l'altitude de 164 mètres maximum et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 1 071 mètres. Dans les 16 kilomètres, variations importantes de l'altitude (799 mètres). Dans les 80 kilomètres, variations considérables de l'altitude (2 003 mètres).

La région dans un rayon de 3 kilomètres de Sétif est couverte par des surfaces artificielles (79 %) et des terres cultivées (17 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des terres cultivées (68 %) et une végétation éparse (13 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par des terres cultivées (46 %) et une végétation éparse (20 %). la wilaya de Sétif est limité par :

- ✓ Wilaya de Bejaïa, Wilaya de Jijel au nord
- ✓ Wilaya de Bordj-Bou-Argeridj au l' ouest
- ✓ Wilaya de Mila à l'est
- ✓ Wilaya de M'Sila, Wilaya de Batna au sud

III.2.3.2. Météo habituelle à Sétif

À Sétif la figure (21)[49], les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont longs, très froid et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie



Figure (21) Site de Sétif

généralement de 1 °C à 33 °C et est rarement inférieure à -2 °C ou supérieure à 37 °C.

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

III.2.4. Zone de Ghardaïa

III.2.4.1. Situation géographique

La ville de Ghardaïa située dans le Nord du Sahara algérien à 600 km au sud d'Alger, Les coordonnées géographiques pour Ghardaïa sont 32,384° de latitude, 3,794° de longitude et 452 m d'altitude. La topographie dans les 3 kilomètres entourant Ghardaïa ne présente que des variations légères de l'altitude, avec une variation maximum de l'altitude de 77 mètres et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 452 mètres. Dans les 16 kilomètres, légères variations de l'altitude uniquement (223 mètres). Dans les 80 kilomètres, variations importantes de l'altitude (563 mètres). La région dans un rayon de 3 kilomètres de Ghardaïa est couverte par de sol nu (100 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des de sol nu (99 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par de sol nu (100 %)[25].

La wilaya de Ghardaïa est située au centre de la partie Nord du Sahara algérien, elle est délimitée :

- ✓ la wilaya de Laghouat au nord.
- ✓ la wilaya de Djelfa au nord-est.
- ✓ La wilaya d'Ouargla.
- ✓ La wilaya de Tamanrasset au sud.
- ✓ La wilaya d'Adrar au sud-ouest.
- ✓ La wilaya d'El Bayadh à l'ouest.

III.2.5.2. Météo habituelle à Ghardaïa

À Ghardaïa la figure(22)[50], les étés sont caniculaires, aride et dégagé et les hivers sont



Figure (22) Site de Ghardaïa

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

frisquets, sec et dégagé dans l'ensemble. Au cours de l'année, la température varie généralement de 6 °C à 40 °C et est rarement inférieure à 3 °C ou supérieure à 44 °C.

III.2.5. Zone d'Alger

III.2.5.1. Situation géographique

Alger (voir la figure (23)[51]) c'est la capitale d'Algérie, elle est située en nord de pays avec une superficie de 1 190 km², les coordonnées géographiques pour Alger sont 36,752° de latitude, 3,042° de longitude et 149 m d'altitude.

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Alger présente des variations très importantes de l'altitude, avec une variation de l'altitude de 286 mètres maximum et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 153 mètres. Dans les 16 kilomètres, elle présente également des variations très importantes de l'altitude (405 mètres). Dans les 80 kilomètres, variations très importantes de l'altitude (1 628 mètres).

La région dans un rayon de 3 kilomètres de Alger est couverte par des surfaces artificielles (94 %), dans un rayon de 16 kilomètres par des de l'eau (40 %) et des surfaces artificielles (35 %) et dans un rayon de 80 kilomètres par de l'eau (52 %) et des terres cultivées (27 %).

- ✓ Mer Méditerranée au nord
- ✓ Tipaza à l'Ouest
- ✓ Boumerdès à l'Est
- ✓ Blida au sud



Figure (23) Site d'Alger

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

III.2.5.2. Météo habituelle à Alger

À Alger, les étés sont chauds, lourds, secs et dégagés dans l'ensemble et les hivers sont longs, frisquets, venteux et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 6 °C à 30 °C et est rarement inférieure à 2 °C ou supérieure à 34 °C[45].

III.3. Les logiciels de simulation climatique

III.3.1. Logiciel METEONORM

METEONORM est un recueil très complet de données météorologiques. Il contient également des algorithmes permettant de créer – à partir des valeurs mesurées – des fichiers météo depuis n'importe quel endroit sur le globe. Ce logiciel s'adresse aux ingénieurs, architectes, enseignants, concepteurs et toute personne qui s'intéresse à l'énergie solaire et à la climatologie en général.

À partir des valeurs mensuelles (données de la station, les données interpolées ou données importées), le module METEONORM (voir la figure (24)[52]) calcule les valeurs horaires de tous les paramètres en utilisant un modèle stochastique. La série de temps résultant correspond

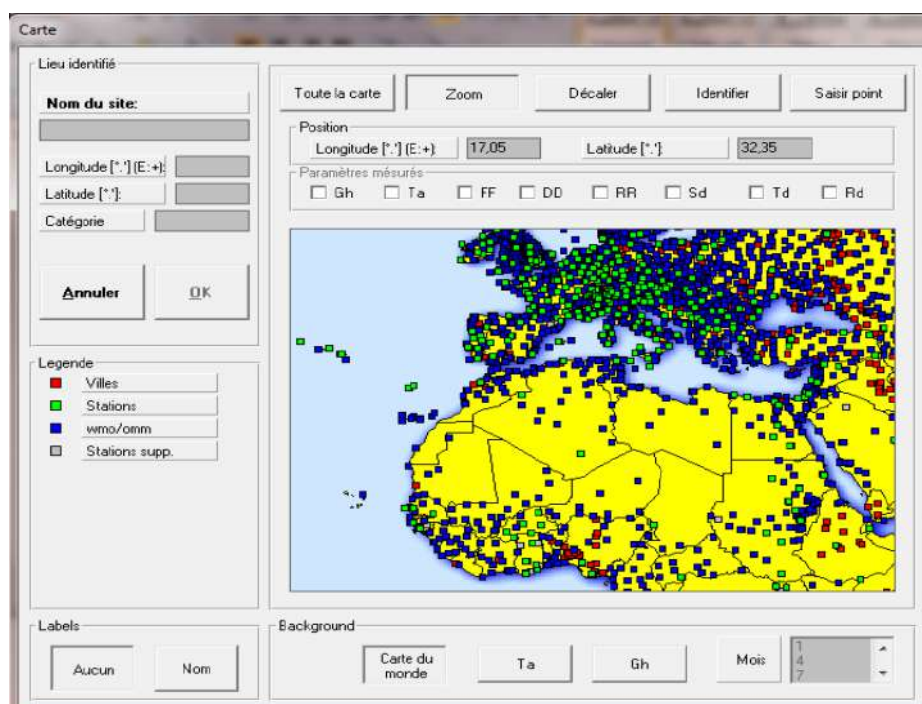


Figure (24) Différentes stations météorologiques dans le monde sur le logiciel Meteonorm

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

aux «années typiques» utilisées pour la conception du système[53].

Les paramètres suivants sont aussi obtenus:

- ✓ Azimut solaire et d'élévation
- ✓ Rayonnement planétaire, diffus et faisceau ainsi que le rayonnement sur les plans inclinés
- ✓ Rayonnement de grande longueur d'onde
- ✓ Intensité lumineuse
- ✓ Spectres UVA / UVB, rayonnement érythémateuse
- ✓ Précipitations, pluie battante
- ✓ Paramètres d'humidité (point de rosée, humidité relative, rapport de mélange, température psychrométrique)

La génération de valeurs d'humidité est optimisée pour s'adapter à la construction et du système climatique simulations (y compris les valeurs horaires extrêmes).

En outre, un modèle de génération stochastique pour les valeurs de paramètres de minutes d'irradiation est disponible.

On peut aussi exportez notre données vers les logiciels PVsyst et RETScreen pour étudier et

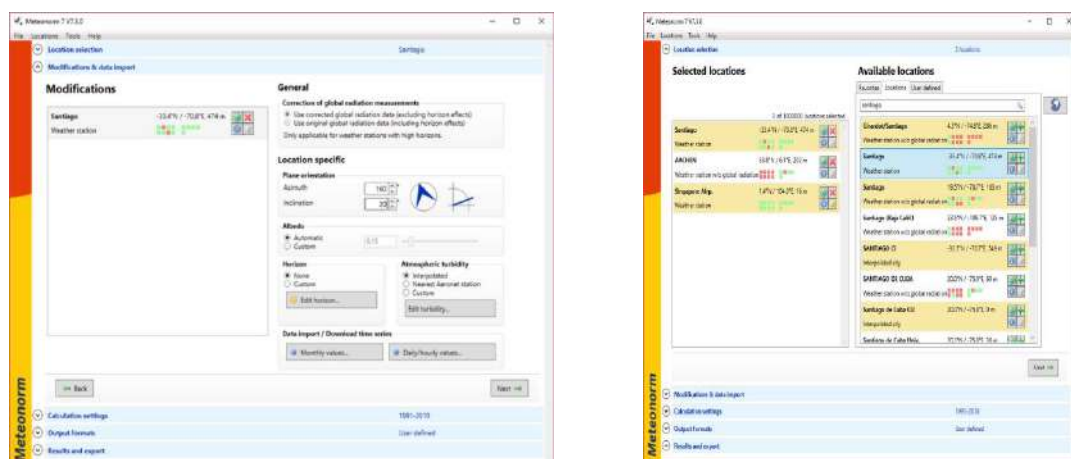


Figure (25) Interface de logiciel Meteonorm

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

simuler les données. Comme le montre la figure (25)

III.3.2. Logiciel RETScreen

RETScreen® est un système Logiciel de gestion d'énergies propres pour l'analyse de faisabilité de projets d'efficacité énergétique, d'énergies renouvelables et de cogénération ainsi que pour l'analyse de la performance énergétique en continu. RETScreen® est offert par le gouvernement du Canada par le Laboratoire de recherche en diversification énergétique du CANADA (LRDEC). [54]

RETScreen® permet aux professionnels et aux chercheurs dans le domaine des énergies renouvelables, d'évaluer et d'optimiser de façon rapide la viabilité technique et financière de projets potentiels en matière d'énergies propres. Cette plate-forme logicielle d'intelligence décisionnelle permet aussi aux gestionnaires de mesurer et de vérifier facilement les performances réelles de leurs installations, ainsi que de trouver des possibilités supplémentaires d'économies et de production d'énergie[54].

RETScreen Expert (voir la figure (26)[55]) dispose de capacités d'analyse couvrant tout le cycle de vie d'un projet, ce qui permet à l'utilisateur d'établir des conditions climatiques de référence sur le site d'une installation pour tout emplacement sur terre et de comparer la performance énergétique de différents types de référence (benchmark) les installations dont la consommation annuelle d'énergie est estimée (modélisée) ou mesurée (réelle). Ce logiciel peut effectuer des analyses de faisabilité et de rendement, y compris l'analyse de l'énergie, l'analyse

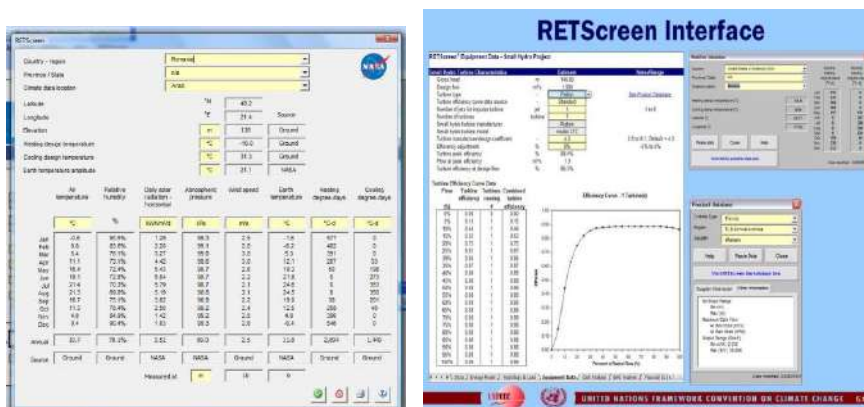


Figure (26) Logiciel RETScreen

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

des coûts, l'analyse des émissions, l'analyse financière et l'analyse de sensibilité et de risque.

III.3.3. Logiciel PVsyst

PVsyst est conçu pour être utilisé par les chercheurs, les ingénieurs, et les architectes, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet.

Ce logiciel nous permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles pour étudier les cas spéciaux. (voir la figure (27)[56]).

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

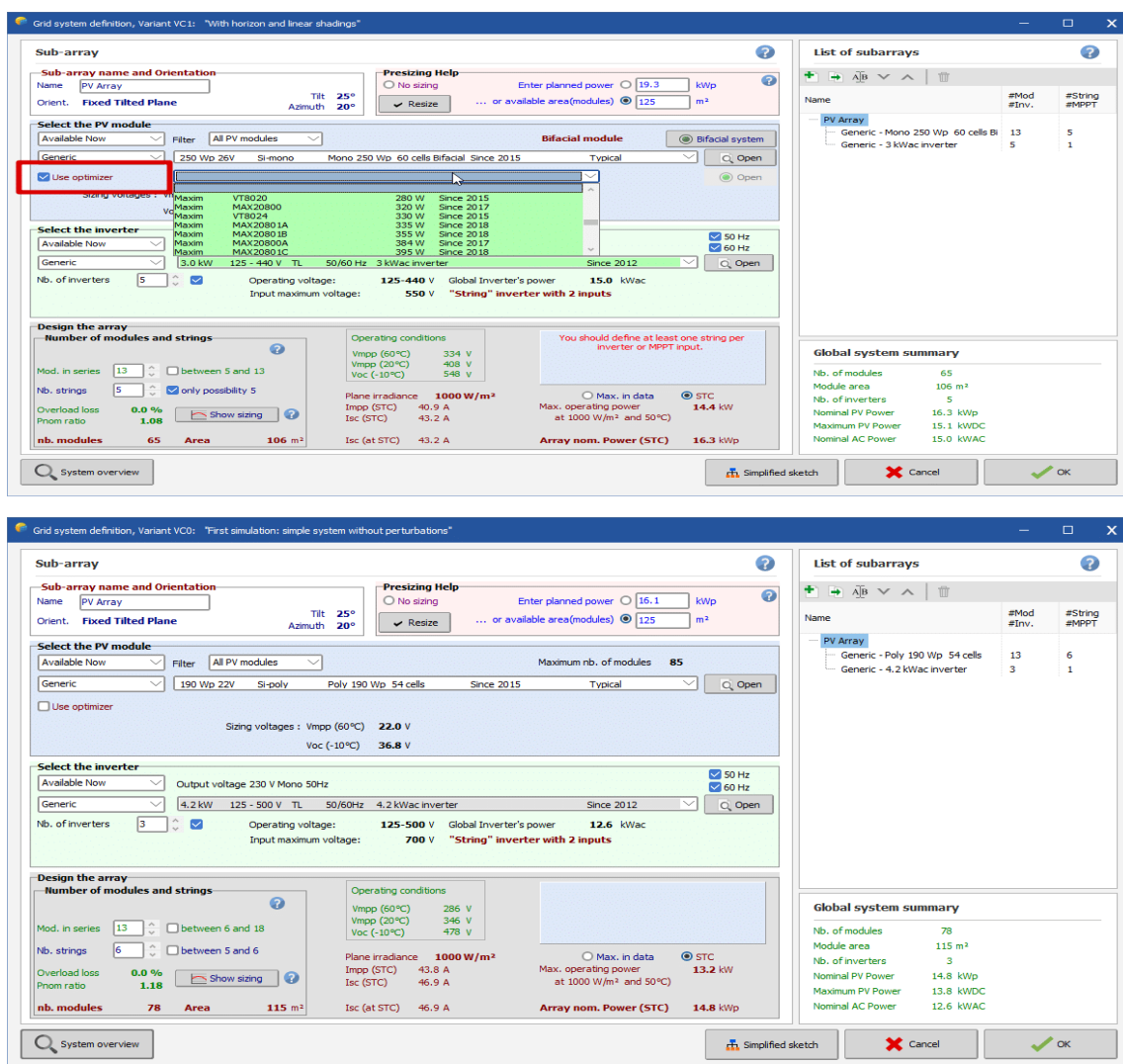


Figure (27) Interface de logiciel PVsyst

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

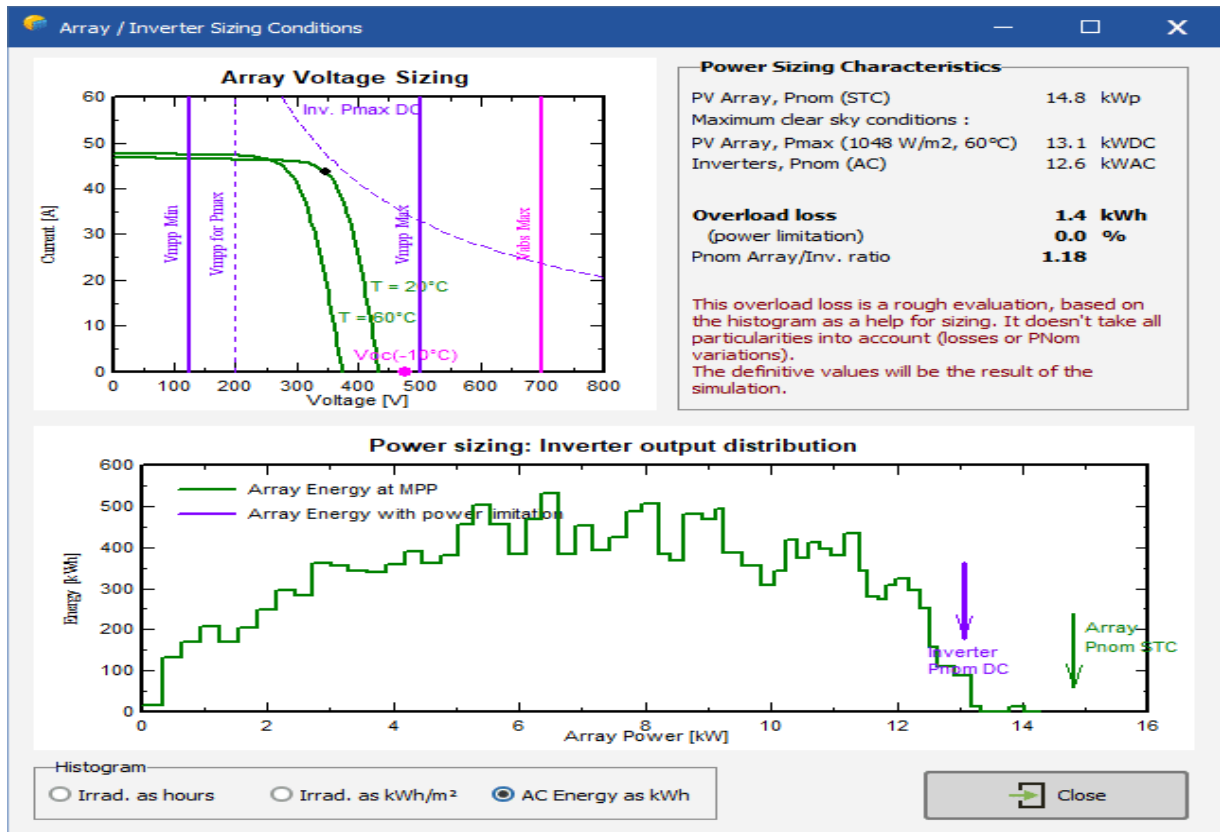


Figure (28) Etude d'un panneau photovoltaïque par PVsyst

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

Logiciel	développé par	type d'analyse	avantages	désavantages
PVsys	Institut des sciences environnementales (ISE), Université de Genève, Suisse	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Analyse de performance ✓ estimation financière utilisée pour les systèmes PV connectés, autonomes, de pompage et DCgrid. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bases de données exhaustives sur les composantes des systèmes météorologiques et photovoltaïques ✓ capacité de cerner les faiblesses de la conception du système au moyen d'un diagramme des pertes ✓ les résultats comprennent plusieurs dizaines de variables de simulation 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'écran du programme ne peut pas être maximisé pour permettre à l'utilisateur de voir tous les paramètres à l'aide d'un petit moniteur. ✓ Incapacité de gérer l'analyse des ombres; Pas de diagramme unifilaire.
RETScreen	Ressources naturelles Canada	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Analyse de faisabilité ✓ analyse de performance ✓ analyse de portefeuille 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solide base de données sur la météorologie et les produits. ✓ Contient du matériel de formation intégré complet; Solide analyse financière 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impossible d'enregistrer, d'imprimer et d'exporter des fichiers lors de l'utilisation de la version en mode de visualisation libre. ✓ Problème de partage de données. ✓ Aucune option pour les fichiers de données de séries chronologiques Importation ; Ne prend pas en charge les calculs avancés.

Tableau (4) Comparaison entre les logiciels PVsys et RETScreen[55]

Chapitre III: présentations des études de cas et les logiciels

Dans le tableau (4), nous avons présenté une comparaison bien détaillée entre les deux logiciels PVsyst et RETScreen en matière d'avantages, inconvénients et types d'analyse.

Conclusion

Lors de ce chapitre, nous avons sélectionné sur les zones d'études de cas et les caractères climatiques de chaque ville. Nous avons présenté des logiciels de Meteonorm, PVsyst et RETScreen en matière de leurs fonctionnalités, types d'analyse, avantages et inconvénients. Dans le dernier chapitre, nous discuterons nos résultats de simulation.

CHAPITRE VI

Résultats et discussions

IV.1.Introduction

La connaissance du rayonnement solaire global et les autres paramètres météorologiques sont d'une importance fondamentale pour tous les systèmes de conversion de l'énergie solaire. La valeur du rayonnement solaire n'est pas disponible pour de nombreux pays qui ne disposent pas d'équipement de mesure et de techniques intervenant. Par conséquent, il est plutôt important de développer des méthodes et des systèmes pour estimer le rayonnement solaire global en utilisant les paramètres météorologiques disponibles.

Comme nous l'avons annoncé précédemment, l'objet principal de ce travail est de caractériser les données climatiques observées pour les stations d'Alger, Tlemcen, Sétif, Ghardaïa et Tamanrasset et nous faisons une comparaison entre ces sites désignés.

IV.2. La base des données

Dans cette étude nous avons utilisé les données observées au niveau des stations météorologiques de chaque ville (Tamanrasset, Tlemcen, Ghardaïa, Alger et Sétif).

Les données observées à chaque station pour réaliser notre étude ce sont la moyenne de température, la pression, la vitesse de vent, l'humidité relative, les précipitations, les radiations mensuelles.

Ces données ont été converties en valeurs moyennes journalières exprimées en **kWh/m²** pour le rayonnement global, en **kPa** pour la pression atmosphérique, en **°C** pour la température ambiante et en **%** pour l'humidité relative la vitesse de vent en **m/s**. Les précipitations en **mm**.

IV.3. Rayonnement Solaire annuel simulé par Meteonorm

IV.3.1. Rayonnement solaire annuel aux sites d'Alger et Tlemcen

D'après la figure (29), on remarque que l'intensité de rayonnement solaire sur le site d'Alger est de 73 kWh/m² au mois de décembre et au site de Tlemcen est de 84 [kWh/m²] au même mois que le site d'Alger mais déférent site géographique. . Et des valeurs maximales au mois de juillet pour le site d'Alger et Tlemcen est : 242 kWh/m² et 245 kWh/m² respectivement. Les moyennes annuelles du rayonnement solaire de ces deux sites sont 150.75 kWh/m²/mois et 159.16 kWh/m²/mois.

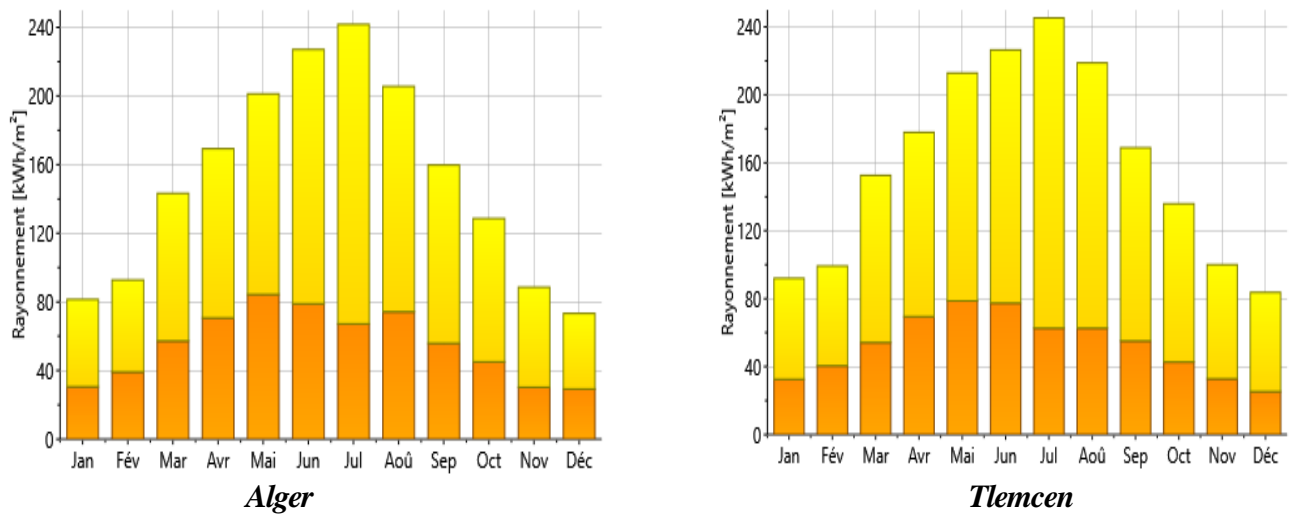


Figure (29) Rayonnement solaire annuel aux sites d'alger et Tlemcen

D'après les données obtenues par logiciel Meteonorm, l'intensité de rayonnement solaire mensuel est grande en mois d'été (juin, juillet et août) en comparant aux autres mois de l'année, il y a une diminution de cette intensité dans les saisons froides : hiver et automne à cause de la couverture de ciel dans ces mois, ce scénario de changement d'intensité du rayonnement solaire est presque identique pour les deux sites Tlemcen et Alger.

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.3.2. Rayonnement solaire annuel au site de Sétif

D'après la figure 30, les valeurs du rayonnement solaire varient entre 76 kWh/m² au mois

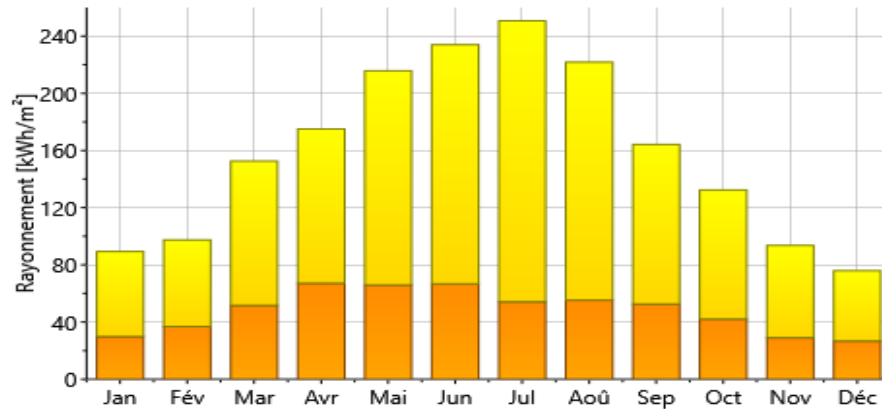


Figure (30) Rayonnement solaire annuel au site de setif

d'hiver de décembre) et de 251 kWh/m² au mois de juillet (été).

IV.3.3. Rayonnement solaire annuel aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset

D'après les données obtenues de rayonnement solaire annuel via Meteonorm, nous avons les valeurs maximales et minimales pour Ghardaïa et Tamanrasset : 255 kWh/m² et 226 kWh/m² (au mois de juillet), 109 kWh/m² et 148 kWh/m² (mois décembre).

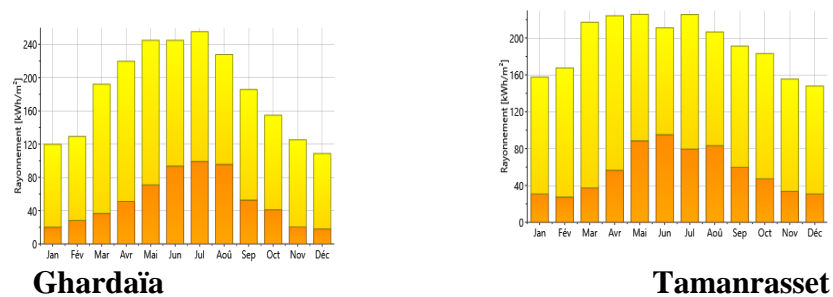


Figure (31) Rayonnement solaire annuel aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset

Chapitre IV: Résultats et discussions

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les sites de Ghardaïa et Tamanrasset ont un grand rayonnement solaire annuel par rapport aux autres sites.

En plus, les sites de Ghardaïa et Tamanrasset ont le grand gisement solaire par rapport aux autres sites, il y a de beaucoup de projets d'installations photovoltaïques ou de systèmes de concentration solaire dans ces deux sites de sud.

IV.4. Température annuelle simulée par Meteonorm

IV.4.1. Température annuelle aux sites d'Alger et Tlemcen

Selon la figure 32, les variations de la température annuelle des deux sites Alger et Tlemcen suivent le scénario suivant : en juillet la température moyenne à Alger (37°) est inférieure à celle de Tlemcen (41°).

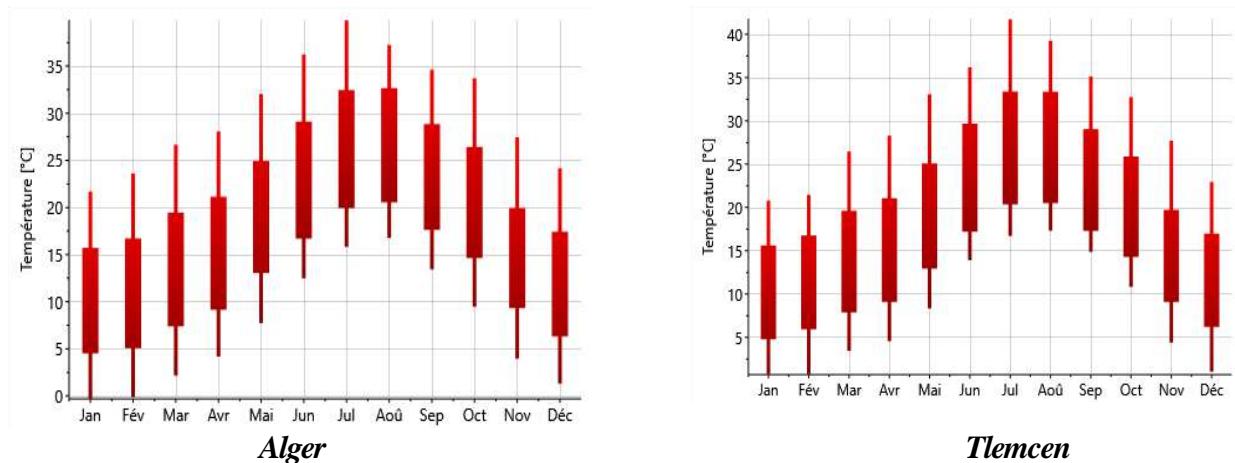


Figure (32) Température annuelle aux sites d'Alger et Tlemcen

En décembre, cette température à Alger (11.7°) est supérieure à celle de Tlemcen (11.5°).

Il y a une similitude de la variation de la température annuelle des sites de Tlemcen et Alger à cause de leurs emplacements géographiques près de Méditerranée.

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.4.2. Température annuelle au site de Sétif

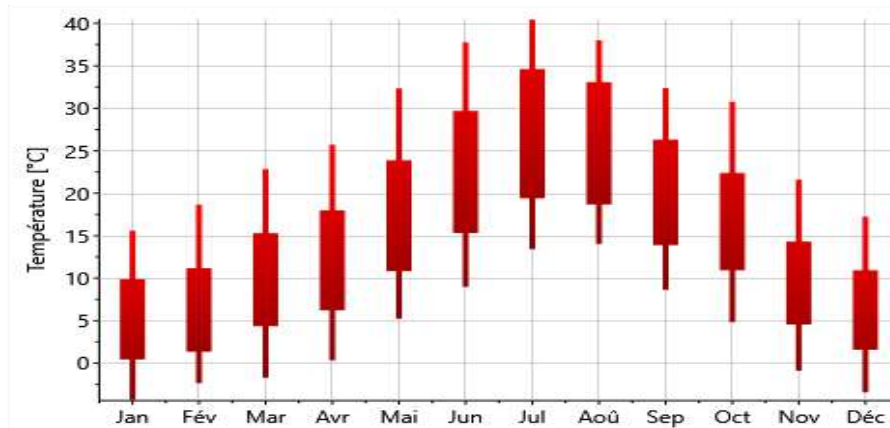


Figure (33) Température annuelle au site de Sétif

D'après la figure (33), la fluctuation de la température entre -6°C à 40°C .

La valeur maximale des moyennes mensuelles de température apparaît en juillet ($26,6^{\circ}\text{C}$), pendant que la valeur minimale est en janvier (5°C). La moyenne annuelle de la température durant l'année est $14,7^{\circ}\text{C}$.

IV.4.3. Température annuelle aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset

D'après les graphes de la figure (34), la température moyenne mensuelle varie de $10,7^{\circ}\text{C}$ à $35,4^{\circ}\text{C}$ au site de Ghardaïa et à Tamanrasset, cette température a un maximum de 30°C et un minimum de $12,9^{\circ}\text{C}$.

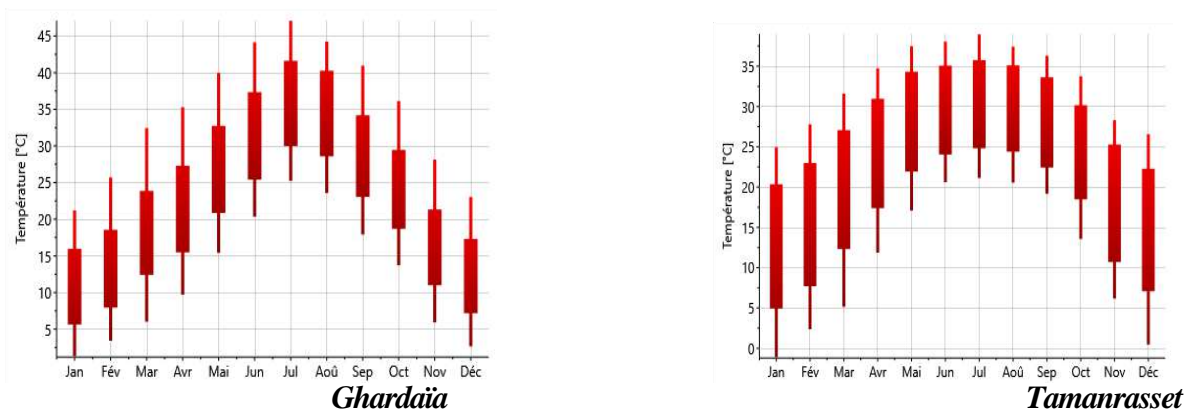


Figure (34) Moyennes mensuelles de la température ambiante ($^{\circ}\text{C}$) aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset

Chapitre IV: Résultats et discussions

Nous remarquons que le site de Tamanrasset est plus frais que le site de Ghardaïa, à cause de leurs altitudes.

IV.5. Les précipitations et l'humidité relative annuelles

IV.5.1. Les précipitations et l'humidité relative annuelle aux sites d'Alger et Tlemcen

D'une part, à l'aide d'une simulation par RETScreen les précipitations varient entre 70 mm

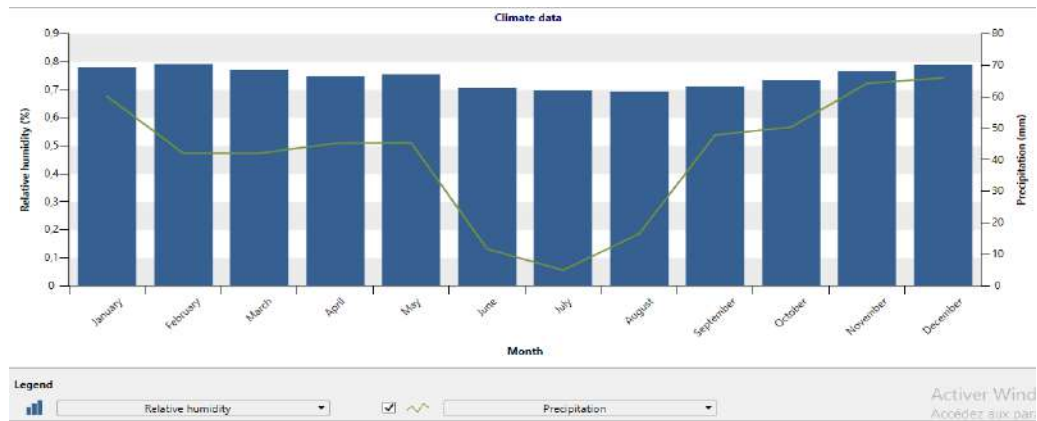


Figure (35) Les précipitations et l'humidité relative au site d'Alger

en hiver et 7 mm ont été au site d'Alger. La moyenne annuelle de ces précipitations est 42 mm

Le site d'Alger est très humide et l'humidité relative varie entre 70% à 80%. (Figure 35)

D'autre part à Tlemcen, les précipitations elle varie de 5 mm (mois juillet) au 60 mm en mois décembre. (Voir figure 36).

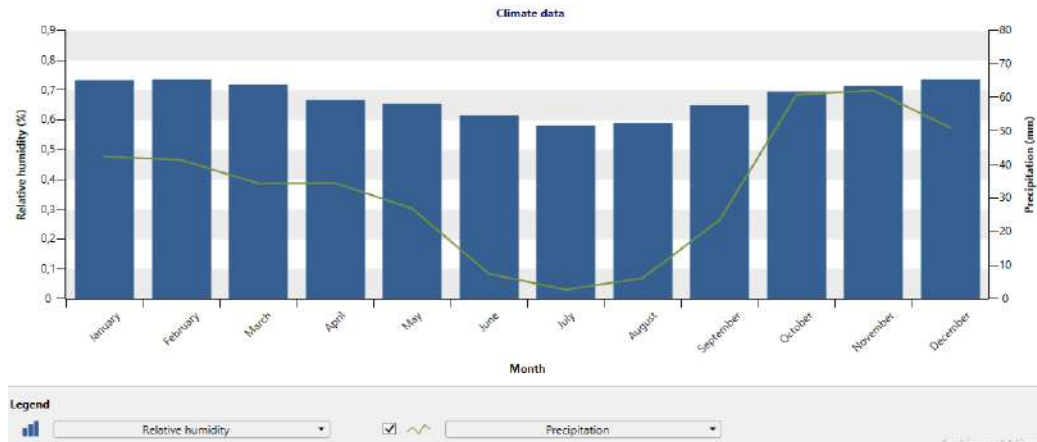


Figure (36) Les précipitations et l'humidité relative au site de Tlemcen

Chapitre IV: Résultats et discussions

La moyenne annuelle est 32.75 mm, et l'humidité relative varie entre 58% à 75%.

IV.5.2. Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Sétif

Comme la montre les graphes de la figure(37), l'humidité relative moyenne annuelle au site de Sétif est de 62.2 %.

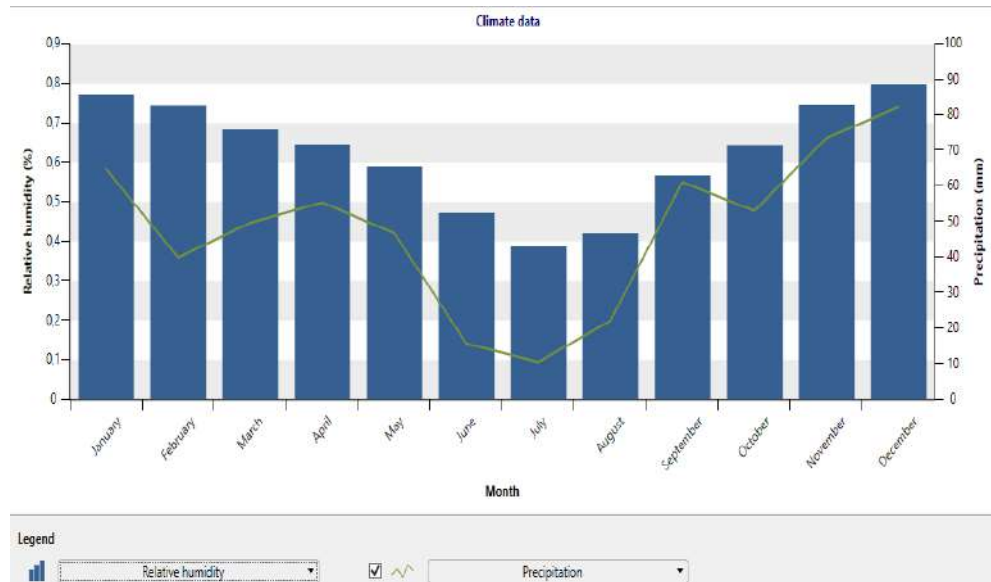


Figure (37) Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Sétif

Il y a deux valeurs maximale et minimale de 79.9% et 38.8% (décembre et juillet)

La moyenne annuelle des précipitations au site de Sétif est 47.85%.

IV.5.3. Les précipitations et l'humidité relative annuelles aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset

Les données de logiciel RETScreen, les précipitations au site de Ghardaïa sont faibles, la valeur moyenne maximale enregistré est de 16.97 mm ou mois de septembre. (Voir figure 38)

L'humidité relative au site de Ghardaïa est comprise entre 24.2% et 58.8%, dont la valeur moyenne annuelle est de 40%.

Chapitre IV: Résultats et discussions



Figure (38) Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Ghardaïa

A Tamanrasset, les précipitations sont très faibles, car le climat est désertique dont la valeur moyenne varie entre 0.57 mm et 13.15 mm (voir figure 39)

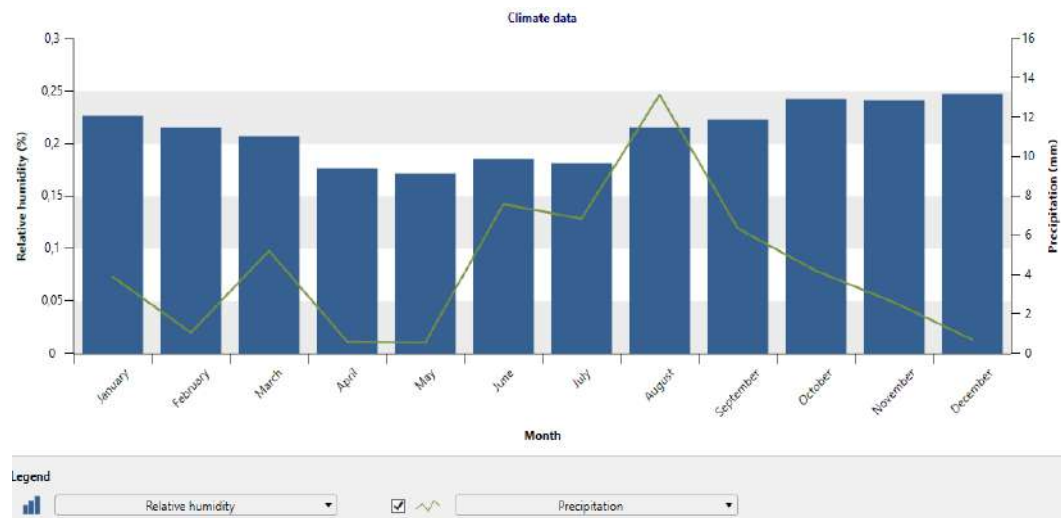


Figure (39) Les précipitations et l'humidité relative annuelle au site de Tamanrasset

L'humidité relative au site de Tamanrasset est stable est d'environ de 17.2% à 24.8%. Et elle a une valeur moyenne annuelle de 21.2%.

IV.6. Les pressions atmosphériques et les vitesses de vent annuelles simulées par Retscreen

IV.6.1. Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuelles aux sites d'Alger et Tlemcen

D'après les figures 39 et 40, nous remarquons que le site de Tlemcen a une grande pression atmosphérique annuelle (97.6 kPa) par rapport au site d'Alger 96.9 kPa.

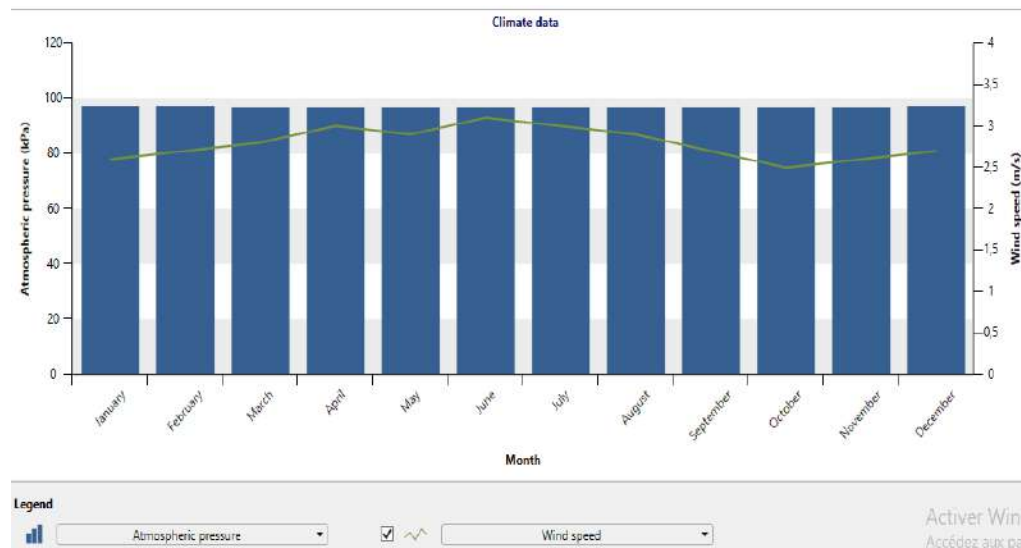


Figure (41) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents au site d'Alger

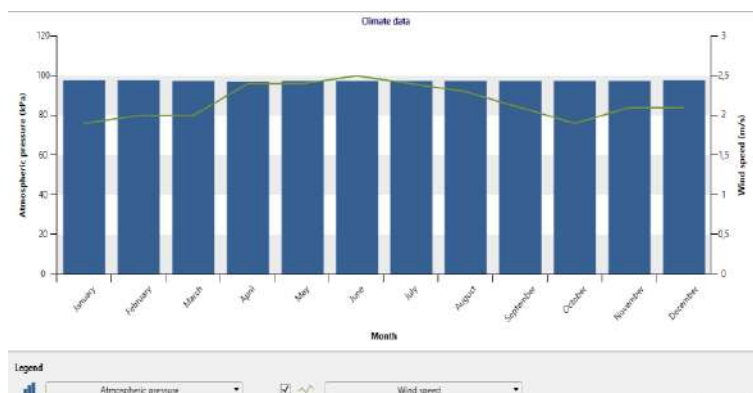


Figure (40) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents au site de Tlemcen

Par contre pour la vitesse de vent, le site de Tlemcen a un grand gisement éolien par rapport au site d'Alger.

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.6.2. Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuels au site de Sétif

D'après les données de la figure (42), la pression atmosphérique varie entre 96.1 kPa et 96.6 kPa au site de Sétif.

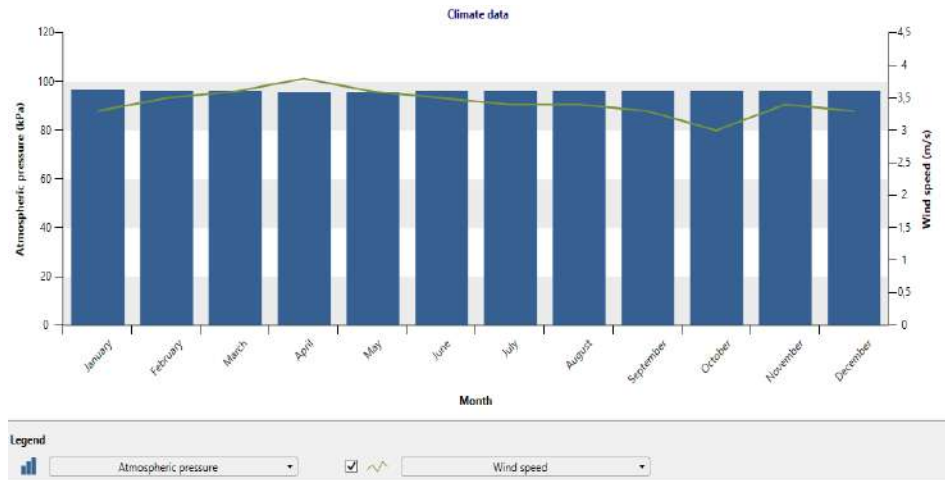


Figure (42) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuels au site de Sétif

Pour les vitesses du vent, les valeurs varient entre 3 m/s et 3.8 m/s.

Pour les vitesses du vent (la figure 42) la valeur maximal est de l'environ de 3.8 m/s. et la valeur minimal est de 3.0 m/s au mois d'octobre.

IV.6.3. Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuels aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset

Selon les figures 43 et 44, nous constatons que le site de Ghardaïa a une grande pression atmosphérique annuelle (96.2 kPa) par rapport au site de Tamanrasset 90.6 kPa.

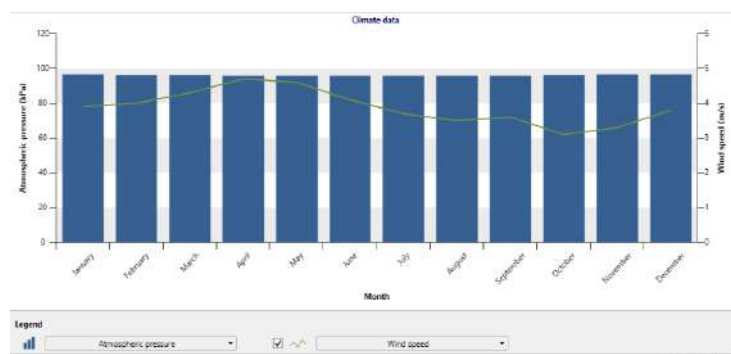


Figure (43) Les pressions atmosphériques et les vitesses des vents annuels au site de Ghardaïa

Chapitre IV: Résultats et discussions

La même chose pour la vitesse de vent, le site de Ghardaïa a un grand gisement éolien par rapport au site de Tamanrasset.

IV.7. Les irradiations solaires globale pour les sites d'Alger, Tlemcen, Sétif, Ghardaïa, Tamanrasset simulées par Pvsyst

Selon la figure 45. En comparant les valeurs de la moyenne annuelle d'irradiation globale des

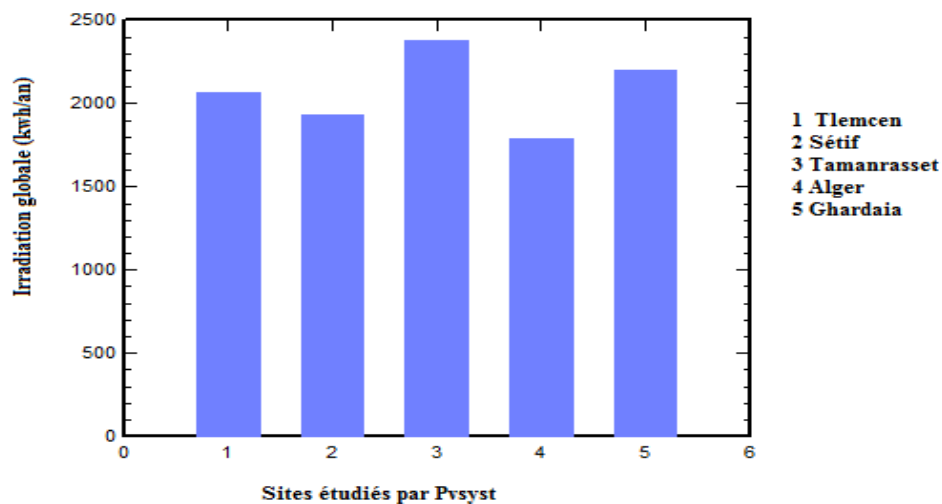
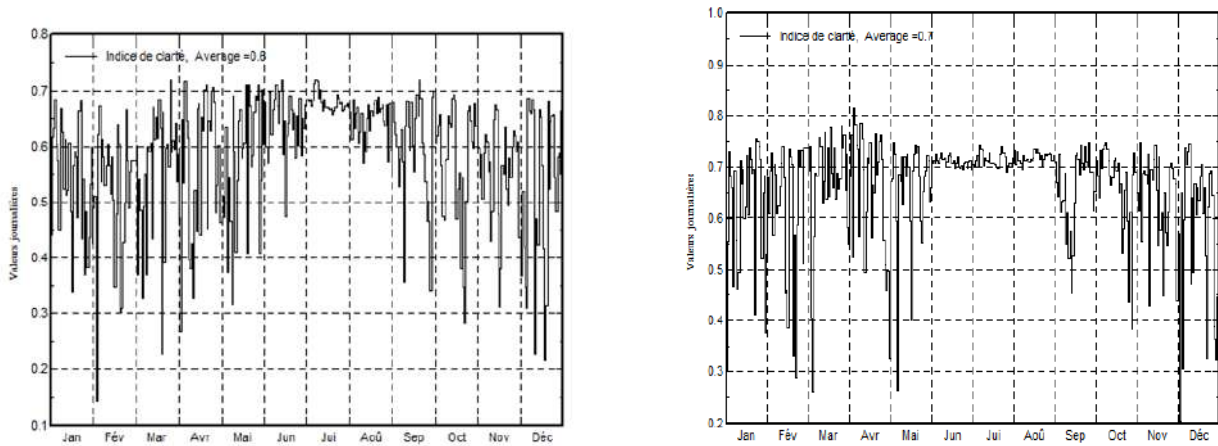


Figure (44) Comparaison des irradiations solaires globales pour les cinq sites

5 sites, nous constatons que Ghardaïa et Tamanrasset ont la grande moyenne annuelle par rapport aux Tlemcen, Alger et Sétif près de (2100 kWh et 2300 kWh).

IV.8. L'indice de clarté calculée par Pvsyst

L'indice de clarté est une mesure de la clarté de l'atmosphère. C'est la fraction du rayonnement solaire qui est transmise à travers l'atmosphère pour frapper la surface de la Terre. C'est un nombre sans dimension compris entre 0 et 1, défini comme le rayonnement de surface divisé par le rayonnement extraterrestre[44].



IV.8.1. L'indice de clarté pour les sites d'Alger et Tlemcen

Site d'Alger

Site de Tlemcen

Figure (45) L'indice de clarté aux sites d'Alger et Tlemcen

D'après la figure (46), le site de Tlemcen a un grand indice de clarté annuelle 0.7 en comparant à celle d'Alger 0.6.

IV.8.2. L'indice de clarté pour le site de Sétif

D'après la figure (47), l'indice de clarté au site de Sétif à une grande fluctuation pendant l'année, et sa valeur moyenne annuelle est de 0.6. La variation de l'indice de clarté au site de Sétif est à cause des nuages et les régimes de pluies sont très irréguliers car le site de Sétif est

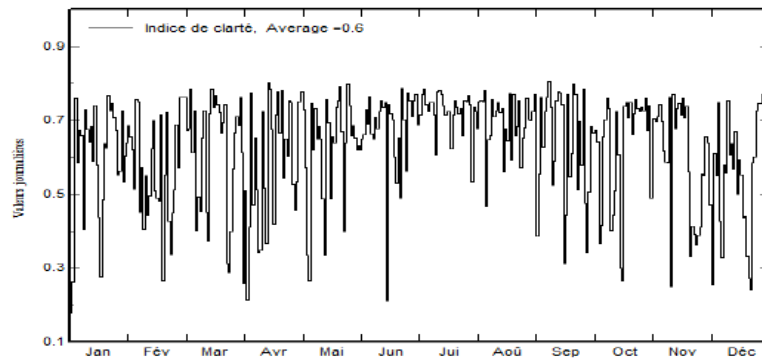


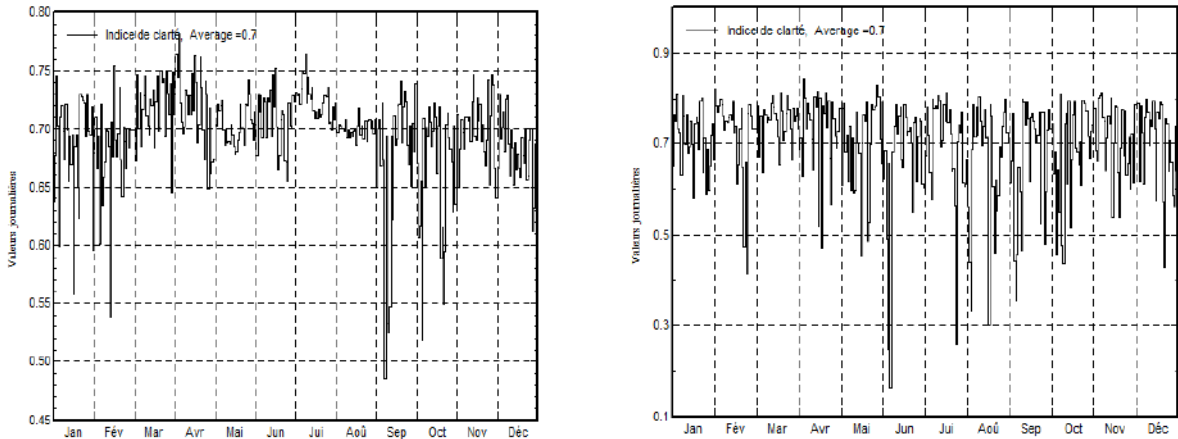
Figure (46) L'indice de clarté pour le site de Sétif

Chapitre IV: Résultats et discussions

situé aux hauts plateaux.

IV.8.3. L'indice de clarté pour les sites de Ghardaïa et Tamanrasset

A l'aide du logiciel PVsyst, nous constatons une similitude de l'indice de clarté entre les deux



sites Ghardaïa et Tamanrasset d'une valeur annuelle de 0.7.

Site de Ghardaïa

site de Tamanrasset

Figure (47) L'indice de clarté aux sites de Ghardaïa et Tamanrasset

Conclusion

Dans ce chapitre nous a permis de faire une évaluation qualitative du logiciels Meteonorm pour les données climatiques et RETScreen et PVsyst qui ont permet de simuler les cinq sites d'études avec une prise en compte de tous les données et les paramètres climatiques aspects: les températures, les emplacements géographiques, les précipitations,...etc. Ceci a permis de faire une meilleure étude de cas qui peuvent affecter le rendement global.

Conclusion générale

Une comparaison entre des valeurs de rayonnement solaire mesurées et les données climatiques sur les sites de (Alger, Tamanrasset, Tlemcen, Sétif, Ghardaïa). Des données radiométriques sont continuellement collectées pour tester ces approches qui sont valables pour un ciel totalement clair.

Les résultats obtenus dans ce mémoire sont basés sur les observations recueillies en 5 sites synoptiques dans l'Algérie, ils présentent l'évolution des précipitations et la température et l'humidité relative et l'irradiation solaire annuel pour chaque site d'étude.

À l'aide de 3 logiciels : PVsyst, Meteonorm et RETScreen une comparaison des paramètres météorologiques tels que les précipitations, vitesse de vent, la pression atmosphérique, l'irradiation solaire globale a été réalisée.

L'irradiation solaire globale estimée peut être utilisée dans la conception et l'estimation des performances des applications solaires aux cinq sites d'études (Alger, Ghardaïa, Tlemcen, Sétif et Tamanrasset) ainsi que dans l'optimisation des dimensionnements d'installations solaires.

En perspective, il serait intéressant d'utiliser les techniques d'intelligence artificielle (réseaux de neurones ou algorithmes génétiques) pour mieux optimiser le modèle de variation de l'irradiation solaire globale en fonction des paramètres météorologiques et d'autres paramètres comme le dépôt de pollution.

Références bibliographiques

- [1] Z. Nouaceur, B. Laignel, and I. Turki, “Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ?,” *Physio-Géo*, vol. 7, no. Volume 7, pp. 307–323, 2013, doi: 10.4000/physio-geo.3686.
- [2] J.-L. Fellous, “Comment peut-on définir le climat,” 2013. [Online]. Available: <https://www.climat-en-questions.fr/reponse/fonctionnement-climat/definir-climat-par-jean-louis-fellous>. [Accessed: 21-Jun-2020].
- [3] NASA, “What’s the Difference Between Weather and Climate?,” 2017. [Online]. Available: https://www.nasa.gov/mission_pages/noaa-n/climate/climate_weather.html. [Accessed: 21-Jun-2020].
- [4] J. Oliver, *The Earth’s Atmosphere*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [5] Jean-François, “DÉFINITION DE LA ATMOSPHERE,” <https://www.aquaportail.com/>, 2019. .
- [6] M. France, “La structure de l’atmosphère,” *meteo france*. [Online]. Available: <http://education.meteofrance.fr/dossiers-thematiques/le-fonctionnement-de-l-atmosphere/la-composition-de-l-atmosphere/la-structure-de-latmosphere>, consulte 13/03/2020.
- [7] A. Ground and T. Series, *Meteorology Atpl ground training series*. CAE Oxford, Aviation Academy, 2014.
- [8] L. Puget, J. Salen, and A. Carpentier, “Jean - Loup PUGET,” *LE Chang. Clim.*, p. 24, 2010.
- [9] S. Mehan, T. Guo, M. W. Gitau, and D. C. Flanagan, “Comparative study of different stochasticweather generators for long-term climate data simulation,” *Climate*, vol. 5, no. 2, pp. 1–40, 2017, doi: 10.3390/cli5020026.
- [10] J. Pailleux, “Quelle est la différence entre météorologie et climatologie,” 2014. [Online]. Available: <http://www.climat-en-questions.fr/reponse/fonctionnement-climat/meteorologie-climatologie-par-jean-pailleux>, consulte 10 :30 08/03/2020.
- [11] M. France, “Le système climatique.” [Online]. Available: <http://www.meteofrance.fr/climat-passe->

Références bibliographiques

et-futur/comprendre-le-climat-mondial/le-systeme-climatique,consulte 10:45 08/03/2020.

- [12] S. Taibi, M. Meddi, D. Souag, and G. Mahe, “Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l’Algérie (1936-2009),” *IAHS-AISH Proc. Reports*, vol. 359, no. January, pp. 191–197, 2013.
- [13] Climatsetvoyages, “Climat - Algérie.” [Online]. Available: <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algérie>, consulte 12/03/2020.
- [14] B. MOHAMMED, “Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension,” 2012.
- [15] M. Morell, B. Thébé, and Y. L’Hôte, “Acquisition et constitution d’une information hydrologique de base,” p. 203p, 1999.
- [16] <https://answers.usgs.gov>, “Le cycle de l’eau - The water cycle, French,” *Oxford University*, 1996. [Online]. Available: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/le-cycle-de-l-eau-water-cycle-french?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. [Accessed: 20-Jun-2020].
- [17] N. H, “LES ÉCHELLES EN MÉTÉOROLOGIE,” *l’UVED*, 2005. [Online]. Available: https://ressources.uved.fr/Grains_Module2/Echelles_meteorologie/site/html/Echelles_meteorologie/Echelles_meteorologie.html. [Accessed: 20-Jun-2020].
- [18] G. M. et R. Delmas, *Physique et chimie de l’atmosphère*, Vincent-He. 2005.
- [19] M. René, “La lente et puissante circulation océanique,” 2020. [Online]. Available: <https://www.encyclopedie-environnement.org/eau/lente-puissante-circulation-oceanique/>. [Accessed: 01-Sep-2020].
- [20] D. Melanitis, “Dépression ou anticyclone,” 2014. [Online]. Available: <https://jeretiens.net/depression-ou-anticyclone-qui-apporte-le-beau-temps/>. [Accessed: 10-Sep-2020].
- [21] Lavionnaire, “LES FRONTS,” 2010. [Online]. Available: <https://www.lavionnaire.fr/MeteoFronts.php>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [22] © Météo-France, “Nuages,” *Météo-France*, ©. [Online]. Available: <http://www.meteofrance.fr/activites-recherche/mieux-comprendre-les-phenomenes-atmospheriques/nuages>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [23] K. Arhab, “Des vents assez forts à partir de jeudi après-midi sur le Sahara central, le Nord Sahara et les Oasis,” *elitepresse*, 2020. [Online]. Available: <http://elitepresse.com/actualites/des-vents-assez->

Références bibliographiques

- forts-a-partir-de-jeudi-apres-midi-sur-le-sahara-central-le-nord-sahara-et-les-oasis/. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [24] D. Pollack, “Cours de météorologie – ENPC,” 2013.
- [25] K. BOUCHOUICHA, “MODELISATION MULTISPECTRALE DES IMAGES SATELLITAIRE - Application : Quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère,” *Thèse Dr. Univ. des Sci. la Technol. d'Oran Mouhamed Boudiaf*, p. pp171, 2017.
- [26] M. Pidwirny, “Earth-Sun Geometry,” *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*, 2006. .
- [27] N. Abdelhafidi, “Mouvement de rotation de la Terre,” 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Mouvement-de-rotation-de-la-Terre-dapres-Perrin-et-Vauge-7_fig1_332963329. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [28] Z. Sen, *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques*. 2008.
- [29] W. A. B. John A. Duffie, “Solar engineering of thermal processes,” p. p 5 10 13-15; 25; 39-40; 43; 77; 83; 87; 95-98; 10, 1991.
- [30] “LES COORDONNEES EN ASTRONOMIE.” [Online]. Available: <http://www.astrosurf.com/toussaint/dossiers/coordonnees/coordonnees.htm>. [Accessed: 16-Jun-2020].
- [31] K. Ismail, “Thème :Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques,” kasdi marbah ouragla, 2014.
- [32] BM, “Coordonnées GPS (WGS84),” 2008. [Online]. Available: <https://rochetrejoux.pagesperso-orange.fr/EP/Outils/Coordonnees GPS.htm>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [33] and S. B. K. F. Blaabjerg, Z. Chen, *Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems*. 2004.
- [34] S. Kalogirou, “Solar energy engineering,” p. PP 59-61.
- [35] A. Mermoud, “Logiciel PVsyst pour l' étude de systèmes photovoltaïques,” suisse, 2017.
- [36] F. Yettou, A. Malek, M. Haddadi, and A. Gama, “Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie,” *Rev. des Energies Renouvelables*, vol. 12, no. 2, pp. 331–346, 2009.
- [37] O. Asowata, J. Swart, and C. Pienaar, “Correlating the power conversion of a PV panel to the solar irradiance obtained from Meteonorm,” *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 684–689, 2013, doi: 10.1109/ICIT.2013.6505754.

Références bibliographiques

- [38] “Principe et hypothèses simplificatrices,” 2011. [Online]. Available: <https://perso.uclouvain.be/ernest.matagne/SOLAIRE/SEM08/S08P09.HTM>. [Accessed: 19-Jun-2020].
- [39] L. M. Schwartz, E. Faure, R. Louat, and A. Louat, “Etude du rayonnement solaire global et direct à Carpentras,” *Rev. Phys. Appliquée*, vol. 18, no. 10, pp. 635–644, 1983, doi: 10.1051/rphysap:019830018010063500.
- [40] Y. JANNOT, “Thermique Solaire,” p. (p30-p70), 2003.
- [41] M. CAPDEROU, *Atlas Solaire de l’Algérie Modèles théorique et expérimentale*. Algérie: Tomme 02, 1986.
- [42] R. Perez, R. Stewart, C. Arbogast, R. Seals, and J. Scott, “An anisotropic hourly diffuse radiation model for sloping surfaces: Description, performance validation, site dependency evaluation,” *Sol. Energy*, vol. 36, no. 6, pp. 481–497, 1986, doi: 10.1016/0038-092X(86)90013-7.
- [43] R. Perez, R. Stewart, R. Seals, and T. Guertin, “The Development and Verification of the Perez Diffuse Radiation Model,” *Sandia Rep.*, no. October, 1988.
- [44] M. S. MOUHOUS-CHAOUCHI, “Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné,” UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, 2012.
- [45] J. N. K. Diebel, “Météo habituelle-Topographie,” © Cedar Lake Ventures, Inc. [Online]. Available: <https://fr.weatherspark.com/>. [Accessed: 24-Jun-2020].
- [46] A. N. de développement de l’Investissement (ANDI)-2015, “Wilaya de Tamanrasset.” ANDI, p. 23, 2013.
- [47] Usmausmamca15, “Tamanrasset tourisme Algérie.” [Online]. Available: <https://usmausmamca15.wordpress.com/28-2/>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [48] Wikimedia, “Tlemcen,” *wikimedia*, 2009. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Algeria_13_Wilaya_locator_map-2009.svg&lang=fr&uselang=fr. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [49] Pinterest, “Sétif,” *pinterest*. [Online]. Available: <https://www.pinterest.ru/pin/326933254184257137/visual-search/>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [50] Wikimedia, “Ghardaia,” *wikimedia*, 2009. [Online]. Available:

Références bibliographiques

- <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Algeria-Ghardaia.png?uselang=fr>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [51] Wikimedia, “Alger,” *wikimedia*, 2009. [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Algeria_location_map.svg. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [52] A. Hafaifa, “Analyse des Performances d ’ une Installation Photovoltaïque intégrée à un Réseau Électrique Local du sud Algérien .,” no. November, 2016.
- [53] “METEONORM,” *Le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*. [Online]. Available: <https://logiciels.cstb.fr/batiments-et-villes-durables/performances-energetiques/meteonorm/>. [Accessed: 24-Jun-2020].
- [54] “RETScreen,” *Canada.ca*. [Online]. Available: <https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-publications/outils/logiciels-danalyse-de-donnees-ou/retscreen/7466>. [Accessed: 24-Jun-2020].
- [55] N. Umar, B. Bora, C. Banerjee, and B. S. Panwar, “Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant,” *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, vol. 7, no. 7, pp. 11–24, 2018.
- [56] A. V. Mermoud, “Logiciel PVsyst,” *PVsyst Team*, 2020. [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/>. [Accessed: 20-Sep-2020].

الهدف الرئيسي من عملنا هو المقارنة بين بيانات المناخ: الإشعاع الشمسي الكلي الذي تم قياسه ومحاكاته, تساقطات الامطار، وسرعة الرياح، وما إلى ذلك في مواقع محددة في الجزائر العاصمة، تمنراست، تلمسان، سطيف وغرداية. لمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها قمنا باستخدام برامج المحاكاة (PVsyst, RETScreen, Meteonorm) لتسهيل الدراسة واختيار المواقع المناسبة لتركيب مشاريع التركيز الشمسي أو نظام الرياح أو الأنظمة الشمسية الهجينة.

الكلمات الدالة: المناخ ، الإشعاع الشمسي ، مؤشر الوضوح, RETScreen, PVsyst ، Meteonorm

Résumé

L'objectif essentiel de notre travail est une comparaison entre les données climatiques : rayonnement solaire globale mesurées et simulées: précipitations, vitesse de vent, etc. sur des sites désignés d'Alger, Tamanrasset, Tlemcen, Sétif et Ghardaïa.

Pour comparer les résultats obtenus en utilisant des logiciels des simulations (PVsyst, RETScreen, Meteonorm) pour faciliter notre étude et choisir des sites adéquats pour installer des projets de concentration solaire , système éolien ou des systèmes solaires hybrides.

Mots clés : climat, rayonnement solaire, indice de clarté, Meteonorm, PVsyst, RETScreen

Abstract

The main objective of our work is a comparison between climate data: global solar radiation measured and simulated: precipitation, wind speed, etc. at designated sites in Algiers, Tamanrasset, Tlemcen, Setif and Ghardaïa. To compare the results obtained using simulation software (PVsyst, RETScreen and Meteonorm) to facilitate our study and select suitable sites to install solar concentration projects, wind system or hybrid solar systems.

Key words: climate, solar radiation, Meteonorm, PVsyst, RETScreen