

République Algérienne Démocratique Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et

De la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla

N° d'ordre

N° de série

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière

Département de Physique

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Filière : physique

Spécialité : Physique météorologique

Présenté par

DIDA HADJER & SELKHANE ILHAM

Thème

Utilisation des données de ré-analysées ERA-Interim/ECMWF pour l'évaluation des ressources éoliennes du site de Hassi R'mel

Soutenu publiquement le : 08/07/2018

Devant le jury :

Président : Ben Belkacem Khalaf Allah

Maitre assistant A

Examineur : Belhadj Mohammed Mostapha

Maitre de conférences A

Encadreur : Fekih Abdelalli

Maitre de conférences B

Année universitaire : 2018/2019

Remerce

En premier lieu, nous remercions Dieu, notre créateur, qui nous a donné la force et la persévérance pour réaliser ce travail. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude. Aussi, nous tenons à remercier infiniment :

❖ *Mr Fekih Abdellal notre encadreur qui nous a accordé son*

soutien, son aide indéfectible et surtout sa patience et sa gentillesse.

❖ *Nos remerciements vont à Mr Ben Belkacem KhalafAllah, Maitre de conférences à l'Université KASDI Merbah d'Ouargla, d'avoir accepté de présider le jury, aussi à Mr Belhadj Mohammed Mostepha, à l'Université KASDI Merbah d'Ouargla,*

d'avoir accepté d'examiner notre travail.

❖ *Un remerciement très spécial pour Mr Hebbal Belkhir pour son aide et ses encouragements .*

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à
la source de mon bonheur:*

Mes parentes { Lakhder, Rachida }.

*Pour leurs amours, leurs encouragements
perpétuels .*

*À mes soeurs { Linda, Hibat Errahmane,
Sara, Ritadj et Soumia } .*

*À mes frères { Moncef et Mohammed
Achraf } .*

À mon fiancé { Abdelkader } .

*À tous mes amis surtout : Nafissa, Rabiaa,
Souhila, Asma, Soumia, Kenza, Salha.*

*À tous membres de ma famille Selkhane et
Khenfer.*

*À tous ceux qui m'ont soutenu de près ou
de loin.*

ILHAM



Dédicace

✚ Je dédie mon témoignage à cette grande femme qui a appris que j'ai toujours regardé dans ses yeux pour puiser mes forces et mener ma vie scientifique, ma mère bien-aimée et mon cher père, à la source du bonheur de mes frères et sœurs. À mon cher fiancé, à ceux qui m'ont encouragé à pratiquer la science et à tous mes collègues et amis.

Hadjer
Hadjer

Abréviation

MLM	Maximum Likelihood Méthode : méthode du maximum de vraisemblance
MMLE	Modified Maximum Likelihood Estimation : variante de la méthode du maximum de vraisemblance
MMLM	Modified Maximum Likelihood Méthode : autre variante de la méthode du maximum de vraisemblance
CLI	Couche limite interne
CLA	Couche limite atmosphérique

Nomenclatures

Nomenclatures :

\vec{V}	la vitesse de déplacement des particules par rapport à la terre	m/s
$\vec{\Omega}$	Vecteur rotation instantanée terrestre	radians/second
f	Le paramètre de Coriolis	
\mathbf{v}_g	les composantes de la vitesse du vent géostrophique	
ρ	La masse volumique de l'air.	(kg/m ³)
P	La pression atmosphérique.	hPa
\vec{F}_c	La force de Coriolis.	N
\vec{F}_p	La force de pression	N
\vec{F}_g	Vent géostrophique	N
H	Hauteur de l'obstacle	m
z_a	Hauteur de l'anémomètre	m
X	Distance sous le vent	m
\mathbf{u}_{*1}	La vitesse de frottement	m/s
\mathbf{u}_{*2}	La vitesse de frottement	m/s
ρ_1	La masse volumique en Z_1	(kg/m ³)
ρ_2	La masse volumique en Z_2	(kg/m ³)
θ	La température potentielle	
C_p	Chaleur massique a prission constant	J/Kg.K
R	Constant des gaz parfait	J/mol.K
P_v	Puissance du vent à l'entrée de la voilure	W
S	Surface de la voilure	m^2
P_m	Puissance disponible sur l'arbre d'un aérogénérateur	W
Ω	Vitesse angulaire de l'éolienne	radians/second
$f(v)$	Densité de probabilité de Weibull	
$F(v)$	Fonction de distribution cumulée de Weibull	
V_m	Vitesse moyenne du vent	m/s
K	Paramètre de forme de Weibull	
A	Paramètre d'échelle de Weibull	m/s
Γ_n	La formule Gamma	
V_1	Vitesse mesurée à la hauteur de référence	m/ s
V_2	Vitesse à désirant calculer	m/ s
Z_1	Hauteur de référence	m
Z_2	Hauteur à laquelle on désire calculer la vitesse du vent	m

Liste de figure :

N°	Titre	Page
Fig. (I-1)	Echelles des principaux phénomènes météorologiques	04
Fig. (I-2)	structure verticale de l'atmosphérique	7
Fig. (I-3)	La couche limite atmosphérique	9
Fig. (I-4)	La couche limite atmosphérique	10
Fig. (I-5)	La différence entre la température et l'effet du mouvement entre les villes et les campagnes	14
Fig. (I-6)	Changement de la vitesse du vent en hauteur pour : (villes : a), (campagnes : b) et (niveau de la mer : c)	14
Fig. (I-7)	Représenter le flux du vent dans les l'orographie	15
Fig. (I-8)	Vent géostrophique dans l'hémisphère Nord et dans l'hémisphère sud	17
Fig. (I-9)	Variations temporelles de la vitesse du vent	19
Fig. (I-10)	Ballon sonde	21
Fig. (I-11)	Station météorologique de recherche	22
Fig. (I-12)	LIDAR pour la mesure du vent	23
Fig. (I-13)	SODAR pour la mesure du vent	24
Fig. (I-14)	Index des niveaux de déformation de Griggs-Ptunam	24
Fig. (I-15)	Anémomètre à coupelles	26
Fig. (I-16)	Girouette	27
Fig. (I-17)	Anémo-girouette	27
Fig. (I-18)	Anémomètre tridimensionnel à hélice	28
Fig. (I-19)	Anémomètre sonique	28
Fig. (I-20)	Manche à vent	29
Fig. (I-21)	Anémomètres	30
Fig. (II-1)	Conversion de l'énergie cinétique du vent	32
Fig. (II-2)	Eolienne à axe vertical	33
Fig. (II-3)	Eolienne à axe horizontal	34
Fig. (II-4)	Composants d'une éolienne à axe horizontal	35
Fig. (III-1)	Limites géographiques de la région de Hassi R'mel	38

Liste de figure

Fig(III-2)	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN HassiR'mel (2000-2018).	40
Fig. (III-3)	L'emplacement de Hassi R'mel sur le Climagramme d'Emberger.	41
Fig. (IV-1)	Roses des vents annuelles (a) Era-interim,(b) observation	49
Fig. (IV-2)	Les Roses des vents mensuelles Era-interim	50
Fig. (IV-3)	Les Roses des vents mensuelles observées	50
Fig. (IV-4)	Les Roses des vents saisonnière de(a) Era-interim et(b) observée	51
Fig. (IV-5)	Variation annuelle des deux paramètres de Weibull (a)Era-interim, (b) Observation, (c)Boudia, 2013 .	52
Fig. (IV-6)	Variation mensuelle des deux paramètres de Weibull de (a) Era-interim, (b) observation, (c) BOUDIA, 2013.	55
Fig. (IV-7)	Variation annuelle des deux paramètres de Weibull de (a)Era-interim, (b) observée.	56
Fig. (IV-8)	Variation mensuelle des deux paramètres de Weibull de(a) Era-interim, (b) observation.	59

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau	Titre	page
Tab. (I-1)	Phénomènes météorologiques à différentes échelles	06
Tab. (I-2)	Echelle Beaufort	18
Tab. (I-3)	Indice de déformation de Griggs-Putnam	25
Tab. (III-1)	Coordonnées géographiques et caractéristiques de la station de HassiR'mel	38
Tab. (III-2)	Température et précipitation moyennes à Hassi R'mel (2000-2018).	39
Tab. (IV-1)	Variation annuelle de la vitesse moyenne et de la densité de puissance moyenne à 10 m au niveau à Hassi R'mel	53
Tab. (IV-2)	Variation mensuelle de la vitesse moyenne et de la densité de puissance moyenne à 10 m à Hassi R'mel	54
Tab. (IV-3)	Variation annuelle de la vitesse moyenne et de la densité de puissance moyenne à 50 m à Hassi R'Mel	57
Tab. (IV-4)	Variation mensuelle de la vitesse moyenne et de la densité de puissance moyenne à 50 m à Hassi R'Mel	58

Sommaire :

Abréviation :..... I
Nomenclatures:.....II
Liste de figure :..... III
Liste de tableau : V
Sommaire :..... VI
Introduction générale :.....1

Chapitre I : Généralités sur le vent synoptique

I-1-Introduction :3
I-2-L'atmosphère :3
I-3- Notion d` échelle :3
 I-3-1-L'échelle planétaire :4
 I-3-2- L'échelle synoptique :4
 I-3-3-Méso-échelle ou échelle régionale :5
 I-3-4-L'échelle aérologique :5
 I-3-5-Micro échelle ou échelle turbulente :5
I-4-Structure de l'atmosphère :6
 I-4-1-La couche limite atmosphérique :8
I-5-Stabilité de l'atmosphère :10
 I-5-1-Influence de la stratification thermique :11
 I-5-2-Influence des obstacles :13
 I-5-3-Influence de l'orographie :14
I-6-L'Origine de vent :15
 I-6-1-la force gradient de pression :16
 I-6-2-La force de Coriolis :16
 I-6-3- Forces de frottement :16
I-7-Le vent géostrophique:16
I-8-Direction et vitesse du vent :17
I-9-Caractéristiques du vent :18
 I-9-1-Fluctuation temporelle :19

Sommaire

I-9-2 - Fluctuation spatiale :	19
I-10-Mesure du vent :.....	20
I-10-1-Le ventde surface :	20
I-10-2-Le vent en altitude :	20
I-10-3-L'installation d'un poste d'observation :.....	21
I-10-4-Instruments de mesure du vent :	22
I-10-6-Les capteurs du vent :	25
 Chapitre II : Étude de référence sur l'énergie éolienne	
II-1-Introduction :	32
II-2- Les éoliennes :	32
II-2 – 1- Définition :	32
II-3-Les différents types d'éoliennes :	33
II-3-1-Les éoliennes à axe vertical :	33
II-3-2-Les éoliennes à axe horizontal :.....	34
 Chapitre III : Statistiques du vent et potentiel éolien	
III-1- Présentation de la zone d'étude :	38
III-1-1-Cadre géographique :	38
III-1-2-Cadre climatologique :	38
III-3-Méthode et données :	41
III-3-2-Données d'observées :	42
III-3-3-Méthodologie :	42
III-3-2- Etude statistique de vent :	43
III-3-2-1 Détermination des paramètres de Weibull.....	43
III-3-2-3-Comparaison entre les différentes méthodes :	45
III-3-3-Le potentiel éolien :	45
III-4-4- Extrapolation verticale de la vitesse du vent :	47
III-3-4-2-La loi de puissance :	47
 Chapitre IV : Etude du potentiel éolien de la région de Hassi R'mel	
IV-1- Introduction :.....	49
IV-2-Etude du régime du vent dominant (les roses de vent).....	49

Sommaire

IV-2-2-les roses des vents mensuelles.....	50
IV-1-3-Les roses des vents saisonnières.....	51
IV-2-Analyse de la vitesse moyenne du vent à10m :	52
IV-3- Analyse de la vitesse moyenne du vent à50m :	57
Conclusions	61
Bibliographie	62

Introduction générale

L'énergie éolienne est une source d'énergie nouvelle est renouvelable en plein expansion ces dernières années vu son rôle dans la diminution des énergies traditionnelles polluantes. L'objectif de notre travail est l'utilisation des données du vent en surface à 10m fournies par le centre Européen des prévisions à moyen terme (ECMWF) pour la période (1990-2018) dans le but d'évaluer l'énergie éolienne de la région de Hassi-R'mel (Sud-Est Algérien). Les données sont ajustées par une loi de weibull à deux paramètres (K, A) pour caractériser la puissance énergétique de la région à différentes échelles temporelles. Les résultats sont comparés aux résultats issus des observations de la station de mesure de Hassi R'mel ainsi que ceux trouvés dans la littérature. Notre travail est réparti comme suit :

Chapitre I : concerne la dynamique atmosphérique, y compris la description de la couche limite d'air (CLA) Nous aborderons également les définitions et les caractéristiques du vent principal et les divers critères qui régissent mieux que d'autres variables indispensables à mesurer.

Chapitre II : est consacré à une étude de référence sur l'énergie éolienne (méthodes d'estimation, de répartition, etc.

Chapitre III : est dédié aux statistiques du vent et potentiel éolien.

Dans le **chapitre VI** : une étude du potentiel éolien de la région de Hassi R'mel est présentée avec analyse et critique des résultats. En fin une conclusion générale sur les principaux résultats trouvés

Chapitre I : Généralités sur le vent synoptique

I-1-Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter un aperçu de l'atmosphère et de sa structure en mettant l'accent sur la couche limite atmosphérique sa structure, la stabilité des différentes couches.

Après, nous donnerons un aperçu du vent et de ses caractéristiques. Nous déterminerons la nature des mesures de vent, les mesures synoptiques, leur origine et les différentes forces qui les régissent. Dans la troisième partie, nous discuterons des caractéristiques du vent.

I-2-L'atmosphère :

L'atmosphère est formée d'un mélange de gaz et de particules qui entourent le globe. Vue d'espace, l'atmosphère forme une fine couche d'air d'une épaisseur de 1000Km [1] constituée de couches qui forment des anneaux autour de la terre et s'étend sur quelques centaines de kilomètres d'altitude, mais confinée en majeure partie sur une hauteur de 50 kilomètres au-dessus de la surface terrestre voir.

La couche de l'atmosphère la plus proche de la surface est la troposphère, qui s'étend jusqu'à environ 15 kilomètres d'altitude.

La troposphère contient des gaz essentiels à la vie et sont présents à l'état naturel, comme l'oxygène et l'azote, ainsi que la majeure partie de la vapeur d'eau de l'atmosphère. [4]

I-3- Notion d' échelle :

Les mouvements qui se produisent dans l'atmosphère sont les résultats des interactions de différentes composantes telles que l'océan, la surface terrestre, la biosphère, dont l'animateur principal est le rayonnement solaire. Ces mouvements d'air se produisent dans des plages d'espace et de temps très différentes. Chaque phénomène météorologique appartient à une échelle spécifique. Ces échelles spatio-temporelles sont au nombre de cinq (l'échelle planétaire, micro échelle, l'échelle synoptique, l'échelle aérologique, méso échelle)

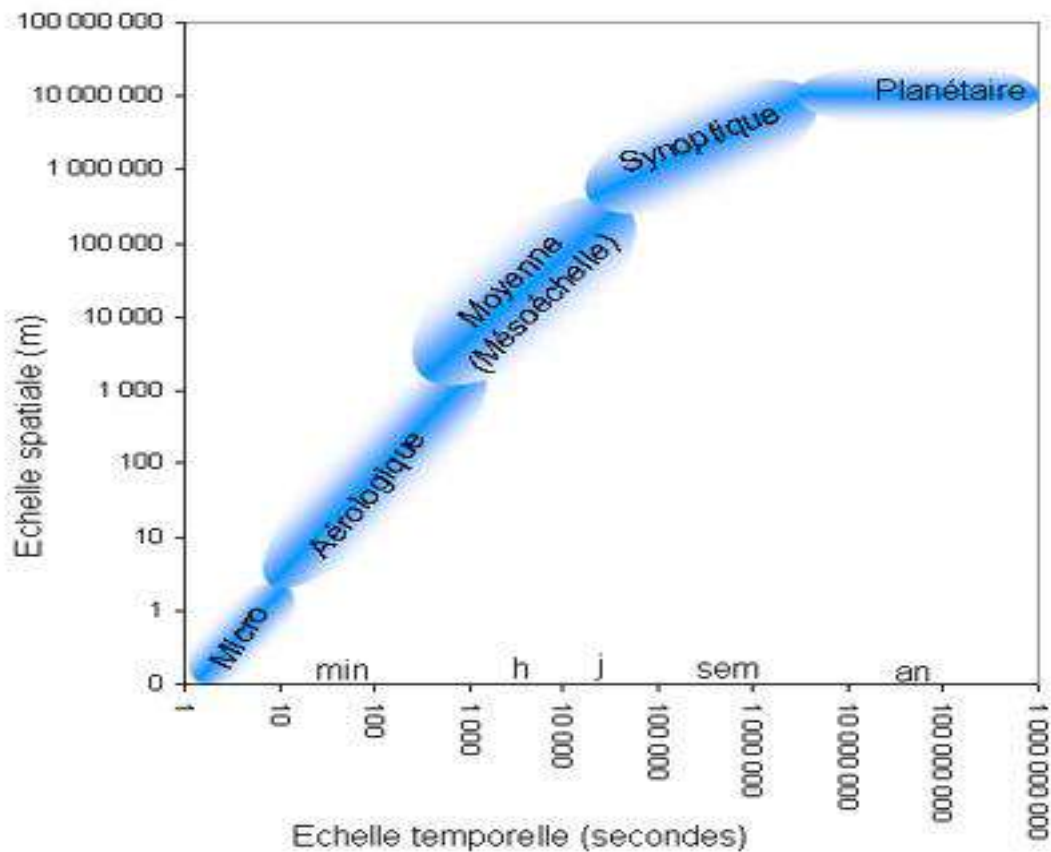


Fig. (I-1) : Echelles des principaux phénomènes météorologiques

I-3-1- L'échelle planétaire :

Les phénomènes météorologiques atteignent une portée planétaire de plusieurs milliers de kilomètres et leur durée de vie varie de plusieurs mois à un an. Comme exemple citant le **Jet Stream** qui correspond à un phénomène planétaire couvrant de très grandes surfaces de l'atmosphère à haute altitude (7 à 12 km du sol) [8].

I-3-2- L'échelle synoptique :

En météorologie, les phénomènes atmosphériques dans l'échelle synoptique vont de quelques milliers de kilomètres à des dimensions horizontales, de quelques kilomètres à une dimension verticale et à quelques jours. Comme exemple, citant les dépressions, les ouragans.

A l'échelle synoptique, la vitesse moyenne horizontale de l'air est de 10 m / s et la vitesse verticale est de seulement 1 cm / s.

I-3-3-Méso-échelle ou échelle régionale :

Cette échelle est définie par les dimensions horizontales de phénomènes allant de 10 à 100 km et de durée allant de quelques heures à un jour, voir plusieurs jours dans certains cas.

I-3-4-L'échelle aérologique :

Elle concerne tout phénomène ayant des dimensions horizontales de 1 à 10 km et d'une durée de vie d'ordre de l'heure. Comme exemple citant les nuages cumuliformes, les orages, les tornades qui relèvent de cette catégorie..

I-3-5-Micro échelle ou échelle turbulente :

Cette métrique est utilisée dans le domaine de la météorologie et de l'océanographie pour surveiller ce qui se passe à deux kilomètres de distance en quelques secondes à dix minutes. La petite échelle est également utilisée pour étudier des phénomènes de très petite taille, tels que les modifications de l'écoulement de l'air dues à la rugosité du sol, aux frottements qui en résultent (vent qui souffle) ou à la formation d'un froid lors d'une tempête et à la formation d'un ouragan, par exemple [26].

Nous arrivons au concept que l'échelle météorologique est la distinction entre les mouvements horizontaux et verticaux.

Le tableau I-1 présente les différentes échelles des mouvements troposphériques.

Tab.(I-1) : phénomènes météorologiques à différentes échelles

Les échelles	t(Temps)	L(Longueur)	les phénomènes
L'échelle Aérologique	Quelques heures	01 à 10 km	Orages isolés, Tornades, Convection thermique
Micro échelle ou échelle turbulente	environ 10 mn	≤ 02 km	turbulence, convection, diffusion de polluants d'une usine dans une ville ou d'un site industriel se situant dans ce domaine
Méso échelle ou échelle régionale	quelques minutes à quelques jours	$02 \text{ km} \leq L \leq 2000 \text{ km}$	brises, fronts, transport de polluants provenant d'un site urbain ou industriel, ou encore à l'échelle d'une région, d'un pays à un autre se situant dans ce domaine.
Echelle Synoptique ou échelle planétaire	environ 10 jours et plus	$\leq 2000\text{km}$	circulation des cyclones et anticyclones des régions tempérées, les ondes planétaires ; la pollution de la stratosphère.

I-4-Structure de l'atmosphère :

L'atmosphère est divisée en plusieurs parties en fonction du gradient vertical de la température pris dans les conditions d'une atmosphère standard. L'atmosphère est structurée en quatre couches séparées par des zones de transitions dans lesquelles le gradient de température est nul. (Figure I. 2)

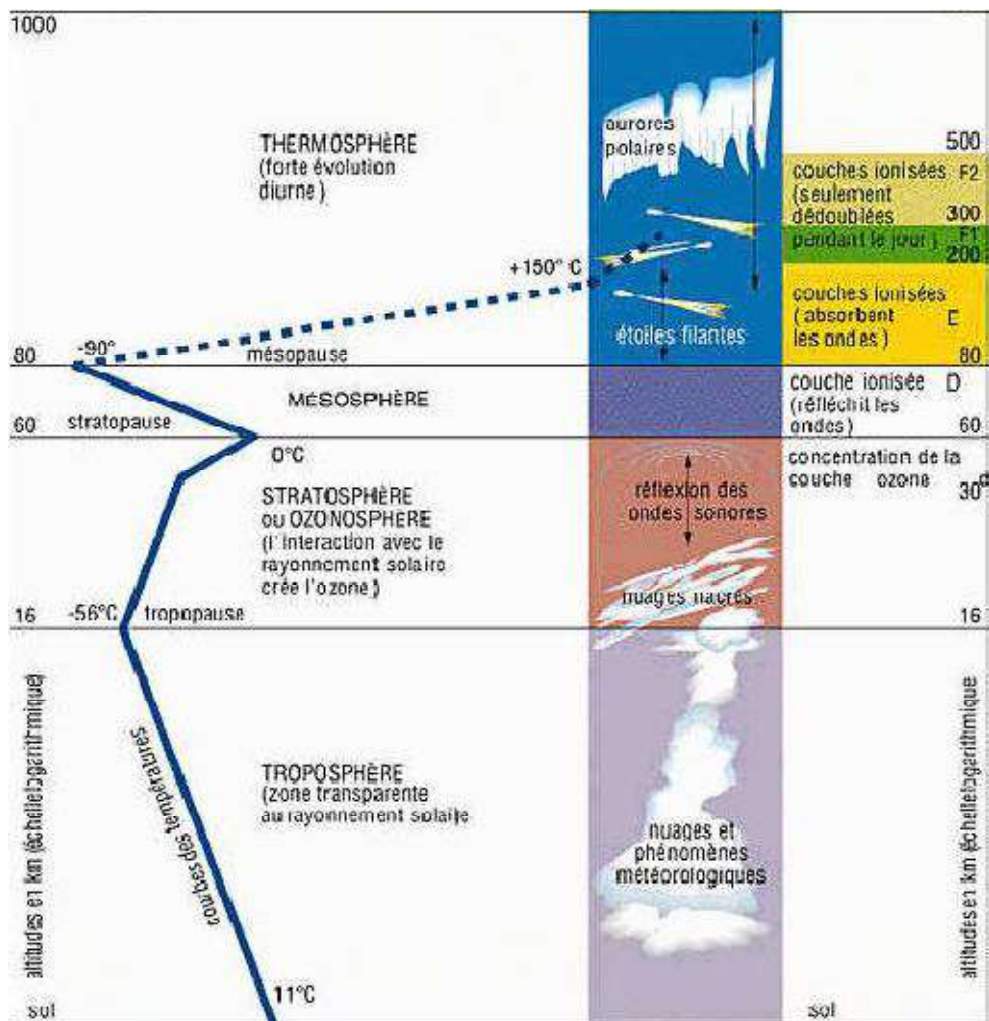


Fig. (I-2) : structure verticale de l'atmosphérique

Troposphère : représente la couche de l'atmosphère la plus proche du sol. Son épaisseur varie, d'une hauteur de 7 km au-dessus des pôles jusqu'à 18 km au-dessus de l'équateur et environ 13 km, selon la saison, dans certaines zones.

Dans la troposphère, la température décroît d'une façon significative d'environ 6°C tous les 1000 mètres pour atteindre -56°C à la tropopause. Cette dernière marque la séparation entre troposphère et la stratosphère.

Stratosphère : Couche située au-dessus de la troposphère et délimitée par l'ionosphère. Inclut la couche d'ozone. Ce dernier est nécessaire à la vie sur terre car il absorbe la plupart des rayons ultraviolets extrêmement nocifs pour tout organisme. Cette absorption provoque la libération d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température croit dans la stratosphère jusqu'à une valeur de 0°C à une distance de 60 Km.

Mésosphère : La mésosphère est au-dessus de la stratosphère. Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre -80°C à une altitude d'environ 80 km. Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la mésosphère à cause de la friction de l'air. Ce phénomène nous apparaît sous la forme « d'étoiles filantes ».

Thermosphère : La couche la plus haute est la thermosphère. Dans cette couche se trouve la région auprès des pôles se forment les aurores boréales et australes. La température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace. La thermosphère devient presque nulle et les molécules d'air sont très rares. La partie inférieure de la thermosphère est appelée l'ionosphère. L'ionosphère réfléchit les ondes courtes (ondes radio). Ces ondes émises par un émetteur, rebondissent sur l'ionosphère et sont renvoyées vers la Terre. Si elles sont retournées avec un certain angle, elles peuvent faire presque le tour du globe.

I-4-1-La couche limite atmosphérique :

La couche limite atmosphérique (CLA) est la couche qui représente la troposphère directement affectée par la surface de la Terre (Fig. I.3). Elle se situe en moyenne entre la surface de la Terre et s'étend généralement de quelques centaines de mètres à 1 500 mètres, parfois jusqu'à 2 000 mètres. Au-dessus de la CLA, l'effet de surface est négligeable, les forces de frottements sont quasiment nulles et l'écoulement de l'air obéit aux lois du géostrophisme.

C'est un lieu d'échange d'énergie entre la surface et l'atmosphère sous forme de flux de vapeur d'eau et de quantité de mouvement. L'épaisseur de la CLA varie en fonction de la vitesse du vent, de la rugosité de la surface du sol et du rayonnement solaire.

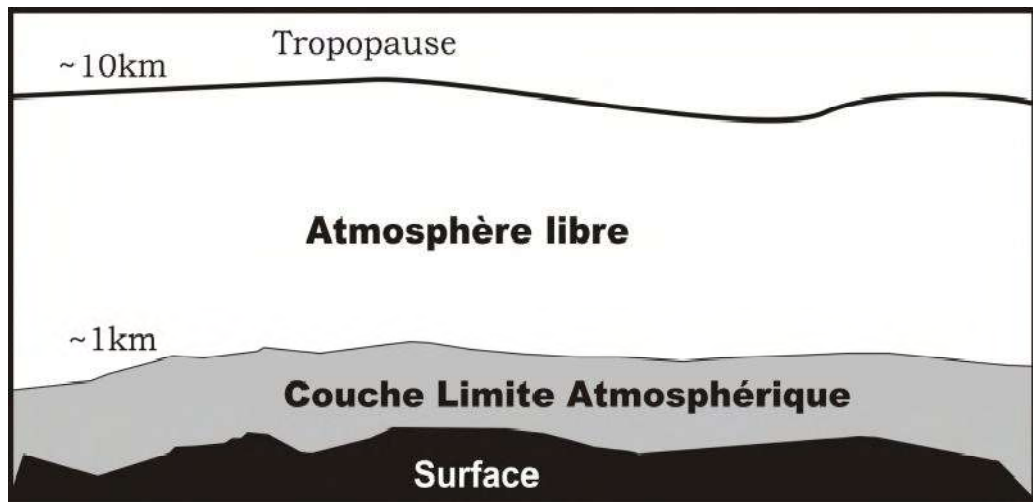


Fig. (I-3) La couche limite atmosphérique

I-4-1-1-Structure de la Couche limite atmosphérique (CLA)

Le CLA peut être divisé en trois sous-couches (Figure I-4), la couche de surface de la limite (CLS), la couche de limite d'Ekman et l'atmosphère libre [4] (figure I-4) :

I-4-1-4-1-Couche limite de surface (CLS)

L'épaisseur de cette couche est comprise entre 50 et 100 mètres, constitue le fond de la CLA. Cette partie est en contact direct avec la surface de la terre. Dans cette région, les effets de la force Coriolis néglige les effets dynamiques Au sol par division thermique de l'air.

Divisez les deux couches en deux branches comme suit :

- **La première couche** :(sous le sol) représente les forces de friction Prédominante pour la couche d'air thermique. Dans ce cas, le trafic aérien est turbulent et directement lié à la rugosité du sol.
- **La deuxième couche** : est au-dessus de la première couche. Les effets de frottement sont négligés dans la couche d'air thermique [3].

I-4-1-4-2-Couche d'Ekman :

La couche Ekman représente le sommet de la CLA. Dans cette zone, la structure du vent est affectée à la fois par la division thermique et le frottement en surface, ainsi que par la force de Coriolis. Avec la hausse, les forces de friction sont presque négligées face au pouvoir de Coriolis. Direction du vent

Donc, il tourne et s'adapte aux vents géostrophiques à son apogée.

La surface de la terre est en contact direct avec la couche de surface. Dans Cette couche, la puissance de Coriolis est presque négligeable face aux effets thermiques et aux forces de

friction. La structure du champ de vent n'est pas compliquée Variable selon la nature et la rugosité du terrain [4].

I-4-1-4-3-L'atmosphère libre :

Dans l'atmosphère libre, le vent est uniforme, horizontal et peu turbulent. Sa vitesse constante représente le foyer des vents dit géostrophique. Les forces de pression et de Coriolis sont prédominantes et les forces de frottement négligeables.

Dans la couche limite atmosphérique, les forces de frottements sont prépondérantes. Ces forces induisent un comportement complexe du fluide atmosphérique. Notre travail se situe dans la couche limite surface (CLS).

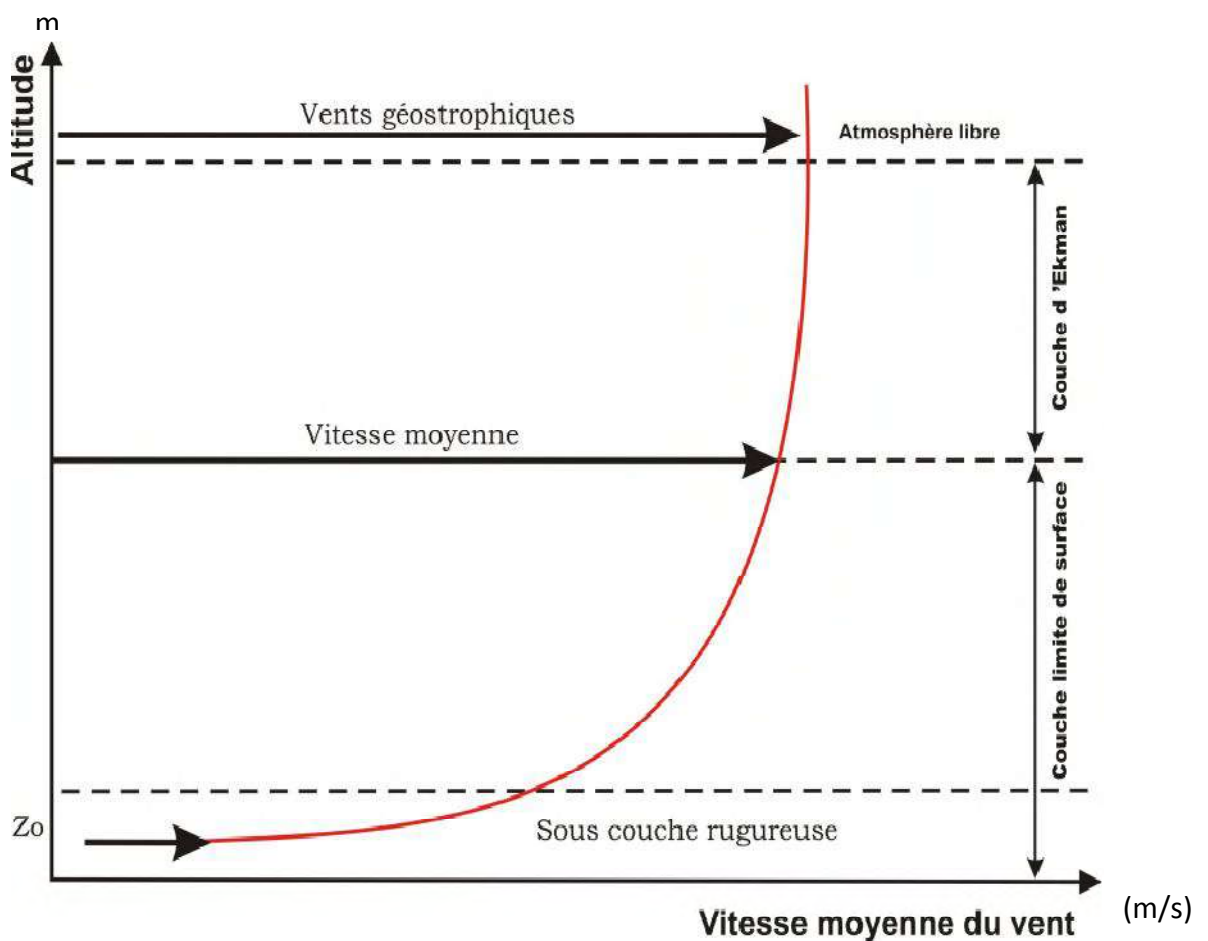


Fig. (I.4) : La couche limite atmosphérique [3].

I-5-Stabilité de l'atmosphère :

Au sein de la couche de CLA, les forces de friction dues au flux d'air sur une surface grossière indiquent une activité très turbulente dans le fluide d'air [6] :

- On peut faire abstraction de la force de Coriolis, car elle est faible devant les autres forces en présence, notamment les forces de frottement.
- La proximité du sol modifie le profil de vitesses de vent et induit un fort cisaillement.
- La direction sera modifiée par la présence d'obstacles.
- La distribution verticale de la température (stratification thermique de l'air) induit des mouvements verticaux des masses d'air chauffées et refroidies à proximité du sol

L'air est également sujet à des perturbations d'origine [7] :

- **Mécanique** : les turbulences sont générées par la proximité du sol qui modifie le profil de la vitesse du vent par la présence d'obstacles ou de discontinuités au sol.
- **Thermique** : les turbulences sont générées par la distribution de la température, due essentiellement aux différences de température qui résultent du réchauffement, le refroidissement, l'échange radiatif quotidien de la terre ainsi que d'écoulement d'air entre les régions chaudes et froides

L'atmosphère présente de nombreuses conditions décrivant la source de la perturbation dominante : la couche limite est instable si l'expulsion de l'air amplifie verticalement son mouvement. Si un morceau d'air abandonné revient à sa position initiale, l'atmosphère est dite stable. Enfin, si la production mécanique de la perturbation est très supérieure à la production par flottabilité ou si la production de flottabilité est proche de zéro, on dit que le CLA est neutre. Un ciel dégagé et des vents légers entraînent une couche frontalière instable le jour et une nuit stable. Lorsque le vent est fort, le CLA devient neutre ou presque neutre. Par vent faible, le cycle de jour a été observé lors de mesures de perturbations à travers la séquence de différentes situations de stabilité atmosphérique

I-5-1-Influence de la stratification thermique :

L'élément le plus important dans la description de la structure du CLA est la stabilité, qui peut être illustrée (dans une atmosphère sèche) simplement en utilisant l'exemple suivant :

Nous examinons les particules d'une zone de la taille d'une unité qui, lorsqu'elles montent, s'élèvent verticalement du niveau Z_1 au niveau Z_2 , ce qui entraîne l'expansion et l'expansion de la particule d'air. La poussée d'Archimède dépend de la croissance du volume et de la densité du milieu environnant. La masse de particules est soumise à la force \vec{F} qui est compté positivement lorsqu'il est dirigé vers la présence :

$$\vec{F} = - \frac{g(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1} \quad (\text{I} - 1)$$

Où ρ_1 et ρ_2 représentent respectivement la masse volumique en Z_1 et Z_2

En utilisant la loi des gaz parfaits on démontre :

$$\vec{F} = - \frac{g}{T_2} Z \frac{d\theta}{dz} \quad (\text{I} - 2)$$

Selon que $d\theta/dz$ est positif ou négatif

\vec{F} dirigée vers le bas ou vers le haut

- si $\frac{d\theta}{dz} > 0$ la particule est en équilibre instable.
- si $\frac{d\theta}{dz} < 0$ la particule est en équilibre stable.
- si $\frac{d\theta}{dz} = 0$ la particule est en équilibre neutre.

Où θ est la température potentielle de particule définie par:

$$\theta = \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (\text{I} - 3)$$

Avec $R/C_p = 0,286$,

P est la pression au niveau de particule.

P_0 est la pression au niveau de surface.

Notre orientation est de déterminer le profil du vent à partir de la couche étudiée

Est neutre ou thermo critique, comme il est, il est très important que nous ayons en Energie éolienne, Modifications de la configuration logarithmique de la vitesse du vent Sous l'influence du changement de stabilité et sont les plus importants dans la plupart des cas, Le paragraphe ne mentionne que les variations dans le fichier vertical de la vitesse du vent autour de Régime neutre.

Considérez l'effet de la variation d'un flux thermique raisonnable Sans avoir à étudier chaque profil de vent individuellement, la méthode est adoptée Relativement simplifié et ne nécessitant que des variables d'entrée Le flux de chaleur climatique et carré est raisonnable.

I-5-2-Influence des obstacles :

Le frottement de l'air à la surface du sol est causé par la résistance du flux d'air des éléments de surface, aux bâtiments et autres. L'effet global est formé en utilisant une longueur approximative. Cependant, dans le voisinage immédiat d'une barrière à une distance comparable à la hauteur de cet obstacle, le vent a subi des changements relativement importants, en particulier après l'obstacle. Après tout obstacle (trille, grange ou maison), les formes géométriques de l'obstacle sont cruciales. Par exemple, le vent à l'arrière du bâtiment dépend fortement de la géométrie de la surface et de l'angle de propagation du vent. De plus, tomber sur d'autres obstacles peut compliquer et compliquer le problème.

La raison la plus importante pour traiter ce problème dans cette étude est que pour une grande partie des stations météorologiques d'Office National de la Météorologie, les jeux de données brutes de vent sont influencés par la présence des différents obstacles autour du capteur anémométrique. Le modèle appliqué dans cet Atlas Vent doit être considéré surtout comme un moyen de correction des données de base influencé par des obstacles individuels. Ces obstacles sont supposés suffisamment éloignés pour ne constituer que de faibles perturbations, évitant ainsi les complications dues aux sillages des obstacles voisins.

Pour des obstacles à deux dimensions tels que les grandes lignes d'arbres. [5]

$$\eta = \frac{z_a}{h} \left(\frac{0.32}{\ln(h/z_0)} \cdot \frac{x}{h} \right)^{-0.47} \quad (I-4)$$

Où

h = hauteur de l'obstacle

z_a = hauteur de l'anémomètre

X = distance sous le vent

Les températures urbaines varient dans les zones rurales, où la température des villes est plus élevée que dans les zones rurales et il y a un mouvement d'air similaire à celui provoqué par les marais. L'appel à l'air va aux villes. De même, les grands espaces ouverts de la ville permettent de créer des brouillons [27].

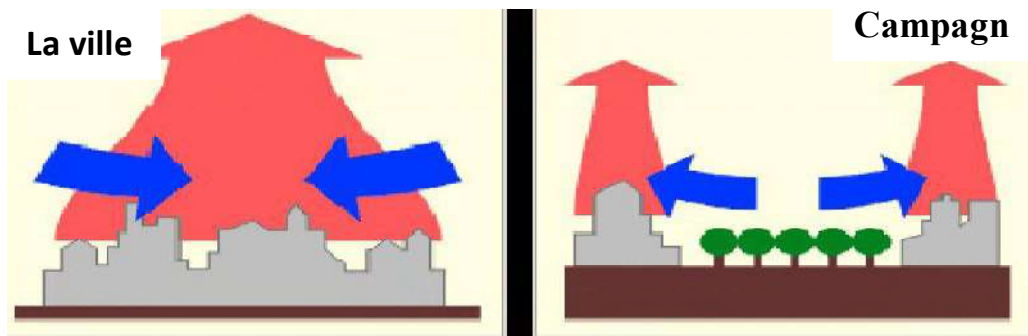


Fig. (I-5) : La différence entre la température et l'effet du mouvement entre les villes et les campagnes

Les obstacles entraînent des modifications de la vitesse et de la direction du vent. Par exemple : quand le vent rencontre un mur, il doit partir. Un corps venteux fait face à une pression excessive alors que son autre côté est en dépression.

Ceux-ci sont importants la vitesse du vent dans la ville est moindre qu'en sites dégagés tels que les champs et les étendues d'eau.

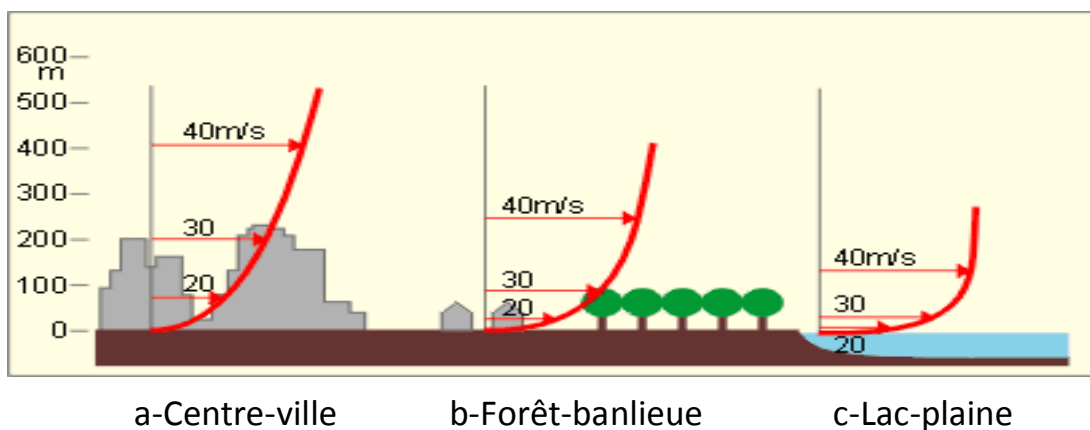


Fig. (I-6) : Changement de la vitesse du vent en hauteur pour : (villes : a), (campagnes : b) et (niveau de la mer : c)

I-5-3-Influence de l'orographie :

Dans cette section, nous abordons un modèle orographique permettant de corriger les mesures de vent des extrémités du terrain local du terrain local autour de la station météorologique. Une plus grande attention est accordée à l'impact des ondulations de la Terre sur une échelle horizontale de plusieurs dizaines de kilomètres.

Le modèle présenté ci-dessous présente de grandes similitudes avec les modèles familiaux de Tapez MS3DJH sur la base d'une analyse du flux d'air à travers les collines Jackson et Hunt (1975). Le modèle utilise des coordonnées très haute résolution Polaire [5].

L'orographie peut procéder à des ajustements en fonction des données générales sur le vent. Ces changements se produisent à moyenne ou grande échelle. Effet de relief sur la protection de certains sites, mais exposant également d'autres. De plus, le vent dominant peut être réglé sur de grandes surfaces. D'autre part, il montre deux plans pour le flux de vent pour une colline et la dépression

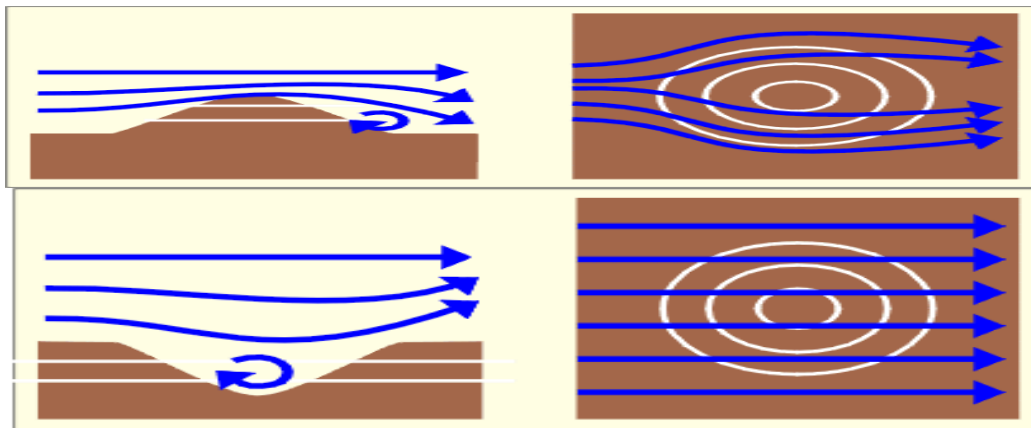


Fig. (I-7): Représenter le flux du vent dans les l'orographie

I-6-L'Origine de vent :

L'air qui forme l'atmosphère est un mélange de gaz et de particules solides ou liquides, concentré dans la couche de troposphère. Dans cette région, le mouvement de l'air par rapport aux fluides souterrains, appelé vent, résulte de l'équilibre des forces existantes [1] leur composition est relativement constante jusqu'à une hauteur inférieure à 100 km et consiste principalement en azote et en oxygène. Presque toute sa masse se situe à moins de 16 km d'altitude, dans les couches inférieures de l'atmosphère [4].

Lorsqu'il y a une différence de pression entre deux points, l'air s'écoule de l'endroit où la pression est la plus élevée à l'endroit où il est le plus bas. Dans l'atmosphère, la pression atmosphérique entraîne l'air dans les zones à haute pression (H) et dans les zones à basse pression (B). Tout le vent est causé par la différence de pression [28].

Le mouvement des masses d'air, appelé vent, n'est que le résultat de l'équilibre d'un groupe de forces :

I-6-1-la force gradient de pression :

Elle est due à la différence de pression entre les points de la surface de la terre. Elle entraîne l'air des hautes vers les basses pressions. Plus les différences de pression sont importantes et plus cette force est importante. En pratique lorsque l'on observe les isobares d'une carte météorologique, plus elles sont rapprochées et plus le vent est fort [3].

I-6-2-La force de Coriolis :

La puissance de Coriolis est due à la rotation de la Terre elle-même en tant que place centrale dans la description mathématique du vent et des courants marins.

$$\vec{F}_c = -2\vec{\Omega} \Lambda \vec{V} \quad (\text{I-7})$$

Où :

\vec{V} : est la vitesse de déplacement des particules par rapport à la terre, c'est-à-dire la vitesse du vent

$\vec{\Omega}$: est la vectrice rotation la vitesse angulaire instantanée terrestre, son module a pour valeur la vitesse angulaire de rotation de la terre, soit ($\Omega = 7.29210 \cdot 10^{-5} \text{ radian} \cdot \text{s}^{-1}$) [2].

I-6-3- Forces de frottement :

Ces forces traduisent le frottement turbulent de l'air avec le sol. Elles interviennent dans la couche limite atmosphérique. La force gravitationnelle et la force du gradient de pression sont les deux forces qui peuvent initier un mouvement de l'air. Leurs actions se font ressentir près du sol dans une zone appelée couche limite atmosphérique [7].

I-7-Le vent géostrophique :

La rotation de la Terre entraîne des complications qui changent de la référence : passage d'un repère universel à un repère terrestre ce changement de référence conduit à l'apparition d'un terme supplémentaire dans les équations de flux : une force fictive appelée "force de Coriolis". La force de Coriolis doit être équilibrée avec la force résultant de la pression du gradient. Il produit un changement de direction du vent : c'est le vent géostrophique.

$$\mathbf{v}_g = - \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{I-8})$$

Où :

f : le paramètre de Coriolis \mathbf{v}_g : Sont les composantes (dans les directions x et y) de la vitesse du vent géostrophique.

ρ : La masse volumique de l'air ; P_a : la pression atmosphérique.

Produit par les changements de température et de pression, car le soleil réchauffe les environs de l'équateur, à une latitude de 0° , beaucoup plus que d'autres parties de l'équateur. Monde Avec une densité inférieure à celle de l'air froid, l'air chaud s'élève à une hauteur d'environ 10 km. Puis s'étend au nord et au sud. Si la terre ne tourne pas, les courants d'air iront au nord et au sud des pôles avant .Pour atterrir à nouveau (après refroidissement) et retourner à l'équateur mais l'air monte à l'équateur et s'étend vers le nord et le sud jusque dans la haute atmosphère. Dans les deux hémisphères, à environ 30 degrés de latitude. [4]

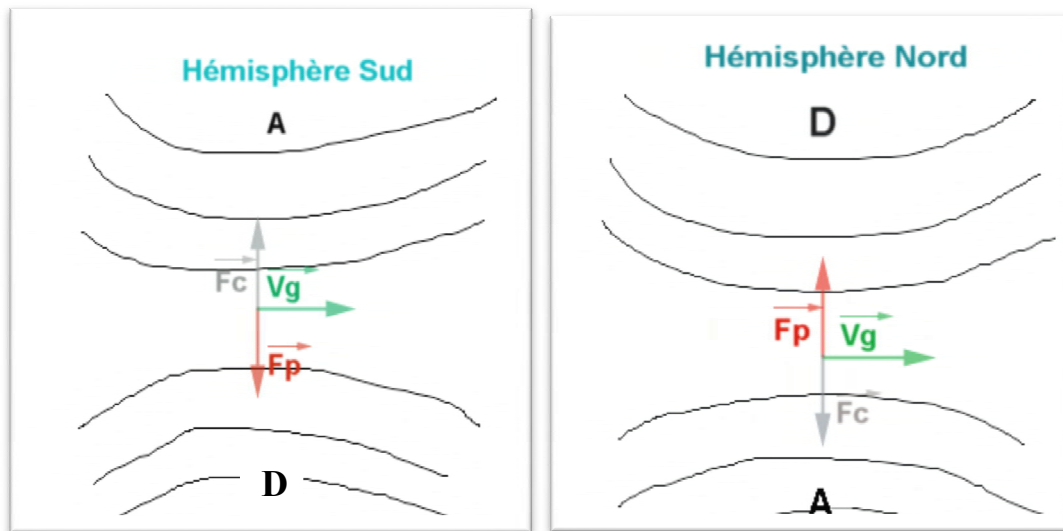


Fig. (I-8) : Vent géostrophique dans l'hémisphère Nord et dans l'hémisphère sud.

Où :

\vec{F}_C : La force de Coriolis. \vec{F}_p : La force de pression. \vec{F}_g : Vent géostrophique.

Les vents dans l'hémisphère Nord à basse pression à gauche et à haute pression, au contraire dans l'hémisphère Sud, exerceront une forte pression à gauche et une dépression à droite,

Les vents se déplacent également dans la direction opposée autour des zones de basse pression et dans le sens des aiguilles d'une montre autour des zones de haute pression.

Dans l'hémisphère sud, le gyroscope est inversé : ces vents sont appelés vents synoptiques par rapport aux vents locaux [29].

I-8-Direction et vitesse du vent :

La direction du vent a été donnée conformément à la loi de Buys-Ballot pour répartir le champ de pression.

En principe, le vent souffle des zones de haute pression vers les basses terres. Cependant, aux latitudes moyenne et élevée, leur orientation est ajustée par la rotation de la terre. Ensuite, le vent devient parallèle aux isobares plutôt que d'être verticalement. Dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour des cyclones et dans la direction directe autour des zones anti-nivelées. Dans l'hémisphère sud, les sens inversés par rapport aux précédents.

I-9-Caractéristiques du vent :

La puissance du vent est une sensibilité constante à tout moment de la planète, dans un lieu particulier et pendant une période solaire. La vitesse du vent est très variable selon les jours et les lieux [12]. Le tableau I-1 présente la classification des vents de Beaufort illustrée ci-dessous.

Tab. (I-2) : Echelle Beaufort [13] [14] :

Nombre de Beaufort	Terme générique	Vitesse du vent à 10 m de hauteur
(degré)	(descriptif)	en km/h
0	Calme	Inférieure à 1
1	Très légère brise	1 à 5
2	Légère brise	6 à 11
3	Petite brise	12 à 19
4	Jolie brise	20 à 28
5	Bonne brise	29 à 38
6	Vent frais	39 à 49
7	Grand frais	50 à 61
8	Coup de vent	62 à 74
9	Fort coup de vent	75 à 88
10	Tempête	89 à 102
11	Violente tempête	103 à 117
12	Ouragan	Supérieure à 118

Le vent, de par sa nature aléatoire, présente une grande fluctuation que l'on peut classer en deux groupes : la variation temporelle et la variation spatiale....

I-9-1-Fluctuation temporelle :

Les vents étant des sources intermittentes, leur direction et leur vitesse changent rapidement avec le temps. Parallèlement à ces changements, l'énergie et le vent disponibles à un endroit donné varieront. Ces variations peuvent être de haute fréquence, comme le montre la (Fig.I-9.a), où la vitesse enregistrée fluctue pendant 30 secondes de 5,1 à 7,2 mètres / seconde. La variation peut être à fréquence moyenne, comme c'est le cas pour les vitesses journalières ou horaires, comme indiqué à la (Fig. I-9.b), avec une vitesse du vent supérieure à celle du jour. Pour la variabilité à basse fréquence, elles sont liées aux variations saisonnières et mensuelles, comme illustré à la (Fig. I-9.c) et à la (Fig. I-9.d)

Figure (I-9) : Changements temporels de la vitesse du vent

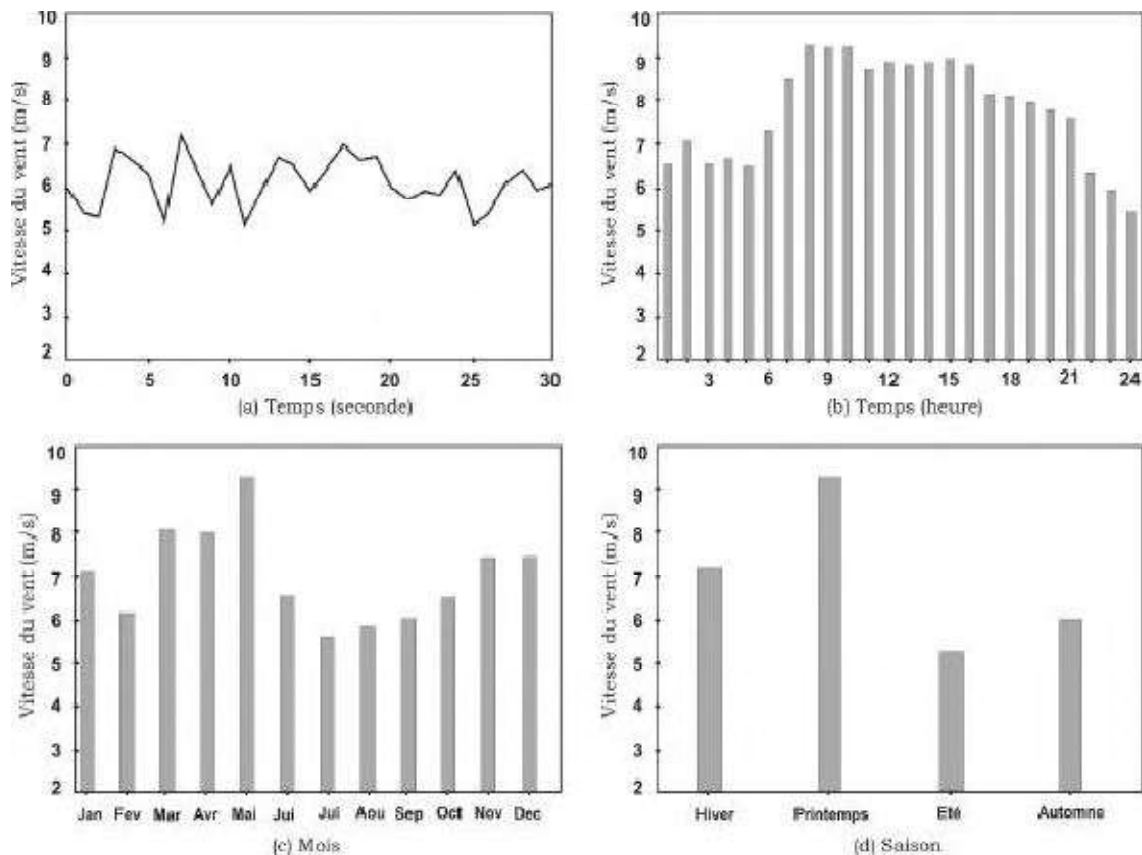


Fig. I-9 : Variations temporelles de la vitesse du vent

I-9-2 - Fluctuation spatiale :

Le vent est également caractérisé par une variation spatiale et comprend donc deux catégories. D'une part, la variation spatiale régionale dépend de la latitude, du soleil et des altitudes (géographie et physique). D'autre part, la variation spatiale locale prend en compte le terrain, les obstacles et la rugosité du sol.

I-10-Mesure du vent :

Le vent est un paramètre très variable dans le temps et dans l'espace et sa mesure est précise car très sensible aux obstacles environnants. La vitesse du vent est plus sensible aux obstacles que sa direction. L'anémomètre et les vents sont installés côte à côte, nous nous concentrons sur la vitesse et la direction du vent.

La composante horizontale du déplacement de l'air en un point et à l'instant dans une direction donnée est agencée, elle atteint également une vitesse spécifique appelée vitesse du vent. Il est généralement mesuré en mètres par seconde (m / s), en kilomètres par heure (km / h), mais aussi en kilomètres ou miles par heure. Les modules de relation suivants : $1 \text{ m / s} = 3,6 \text{ km / h} = 1,94 \text{ nœud}$. Les outils utilisés pour mesurer la vitesse du vent sont la jauge de pression.

I-10-1-Le vent de surface :

Jusqu'à environ 100 m de hauteur, l'influence de la surface du sol sur les vents est importante. Ainsi, comme nous allons voir par la suite, la rugosité du terrain ainsi que les obstacles naturels ou artificiels peuvent freiner les vents. A cause de la rotation de la terre, les directions des vents près de la surface diffèrent également un peu de celles des vents géostrophiques (cf. la force de Coriolis).

En matière d'énergie éolienne, ce sont les vents de surface et leur capacité énergétique qui présentent le plus grand intérêt. [1]

I-10-2-Le vent en altitude :

Le contrôle de la hauteur fait partie intégrante du système de surveillance mondial. Ces données proviennent de réseaux de sondes sans fil, de mesures effectuées à l'aide d'instruments à ballon mobiles et des données transférées au dispositif de suivi au sol. Ces radios constituent une base de données de variables atmosphériques remontant aux années 1930, bien que la couverture soit généralement faible avant 1957. La série des données radiosonde est caractérisée par des interruptions systématiques et des erreurs dues aux modifications des données. Outils pour les procédures opérationnelles, ainsi que le manque d'altitude. Des observations satellitaires ont été découvertes depuis les années 1970, dont certaines ont été regroupées et retraitées pour former une série chronologique continue.

I-10-2-1-Ballon sonde :

Pour mesurer les vents d'altitude, en vitesse et la direction, on utilise des ballons sondes (la figure I-10). On suit la localisation de ces ballons à l'aide de radars ou du système GPS, puis

on déduit de l'évolution de leur trajectoire la vitesse et la direction du vent dans la zone où ils se trouvent. Les mâts de mesure ont l'avantage de fournir une information réelle sur le vent en un point donné, mais ils présentent de nombreux inconvénients pour établir des cartes éoliennes.



Fig. (I-10) : Ballon sonde

I-10-3-L'installation d'un poste d'observation :

En général, les données éoliennes disponibles dans tous les pays ont été recueillies près des agglomérations. Les populations se regroupent dans des zones abritées des tempêtes et des temps violents ; par conséquent, les données fournies par les aéroports, les bases militaires et les stations météorologiques ne sont pas toujours représentatives des vents qui soufflent en des lieux particulièrement exposés, ou le potentiel éolien de certaines zones peut être sous-estimé.

Il est donc nécessaire d'implanter des mâts dans des sites adéquats pour mesurer les paramètres du vent (Figure I-11). Ainsi, les règles de dégagement classiques de l'OMM [Organisation Météorologique Mondiale] sont de placer les capteurs à 10m au-dessus du sol et sur un terrain dégagé [9], devant respecter les critères suivants :

- Le pylône doit être installé à une distance au moins égale à dix fois la hauteur des obstacles environnants.
- Les obstacles ne doivent pas dépasser une hauteur de 5,5m dans un rayon de 100m autour du pylône.
- Les obstacles de hauteur inférieure à 2m peuvent être négligés.
- Un changement de relief dans un rayon de 100m est aussi considéré comme un obstacle.

- Les capteurs doivent être situés à une distance minimale de quinze fois la largeur d'un obstacle mince (mat, arbre mince) qui dépassent une hauteur de 8m. [4]

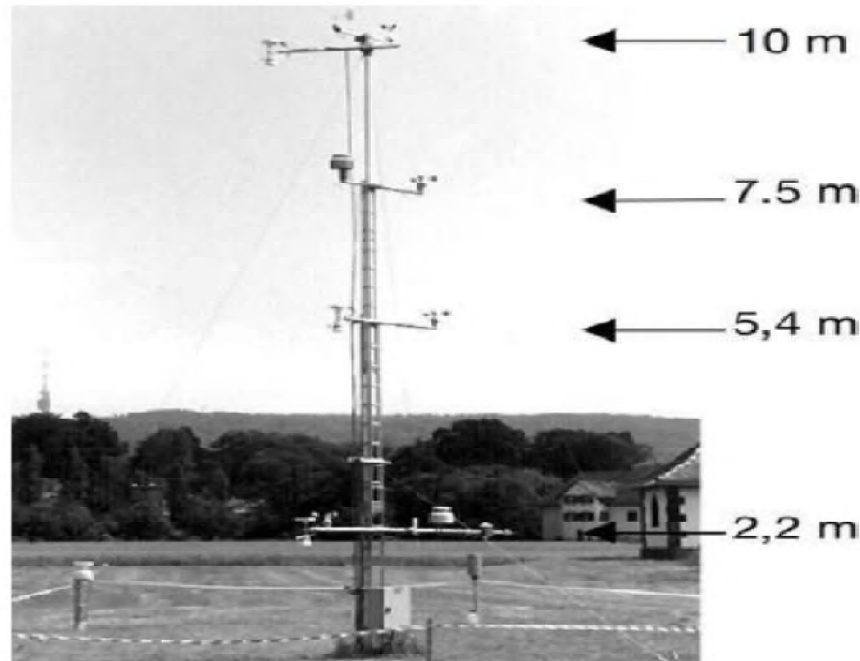


Fig. (I- 11) : Station météorologique de recherche.

La mesure du vent n'est pas perturbée uniquement par les obstacles environnants ; la rugosité des terrains exerce une influence. Pour l'OMM, le vent de surface est le vent qui souffle à une hauteur géométrique de 10m sur un site ayant une longueur de rugosité égale à $0,03m$. C'est en quelque sorte un vent de référence dont on connaît les conditions exactes de mesure. La classification proposée pour la mesure du vent est donc double. Une première classification concerne la rugosité du terrain environnant. La seconde concerne l'environnement proche et les obstacles éventuels.

I-10-4-Instruments de mesure du vent :

I-10-4-1-La mesure du vent par télédétection

Le SODAR (Sonic Détection and Ranging) (la figure I-13) est un outil de mesure à distance utilisé pour les mesures météorologiques. Les données atmosphériques sont calculées en utilisant la vitesse du son. Les mesures sont effectuées par l'émission d'un signal acoustique dont l'écho est analysé afin d'évaluer la vitesse, la direction du vent, ainsi que les turbulences atmosphériques.

D'une manière similaire, le LIDAR (Light Détection and Ranging) (la figure I-12) analyse le profil du vent au moyen d'un faisceau laser. Comme pour le SODAR, un rayon lumineux tridimensionnel de forme conique est envoyé dans l'atmosphère. Le décalage Doppler des

émissions laser diffusées par les particules atmosphériques est mesuré en vue de définir les caractéristiques du vent.

Les mesures SODAR et LIDAR offrent la possibilité d'analyser des profils de vent à diverses altitudes et sur l'intégralité de la surface de l'éventuel rotor. Ceci est d'autant plus intéressant pour des projets comprenant des éoliennes à grand rotor avec des hauteurs importantes.

Bien que les techniques de mesures par télédétection intéressent de plus en plus les professionnels dans le secteur de l'éolien, le recours aux mâts de mesures reste essentiel lors du développement d'un projet. Les mesures SODAR et LIDAR sont souvent utilisés de manière complémentaire aux données collectées par le mât. Elles permettent d'affiner les données existantes, en améliorant la compréhension du profil du vent dans les zones complexes d'un site donné [10].



Fig. (I-12) : LIDAR pour mesure de vent



Fig. (I-13) : SODAR pour mesure de vent

I-10-4-2-Indicateurs biologiques :

Si aucune donnée n'est disponible, les arbres et les arbustes sont souvent considérés comme un bon indicateur du vent. Ces vents forts peuvent être déformés par des conditions difficiles [11]. Différences des arbres et de leurs branches en fonction de la force du vent. (La figure I-14) montre le degré de déformation due au vent et (tableau I-3), ainsi que l'indicateur de déformation de Griggs-Putnam, représentés par les bandes de vitesse du vent correspondantes

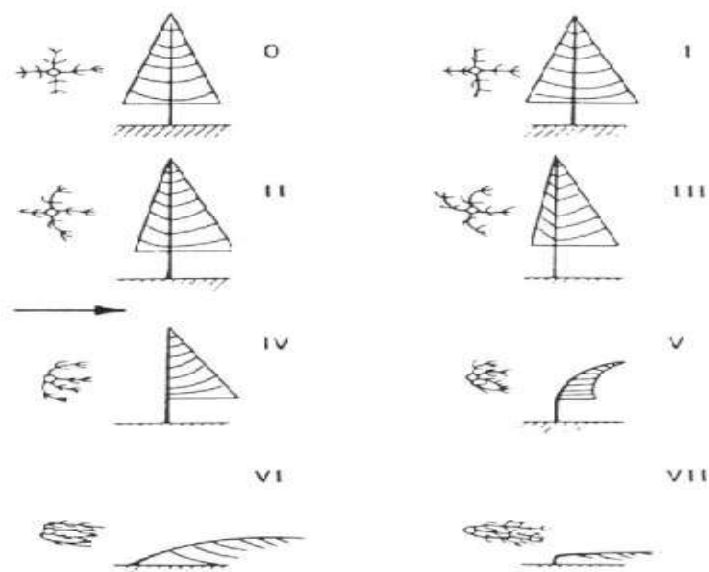


Fig. (I-14) : Index des niveaux de déformation de Griggs-Putnam

Tab. (I-3) : Indice de déformation de Griggs-Putnam

Indice	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
Vitesse du vent (m/s)	< 3	3.1-4.1	3.8-5.2	4.7-6.3	5.4-7.4	6.3-8.5	7.2-9.7	>7.9

-Le vent étant très variable, il nous est difficile de lire les données collectées à un endroit, ce qui pose le problème de la représentation représentative des mesures. Pour remédier à ce défaut, vous devez doubler le nombre de stations intéressées par le calcul des phénomènes se produisant au même endroit.

I- 10-5-3-La mesure des autres données météorologiques :

La température et la pression atmosphérique ont une influence directe sur la densité de l'air. Cela influe sur la vitesse du vent et par conséquent sur la production éolienne d'un éventuel parc. Il est donc utile de collecter ces données au cours de la campagne de mesure.

Le matériel qui mesure ces différents paramètres peut être placé sur le mât. Les informations peuvent également être obtenues par des stations météorologiques environnantes dans la mesure où ces données exigent une moins grande précision.

I-10-6-Les capteurs du vent :

Dans le domaine des capteurs conçus pour mesurer le vent, nous recherchons des instruments très précis (capables de détecter la moindre fluctuation), ayant le point de départ le plus bas possible et capables de résister aux vents les plus forts. Selon ces normes, les objectifs de recherche précis, qui sont des anémomètres (qui mesurent la vitesse du vent) sont régulièrement développés et des vents (qui mesurent la tendance) de plus en plus. Sophistiqué. Dans cette section, nous allons explorer les différents types de capteurs actuellement dans le vent. (L'ouragan du 26 décembre 1999 dans l'Est de la France/30-1-2019)

I-10-6-1-Anémomètre à coupelles :

Au sommet de l'échelle de vent se trouvent trois demi-balles à trois bras horizontaux. Les bras sont disposés à 120 degrés et capables de tourner par rapport à l'axe vertical, Axe vertical de traitement avec dispositif de comptage: vitesse du vent proportionnelle à la vitesse du vent.

L'unité obtient la vitesse du vent en calculant les impulsions pour une certaine période.

Possède une vitesse de démarrage de $0,25 \text{ m/s}$ et qui fonctionne jusqu'à 75 m s^{-1} avec une précision de $\pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$. Pour ce genre d'appareil c'est la rotation des coupelles qui indique la vitesse du vent horizontal.

La girouette, présentée sur la même figure, mesure la direction du vent dans le plan horizontal à une résolution de $\pm 2^\circ$ à partir d'un seuil de démarrage de $0,6 \text{ m s}^{-1}$. Ici c'est la rotation de l'empennage qui donne la direction du vent [9].

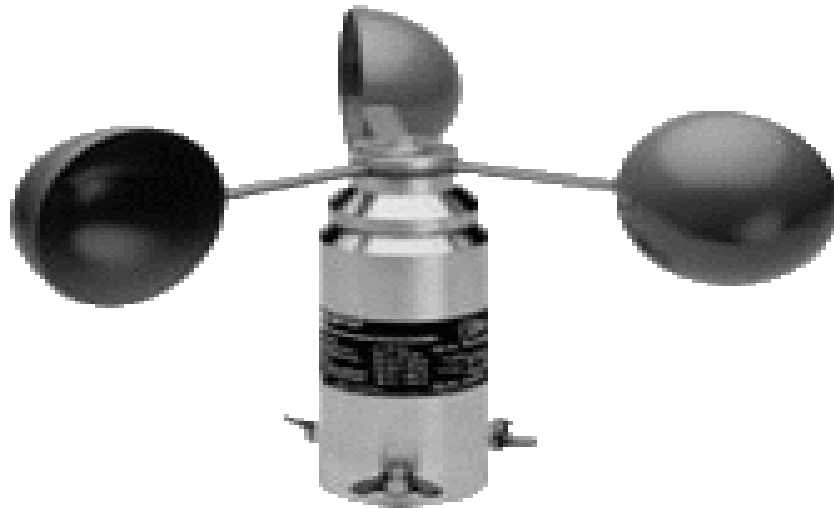


Fig. (I-15) : Anémomètre à coupelles

Unités de mesure : En mètres par seconde (m/s) ou en kilomètres par heure (km/h).

I-10-6-2-Girouettes :

Technique, facile à déterminer la direction du vent et l'invention des pales de vent est très ancienne. Récemment, il existe une large gamme d'appareils qui reposent presque tous sur le même principe: le système de rotation mécanique autour de l'axe vertical.

A l'intérieur du boîtier cylindrique se situe un dispositif (potentiomètre ou détecteurs optoélectroniques) qui traduit l'orientation de la girouette en un signal électrique verticillé vers la centrale d'acquisition des données.

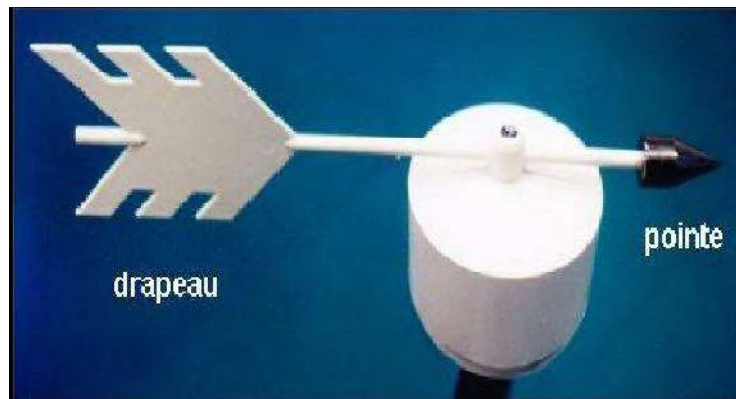


Fig. (I-16) : Girouette

Unités de mesure : Les points cardinaux ou les degrés d'orientation par rapport au nord géographique.

I-10-6-3-Anémomètre-girouette :

Ce capteur fournit l'angle de vent indiqué à 360 degrés. Il peut être facilement monté et retiré en haut de la page et fournit un angle corrigé avec la valeur stockée du mouvement mécanique d'élément éolien (généralement produite par toute installation dans la partie principale de la page d'accueil). Cette correction est nécessaire pour afficher l'angle de vent virtuel et la direction réelle du vent. La précision de la vitesse du vent est de $\pm 0,3$ m / s et de $\pm 3^\circ$ pour la direction du vent. Direction, pour seuil de sensibilité de 0,5 à 1 m / s[30].



Fig. (I-17) : Anémomètre-girouette

I-10-6-4- Anémomètre tridimensionnel à hélice :

Utilisation d'un ventilateur de pare-brise à ouverture tridimensionnelle (Figure I-18). Chaque ventilateur travaille pour mesurer la vitesse du vent le long de l'axe, en particulier vertical, ce qui permet de remodeler le bus vent en 3D. [15]

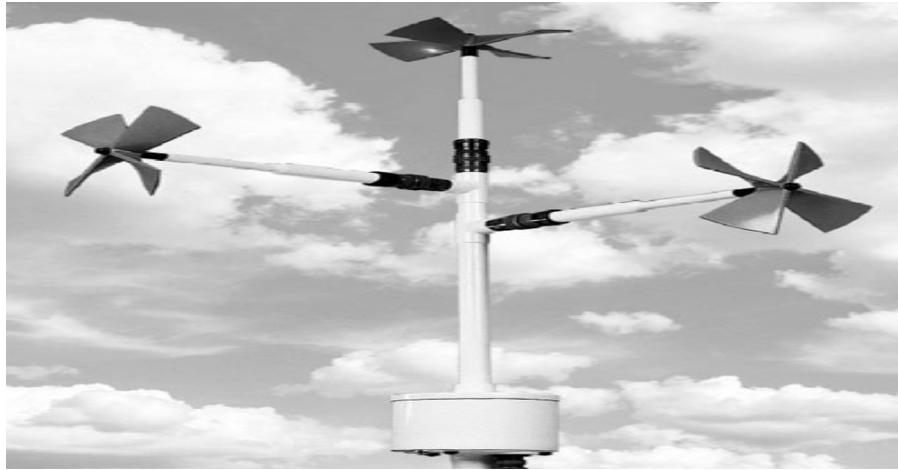


Fig. (I-18) Anémomètre tridimensionnel à hélice

I-10-6-5-Anémomètre sonique :

Les anémomètres soniques fonctionnent de manière radicalement différente (Figure I-19). Ils sont complètement hors des pièces mécaniques. Le couple des sondes produit des impulsions ultrasonores sur différents axes. Ces sondes sont utilisées en alternance, comme émetteur et récepteur. L'analyse des transitions transmises par les ondes sonores pendant le transit aérien permet de calculer la vitesse en fonction de ces axes et de déduire la direction du vent dans les trois dimensions.

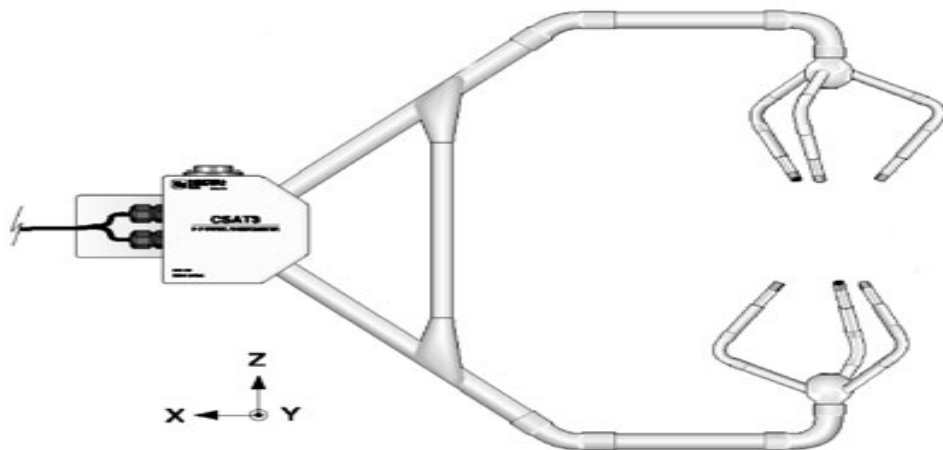


Fig. (I-19) : Anémomètre sonique

I-10-6-6-La manche à air (manche à vent) :

La manche à air est un outil qui nous dit l'origine du vent car il nous donne une approximation de la vitesse du vent. Il se compose d'un tube en tissu souple fermé à une extrémité c'est ce qu'on appelle combien est attaché au mât. Le vent se précipite à travers l'ouverture et excite combien Il y a toujours au moins trois barres rouges et deux barres blanches.

Ces bandes nous permettent d'estimer la vitesse du vent. L'ensemble du groupe s'est réuni Rapide 5 nœuds (environ 9 km / h). Alors, quand il y a cinq bandes de peinture sur toile On peut parfaitement horizontal dire qu'il y a des vents d'au moins 25 nœuds (environ 45 quelle heure est-il). Le tube peut également faire pivoter les billes sur son axe, ce qui nous permet de savoir Direction du vent. La plaie indique la direction du vent.

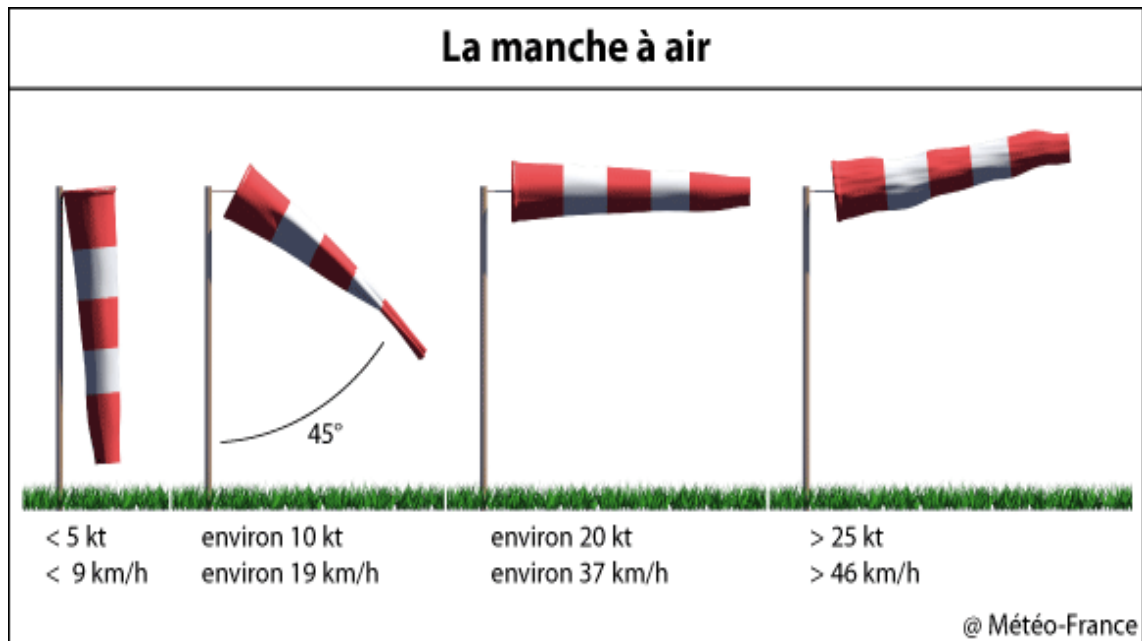


Fig. (I-20) : Manche à vent

I-10-6-7-Anémomètres

Cet appareil est indispensable pour la mesure du vent instantané et d'accéder au vent moyenne sur une durée de quelques minutes, si on dispose d'une centrale d'acquisition et du logiciel adéquat. Les anémomètres les plus répandus dans le domaine amateur sont les modèles à coupelles ou à hélice (voir Figure I.21). L'anémomètre à hélice et à coupelles en tête de mât de voiliers. L'anémomètre à coupelles peut fonctionner pour toute direction du vent, sans qu'il soit nécessaire de l'orienter préalablement. L'anémomètre à hélices moins répandu que l'anémomètre à coupelles, car plus coûteux, il est réputé pour mieux supporter les vents forts[15].



Fig. (I-21) : Anémomètres

Chapitre II : Généralités sur les éoliennes

II-1-Introduction :

Ce chapitre présente des généralités sur les éoliennes. Il sera divisé en quatre parties, dans la première partie, nous définirons brièvement le concept de l'appareil. La deuxième partie sera consacrée à la classification des éoliennes en fonction de leur axe de rotation et des différents composants des éoliennes axiales à axe horizontal, ainsi que des différentes zones d'utilisation des éoliennes. La troisième partie décrit les différentes caractéristiques de l'énergie éolienne. La dernière phrase, nous présentons différents modèles utilisés pour modéliser la vitesse du vent et estimer la production d'énergie à partir d'éoliennes classiques.

II-2- Les éoliennes :

II-2 – 1- Définition :

Comme illustré dans la Figure (II-1), une éolienne, est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en [16] :

- énergie électrique, dans le cas d'un aérogénérateur.
- énergie mécanique, dans le cas d'une éolienne de pompage

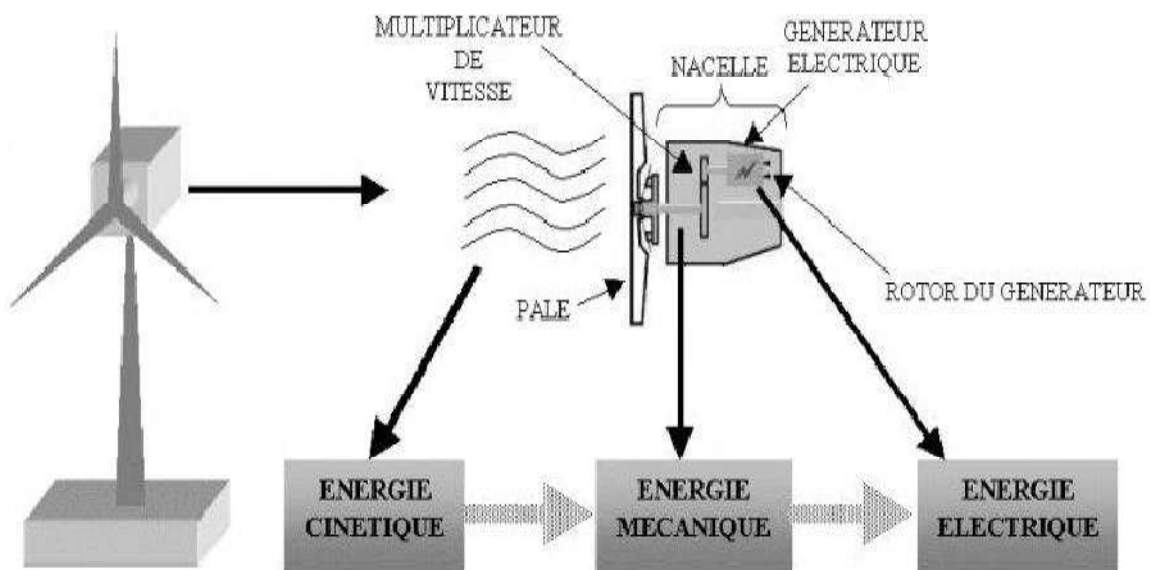


Fig. (II-1) : Conversion de l'énergie cinétique du vent.

Les matériaux nécessaires à la fabrication des différents éléments dont la nacelle, le mât, les pales et le multiplicateur, doivent être technologiquement avancés et sont par conséquent onéreux. L'énergie éolienne fait partie des nouveaux moyens de production d'électricité décentralisée proposant une alternative plus au moins stable à l'énergie nucléaire et d'autres d'origine fossile. Sans pour autant, prétendre à les remplacer de nos jours si nous prenons en

compte l'ordre de grandeur de la quantité d'énergie produite qui est largement plus faible. Les installations peuvent être réalisées sur terre mais également de plus en plus en mer. Ces dernières donnent naissance aux fermes éoliennes offshores, où la présence du vent est plus régulière. De plus, les éoliennes sont moins visibles et occasionnent moins de nuisances sonores.

II-3-Les différents types d'éoliennes :

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal.

II-3-1-Les éoliennes à axe vertical :

. Ces éoliennes ont un axe de rotation à la verticale du sol et presque perpendiculaire à la direction du vent. Le principe de mise en mouvement de ce type de machine est identique à celui d'un anémomètre, les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensités différentes. Ces éoliennes dites à axe vertical comprennent des avantages mais aussi des inconvénients qu'on résume comme suit [17] :

- Intégrable au bâtiment côté esthétique,
- Démarre à de faibles vitesses de vent,
- Système peu bruyant,
- Pas de contraintes sur la direction du vent,
- Génératrice pouvant être placée au sol (selon les modèles),
- Moins d'encombrement qu'une éolienne "conventionnelle".
- Faible rendement,



Fig. (II-2) : Eolienne à axe vertical.

II-3-2-Les éoliennes à axe horizontal :

L'éolienne à axe horizontal comme illustré dans la figure (II-3), possède un axe de rotation placé horizontalement par rapport au sol et parallèle à la direction du vent. Les pales sont fixées au sommet d'un pylône et sont orientées face ou dos au vent, ce qui permet des rendements élevés. Il existe un grand nombre de modèles à axe horizontal qui sont des éoliennes adaptées à l'implantation sur terrain [18].

Le nombre de pales utilisés pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien ce type d'éolienne a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité. Par contre, elle rend sa conception plus complexe mais aussi plus coûteuse [19].

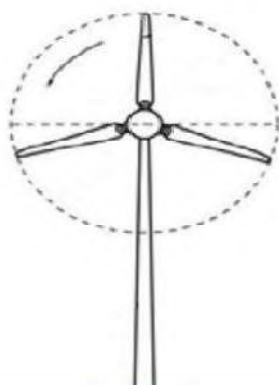


Figure (II-3) : Eolienne à axe horizontal

II-3-2-1-Les composantes d'une éolienne à axe horizontal :

On peut considérer trois composants essentiels dans une éolienne : le rotor, la nacelle et la tour, comme illustrés sur la Figure (II-4).

Le rotor et ses pales:

Le rotor est le capteur d'énergie qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique. C'est un ensemble constitué des pales avec un nombre variable et de l'arbre primaire. La liaison entre ces éléments étant assurée par le noyau.

Quant aux pales, elles sont en réalité le véritable capteur de l'énergie présente dans le vent. De leurs performances dépend la production d'énergie de l'installation, puis par conséquent l'intérêt économique de la machine.

La nacelle :

Elle regroupe des éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique :

- Arbres lent et rapide,
- Roulements et multiplicateur,
- Frein à disque et frein aérodynamique qui permettent d'arrêter le système en cas de surcharge,
- Générateur qui est généralement une machine synchrone ou asynchrone,
- Systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pales et de la nacelle.

A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, l'anémomètre et le système électronique de gestion de l'éolienne [16].

La tour :

Le mât est généralement un tube d'acier. Sa hauteur est importante, plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente. Il existe sur le marché trois grands types de tour, elle peut être haubanée, à treillis ou bien tubulaire. Cette dernière reste la plus répandue. En général, le mât a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales [19].

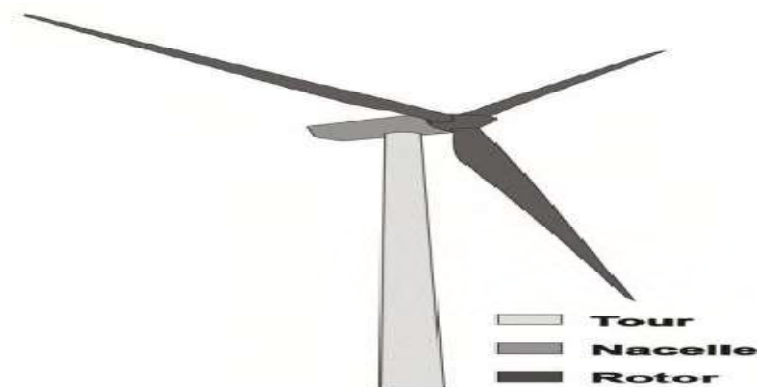


Fig. II-4 : composants d'une éolienne à axe horizontal

II-4- Applications des éoliennes :

L'intérêt d'une éolienne se justifie par la possibilité qu'elle apporte en récupérant l'énergie cinétique présente dans le vent. Cette énergie est transformée en énergie mécanique de rotation. Cette dernière peut être exploitée principalement de deux manières :

- Soit directement pour entraîner par exemple une pompe de relevage d'eau.
- Soit pour entraîner une génératrice électrique.

Dans le cas de production d'énergie électrique, on peut distinguer deux types de configuration :

- L'énergie est stockée dans des accumulateurs en vue de son utilisation ultérieure.
- L'énergie est utilisée directement par injection sur un réseau de distribution

On constate ainsi les applications électriques de l'énergie éolienne. D'une part, la complémentarité avec les moyens traditionnels de production, comme les centrales thermiques classiques ou nucléaires et les barrages pour des régions disposant d'une infrastructure existante. D'autre part, la possibilité de production sur des sites non raccordés à un réseau de distribution traditionnel. Il est particulièrement intéressant de souligner les possibilités offertes par l'énergie éolienne en ce qui concerne le désenclavement de régions peu urbanisées et ses applications dans les pays en voie de développement. Comme pour l'alimentation d'unités de désalinisation, la cogénération avec des groupes diesels et des panneaux photovoltaïques [19].

Chapitre III : Statistiques du vent et potentiel éolien : Cas de la région de Hassi R'Mel

III-1- Présentation de la zone d'étude :

Dans ce chapitre, une aperçue géographique et climatique sur la zone d'intérêt (région de Hassi R'Mel) a été présentée. Ceci nous permettra de situer la zone d'étude et caractériser son climat.

III-1-1-Cadre géographique :

La région de Hassi R'Mel est située à 300 km au Nord ouest de Ouargla, entre les wilayas de Ghardaïa et Laghouat, dans cette région relativement plate du Sahara l'altitude moyenne est d'environ 750 m au dessus du niveau de la mer le climat est caractérisé par une pluviométrie faible (140 mm/an) et une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver en moyenne. Les températures varient de -5°C en hiver à 45°C en été, et les vents dominants sont de direction nord ouest pouvant atteindre des vitesses de 100 km/h.

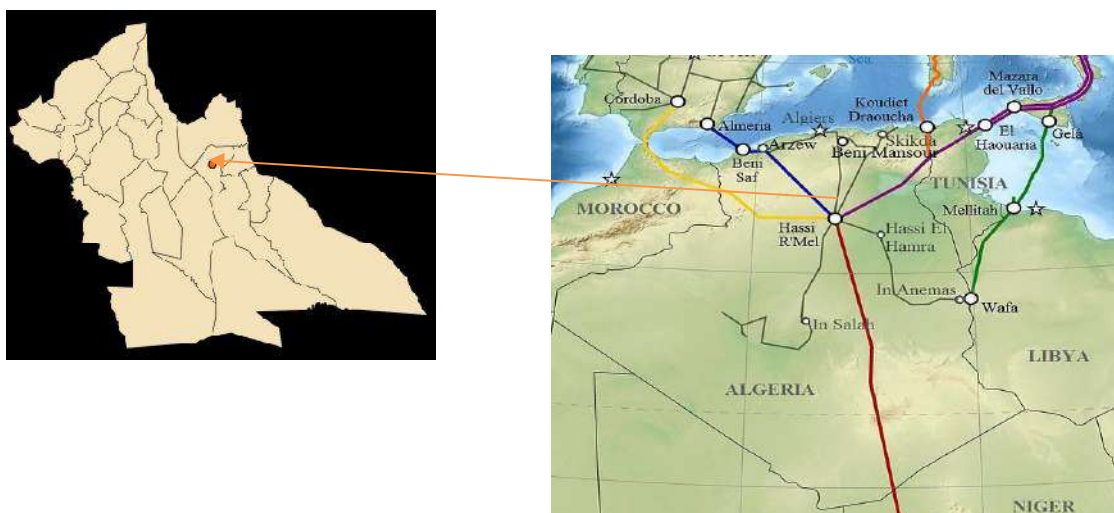


Fig. (III- 1) : Limites géographiques de la région de Hassi R'mel.

Tab. III-1 : Coordonnées géographiques et caractéristiques des stations de Hassi R'mel.

Stations de mesure	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Région
Hassi R'Mel	3,28	32,93	764	Sahara

III-1-2-Cadre climatologique :

La Synthèse climatique est basée sur le diagramme ombrothermique de Gaussen et le Climagramme d'Emberger.

III-1-2-1-Digramme ombrothermique de Gaussen :

Le digramme ombrothermique de Gaussen permet de définir les mois secs (**MUTIN**, 1977). Gaussen considère que la sécheresse s'établit lorsque les précipitations totales exprimées en mm sont inférieures au double de la température exprimée en degrés Celsius (P

$\leq 2T$) (**DAJOZ, 1971**). Ainsi le climat est sec quand la courbe des températures descend au dessous de celle des précipitations et il est humide dans le cas contraire (**BAGNOULS et GAUSSEN, 1953; DREUX, 1980**). Le digramme ombrothermique est un double graphique (en fonction du temps) utilisé pour représenter et déterminer le climat d'un lieu. Ce diagramme est formé de trois axes:

- Horizontal: représentant le temps.
- Vertical (droite): représentant les températures mensuelles.
- Vertical (gauche): représentant les précipitations mensuelles.

Conventions :

- Les températures toujours à gauche (°C).
- Les précipitations toujours à droite (mm).
- Les courbes de T (°C) en rouge.
- L'histogramme P (mm) en bleu.
- Les zéros des axes de température et de précipitation doivent se correspondent.
- On doit respecter la règle $P=2 T$

Les diagrammes ombrothermiques de la région Hassi R'mel des années(2000 / 2018)

Tab. (III-2) : Température et précipitation moyenne à Hassi R'mel (2000-2018).

	T moy en °C	Pluie en mm
Janvier	8,6	11,3
Février	10,3	13,6
Mars	14,6	5,8
Avril	18,6	4,1
Mai	23,3	7,7
Juin	28,3	3,3
Juillet	32,3	6,0
Août	31,2	2,2
Septembre	26,3	8,0
Octobre	20,9	3,5
Novembre	13,8	3,3
Décembre	9,4	10,8
Moyenne	23.8	6.6

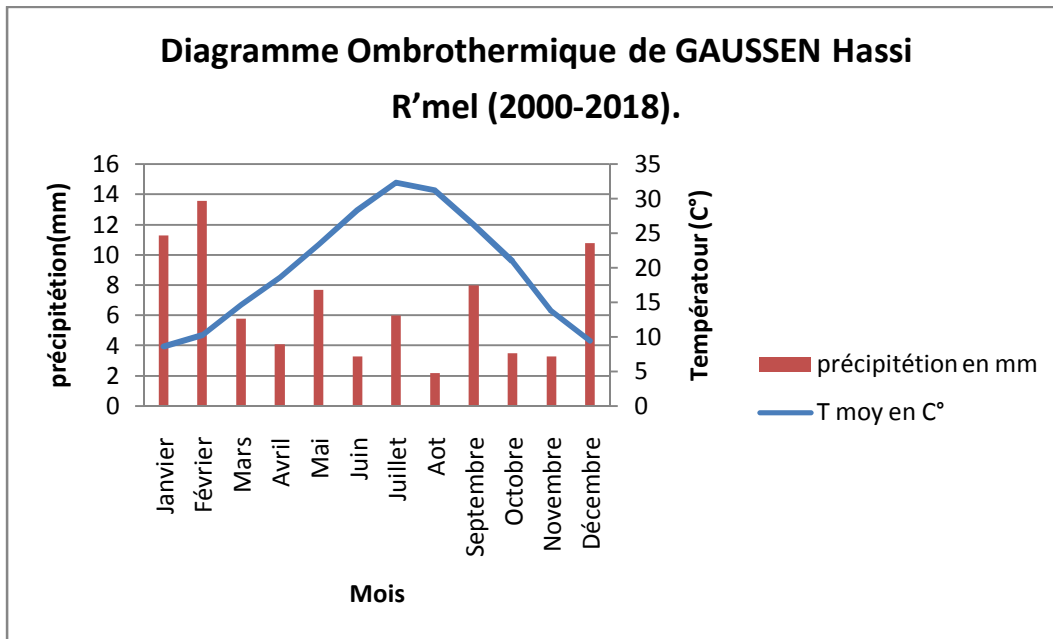


Fig. (III- 2) : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN Hassi R'mel (2000-2018).

III-1-2-2– Climagramme d'Emberger :

Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond (DAJOZ, 1971). Le quotient pluviothermique d'Emberger est déterminé selon la formule suivante (STEWART, 1969) :

$$Q3 = 3,43 \times P / (M - m)$$

Q3: est le quotient pluviométrique d'Emberger.

P: est la précipitation moyenne annuelle exprimée en (mm).

M: est la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en (°C).

m: est la moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en (°C).

A partir des données climatiques obtenues durant une période s'étalant de 2000 jusqu'à 2018, la précipitation moyenne annuelle du Hassi R'mel est de 6.6 mm, la température moyenne des maximal . Et celle du mois le plus froid de 23.8 °C pour Hassi R'mel. De ce fait la valeur du quotient pluviothermique est 1,44 pour Hassi R'mel, en rapportant cette valeur sur le Climagramme d'Emberger, il est à constater que la région Hassi R'mel se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hivers (Fig. III-3).

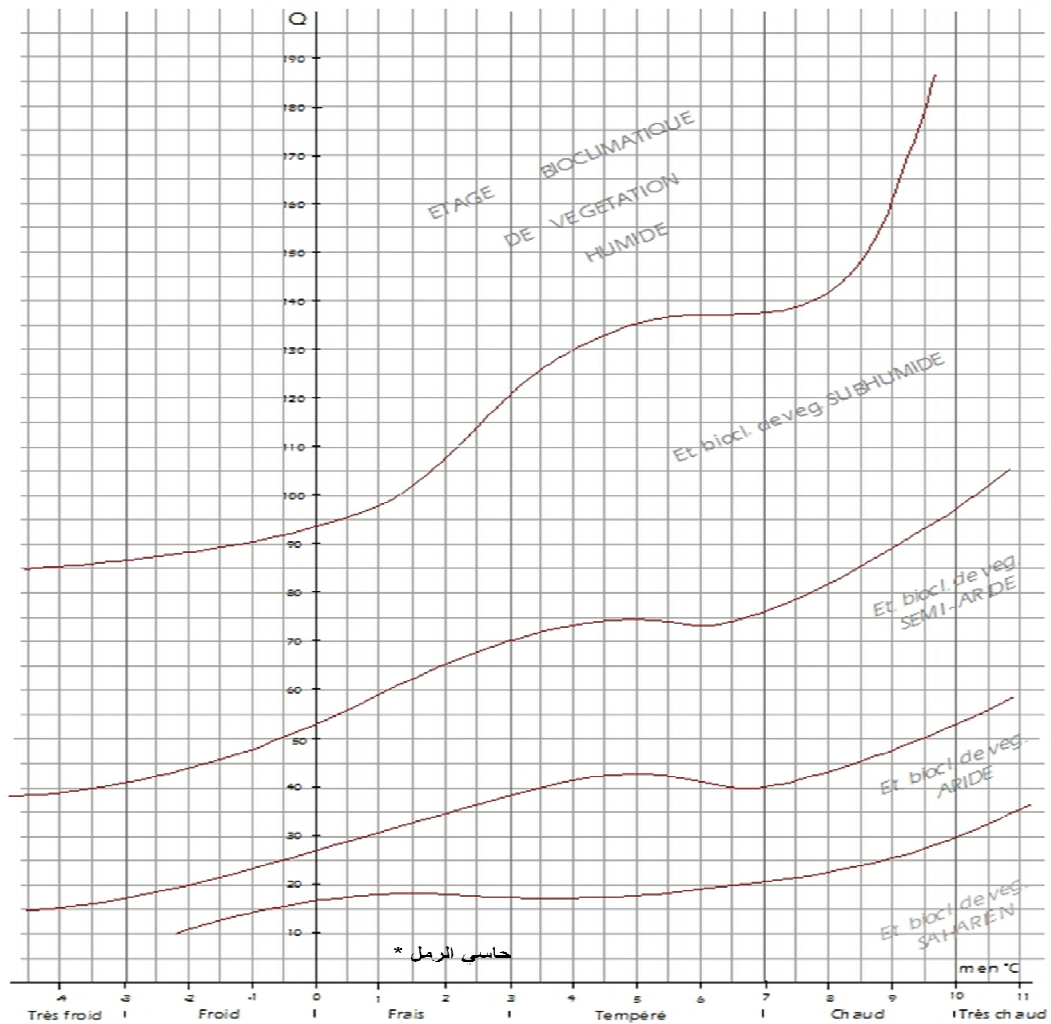


Fig. (III-3) : L'emplacement de Hassi R'mel sur le Climagramme d'Emberger.

III-3-Méthode et données :

III-3-1-Les Données Ré-analysées :

Pour palier aux problèmes de disparité spatiale et temporelle des mesures météorologiques et climatologiques, les scientifiques ont eu recours aux données ré-analysées. Ces données sont disponibles aux points de grilles aux niveaux des grands centres mondiaux tels que l'ECMWF (Européen Center for Medium Weather Forecast) et le NCEP /NCAR (National Center for Environmental Prediction/ Atmospheric Research). Ces données ré-analysées sont les résultats de calculs d'un modèle météorologique récent de prévision numérique du temps sur des données passées, à laquelle s'ajoute des données d'observation qui proviennent de plusieurs sources et d'instruments variés distribués d'une manière inhomogène dans le temps et dans l'espace. Parmi les données d'observation intégrées au modèle on trouve les données des stations, radiosondages, bouées marines, satellites, radars,

navires,...). Des techniques statistiques sont appliquées dans le but de corriger les champs météorologiques issus du modèle pour les rendre proche des données réelles. Cette technique est nommée assimilation des données. Qui est une alternative aux différentes méthodes traditionnelles d'interpolation utilisées en météorologie.

Dans notre étude, notre choix s'est porté sur les ré-analyses ERA-intérim [1] du centre Européen ECMWF. Ce sont des données couvrant la période de 1979 à ce jour. Issues d'un modèle global introduit en 2006 (le modèle IFS). Ces données sont disponibles aux points de grilles avec une résolution de maille de $0.7^\circ \times 0.7^\circ$ (80 KM) avec 37 niveaux de pression selon la verticale 1000 à 1 hPa en plus du niveau de surface. Le pas de temps entre chaque fichier est de 6 heures. Les paramètres météorologiques ré-analysés sont les composantes du vent (u et v), la pression, température, humidité, géo potentiel, les précipitations, l'évapotranspiration,).

III-3-2-Données d'observées :

Nous utilisons les données tri horaires observées de la station de Hassi R'mel pour la période allant de 2000-2018. Ces données concernent la vitesse et direction du vent mesurés à 10 m d'altitude. Ces données ont été traitées et fournies par l'Office National de la Météorologie.

III-3-3-Méthodologie :

La méthode utilisée consiste à l'application des données ré-analysées Era-Intérim [25] issues d'un modèle météorologique global du centre Européen ECMWF à fréquence de 06 heures pour une période de 28 ans (1990-2018). Une série temporelle des vents à 10 m est extraite de la grille globale du modèle en prenant le point de grille le plus proche possible du site de mesure pour permettre une comparaison de ces données avec les mesures de surface sur le site de mesure. Les données du vent sont ajustées avec une loi de distribution de weibull afin de mieux caractériser le potentiel éolien de cette région. Deux paramètres de weibull sont ainsi déterminés et comparés à ceux issus des données observées ainsi que ceux trouvés dans la littérature [23]. Trois méthodes statistiques sont largement utilisées dans la littérature

- La méthode graphique
- La méthode du maximum de vraisemblance, celle appliquée dans ce travail
- La méthode du maximum de vraisemblance modifiée

III-3-2- Etude statistique de vent :

III-3-2-1-La distribution de Weibull :

Le modèle le plus utilisé pour caractériser la distribution des vitesses du vent est la distribution de probabilité de Weibull. La fonction de distribution de Weibull est une fonction exponentielle à deux paramètres : elle comprend un paramètre d'échelle A (m/s) qui renseigne sur la moyenne du vent caractéristique du site et un paramètre de forme K (sans unité) indiquant quant à lui le caractère plus ou moins pointu de la distribution. Sa densité de probabilité se présente sous la forme :

$$f(v) = \left(\frac{K}{A}\right) \left(\frac{v}{A}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^K} \quad (\text{III} - 1)$$

La densité de probabilité $f(v)$ représente la distribution en fréquences des vitesses mesurées. La fonction de distribution cumulée de Weibull correspondante $F(v)$ s'écrit sous la forme suivante :

$$F(v) = \int f(v)dv = 1 - e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^K} \quad (\text{III} - 2)$$

III-3-2-2-Détermination des paramètres de Weibull

Il existe plusieurs méthodes [20] pour analyser un régime des vents par la distribution de Weibull afin d'estimer les paramètres k et A . Citons parmi elles :

- La méthode graphique
- La méthode des moindres carrés
- La méthode des moments
- La méthode de l'écart type
- La méthode du maximum de vraisemblance
- La méthode du maximum de vraisemblance modifiée

Les méthodes les plus utilisés que nous allons présenter sont la méthode des moindres carrés, dite méthode graphique et la méthode du maximum de vraisemblance.

III-3-2-2-1- La méthode graphique

C'est une méthode graphique basée sur la fonction cumulative de Weibull, en la transformant en une forme linéaire en adoptant des échelles logarithmiques [21]. L'expression

de la distribution cumulée de la vitesse du vent donnée dans l'équation (II.3) peut-être réécrite sous la forme suivante :

$$\mathbf{1} - \mathbf{F}(\mathbf{v}) = e^{-\left(\frac{\mathbf{v}}{\mathbf{A}}\right)^K} \quad (\text{III} - 3)$$

En traçant la droite qui représente le logarithme népérien de la fonction cumulative en fonction du logarithme népérien de la vitesse de vent, on obtient la relation :

$$\ln \{-\ln[\mathbf{1} - \mathbf{F}(\mathbf{v})]\} = K \ln(\mathbf{v}_i) - k \ln(\mathbf{A}) \quad (\text{III} - 4)$$

Le facteur \mathbf{K} représente la pente de la droite. Le produit $-k \ln(\mathbf{A})$ représente l'ordonnée à l'origine.

Cette transformation logarithmique est la base de la méthode graphique et son application exige que les données de vitesse du vent soient en format de fréquence de distribution cumulative. [22]

III-4-2-2-2-La méthode du maximum de vraisemblance :

C'est une méthode itérative de détermination des paramètres de Weibull, ou \mathbf{k} et \mathbf{A} sont donnés par les relations suivantes :

$$K = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} \right] \quad (\text{III} - 5)$$

$$\mathbf{A} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k \right]^{\frac{1}{K}} \quad (\text{III} - 6)$$

Où v_i vitesse non nulle du vent à un instant i et n le nombre de données de vitesses de vent non nulles.

Cette méthode utilise une équation algébrique non-linéaire qui ne possède pas de solution analytique. L'estimation des paramètres de Weibull via la méthode du maximum de vraisemblance est difficile parce qu'elle doit être résolue numériquement par un processus itératif. Une fois le paramètre de forme devient optimal, il est remplacé dans l'autre équation pour trouver le facteur d'échelle.

III-3-2-3-Comparaison entre les différentes méthodes :

La méthode du maximum de vraisemblance pour l'estimation des paramètres de Weibull est la méthode la plus appropriée en terme de simulation sur ordinateur ; comparativement à la

méthode graphique qui est non seulement moins précise par rapport à la première mais aussi moins robuste, affectée par des variables externes.

La méthode du maximum de vraisemblance présente une meilleure performance que les autres et est la plus recommandée. Cette dernière a donné le plus faible taux d'erreur comparativement à la méthode graphique. Aussi la précision augmente considérablement quand le nombre de donnée devient plus important pour les six méthodes. La méthode du maximum de vraisemblance fournit une estimation bien plus précise des deux paramètres de Weibull, comparativement aux autres méthodes.

III-3-3-Le potentiel éolien :

Le potentiel éolien se caractérise par la détermination de diverse grandeurs comme la vitesse moyenne du vent, la densité de puissance moyenne et la densité énergétique moyenne.

III-3-3-1-La vitesse moyenne :

La vitesse moyenne du vent V_m peut être calculée en fonction des paramètres de Weibull comme suit :

$$V_m = \int_0^{\infty} v f(v) dv \quad (\text{III-7})$$

En remplaçant $f(v)$ par sa formule on obtient :

$$V_m = \int_0^{\infty} v \left(\frac{K}{A}\right) \left(\frac{v}{A}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^K} dv \quad (\text{III-8})$$

La formule donnée peut être arrangée comme suit :

$$V_m = K \int_0^{\infty} \left(\frac{v}{A}\right)^K e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^K} dv \quad (\text{III} - 9)$$

En posant :

$$X = \left(\frac{v}{A}\right)^K \text{ on obtient : } dv = \frac{A}{K} X^{\left(\frac{1}{K}-1\right)} dX \quad (\text{III-10})$$

En remplaçant dv dans l'équation (II.9), on obtient :

$$V_m = A \int_0^{\infty} e^{-X} X^{1/k} dX \quad (\text{III} - 11)$$

Sachant que la formule Gamma s'écrit sous la forme suivant :

$$\Gamma_n = \int_0^{\infty} e^{-X} X^{n-1} dX \quad (\text{III} - 12)$$

Et en posant

$$n \int_0^{\infty} e^{-x} X^{1/k} dX = \Gamma_n\left(\frac{1}{K} + 1\right) \quad (\text{III} - 13)$$

La vitesse moyenne du vent peut s'écrire sous la forme suivante :

$$V_m = A \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right) \quad (\text{III} - 14)$$

Par contre, si l'on augmente la valeur du paramètre k en fixant celle de A , la courbe de distribution des vitesses de vent devient plus étroite. Son maximum augmente et est décalé vers la droite. On a un plus grand nombre de vitesses de vent autour de la moyenne alors que le nombre de vitesses de vent faibles et le nombre de vitesses de vent élevées diminuent.

III -3-3-2-La densité de puissance moyenne :

La densité de puissance de l'énergie éolienne est la caractéristique la plus importante du vent. Elle représente la quantité d'énergie produite par le vent. La puissance du vent à l'entrée d'une voile est donnée par la relation suivante :

$$P_v = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (\text{III} - 15)$$

Où ρ est la masse volumique de l'air.

III-3-3-3-Le coefficient de puissance :

Parce que la vitesse en aval du dispositif de récupération n'est jamais nulle, la puissance ne peut être captée en sa totalité [19], le dispositif de conversion extrait une partie seulement p_m de la puissance incidente p_v . Ainsi, la puissance p_m disponible sur l'arbre d'un aérogénérateur s'exprime comme suit :

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot C_p(\lambda) \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (\text{III} - 16)$$

Le coefficient C_p est une grandeur variable inférieure à 1, dit aussi rendement. Ce dernier est propre à chaque éolienne P_m qui lie la puissance fournie par l'éolienne et la puissance du vent disponible à l'entrée de la voile par la relation suivante :

$$C_p = \frac{P_m}{P_v} \quad (\text{III. 17})$$

III-4-4- Extrapolation verticale de la vitesse du vent :

Pour retrouver la vitesse du vent à un niveau différent du point de mesure, on procède souvent à une extrapolation verticale des données du vent. Il existe deux grandes familles de loi d'extrapolation verticale de la vitesse du vent, la loi logarithmique et celle de puissance [19].

III-4-4-1-La loi logarithmique :

La loi logarithmique s'écrit sous la forme suivante [23] :

$$V_2 = V_1 \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_1}{Z_0}\right)} \quad (\text{III-18})$$

Cette loi qui dépend que de la longueur de la rugosité Z_0 . Elle n'est valable que pour un profil près du sol, à une hauteur inférieure à 50m, pour des terrains relativement plats et non accidentés.

III-3-4-2-La loi de puissance :

L'extrapolation verticale de la vitesse du vent peut se faire au moyen du modèle de puissance, donné par la relation suivante [19] :

$$V_2 = V_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^\alpha \quad (\text{III} - 19)$$

Avec V_1 la vitesse du vent à la hauteur Z_1 , V_2 la vitesse à la hauteur Z_2 et α est le coefficient de friction qui dépend de la vitesse du vent et de la hauteur de mesure. Il varie d'un lieu à l'autre, notamment en fonction de la rugosité du terrain. Il est de l'ordre de 1/7 pour les terrains dégagés et plats, de 1/2 au centre des grandes villes [24].

Chapitre IV : Etude du potentiel éolien de la région de Hassi R'mel

IV-1- Introduction :

Les données du vent en surface issues des ré-analyses Era-interim du centre ECMWF pour la période de 01/01/1990 au 31/12/2018 sont analysées et utilisées pour évaluer les ressources éoliennes disponibles à la région de Hassi R'mel. Le traitement concerne la vitesse et la densité de densité de puissance moyenne du vent pour l'évaluation du potentiel éolien ainsi que la rose des vents pour l'évaluation du régime dominant du vent dans cette région. L'évaluation est basée sur les données climatiques du vent observé à la station de Hassi R'mel pour la période 01/01/2000 au 31/12/2018 et qui sont fournies par l'office National de la Météorologie (ONM) ainsi que les statistiques trouvées dans la littérature concernant la région de Hassi R'mel [Boudia,2013]. Pour l'interprétation de la variation du potentiel à l'échelle mensuelle et annuelle, les paramètres de Weibull (A, K) sont calculés et présentés.

IV-2-Etude du régime du vent dominant

IV-2-1-Les roses des vents annuelles

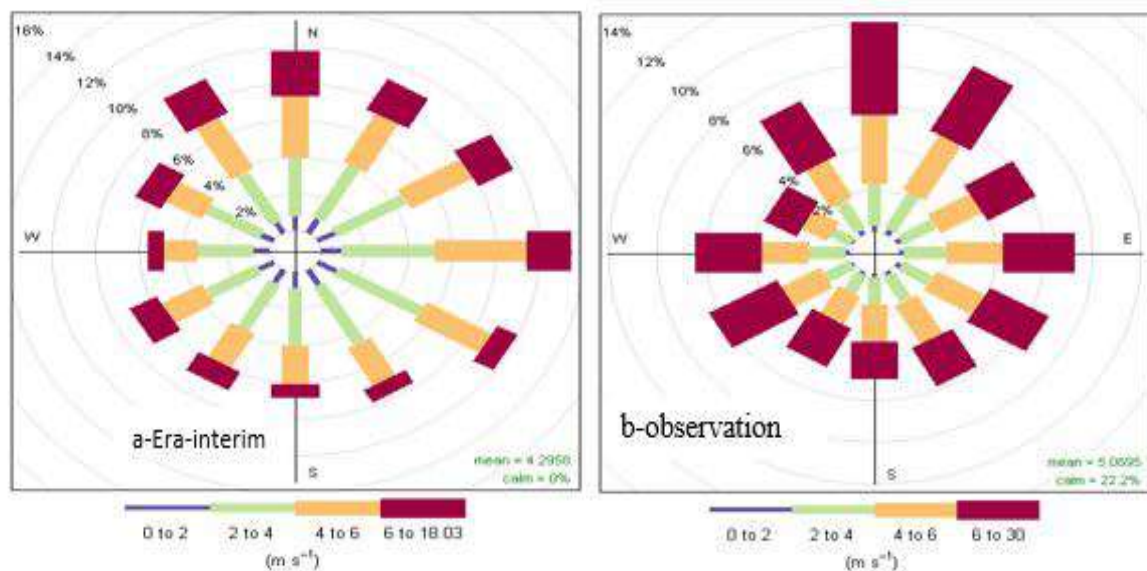


Fig. (IV-1): Roses des vents annuelles (a) Era-interim,(b) observation

Analyse et discussion :

La figure (IV-1) montre clairement que le champ de vent réanalysé reproduit d'une manière satisfaisante le régime de vent de la région de Hassi -R'mel notamment le régime dominant qui est du nord à nord-est malgré la prédominance du vent du secteur est pour les observations. Ceci peut être dû à la présence d'obstacle au voisinage du point de mesure ainsi que le nombre de calme (22 %) enregistré sur site. A noter une sous-estimation de la vitesse moyenne du vent observée par les ré analyse Era-interim de 1 m/s.

IV-2-2-les Roses des vents mensuelles

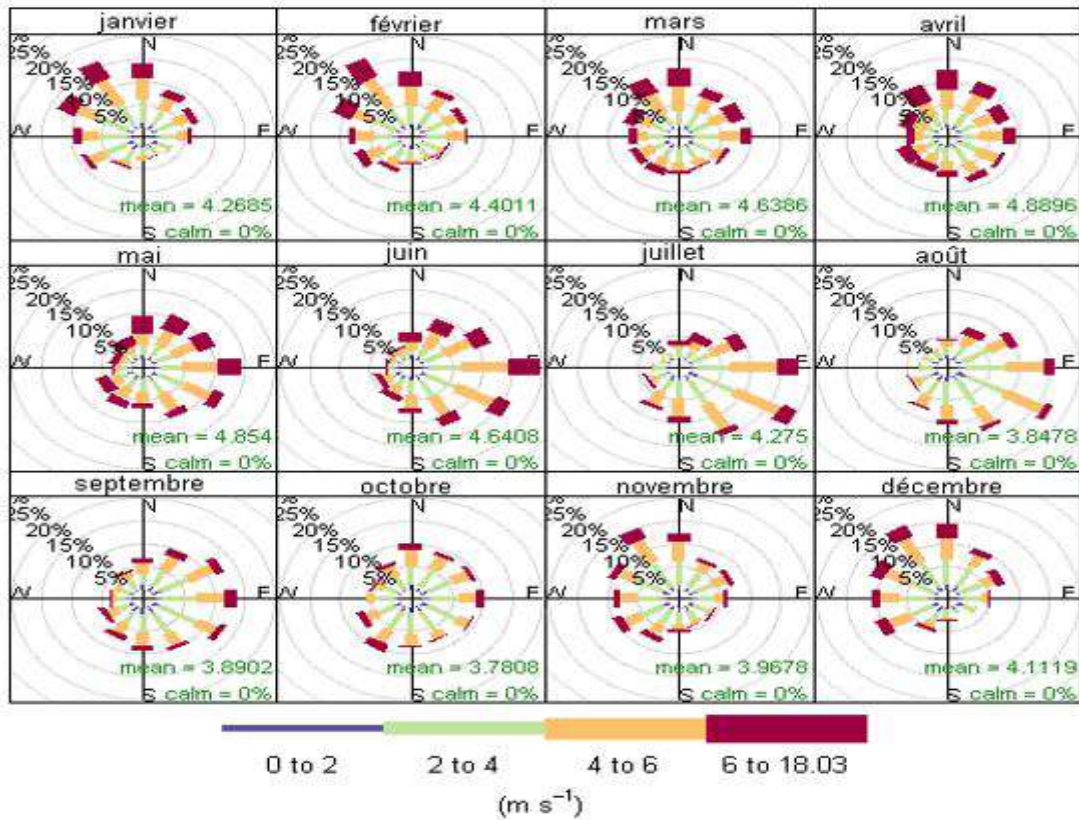


Fig. (IV-2) les Roses des vents mensuelle Era-interim

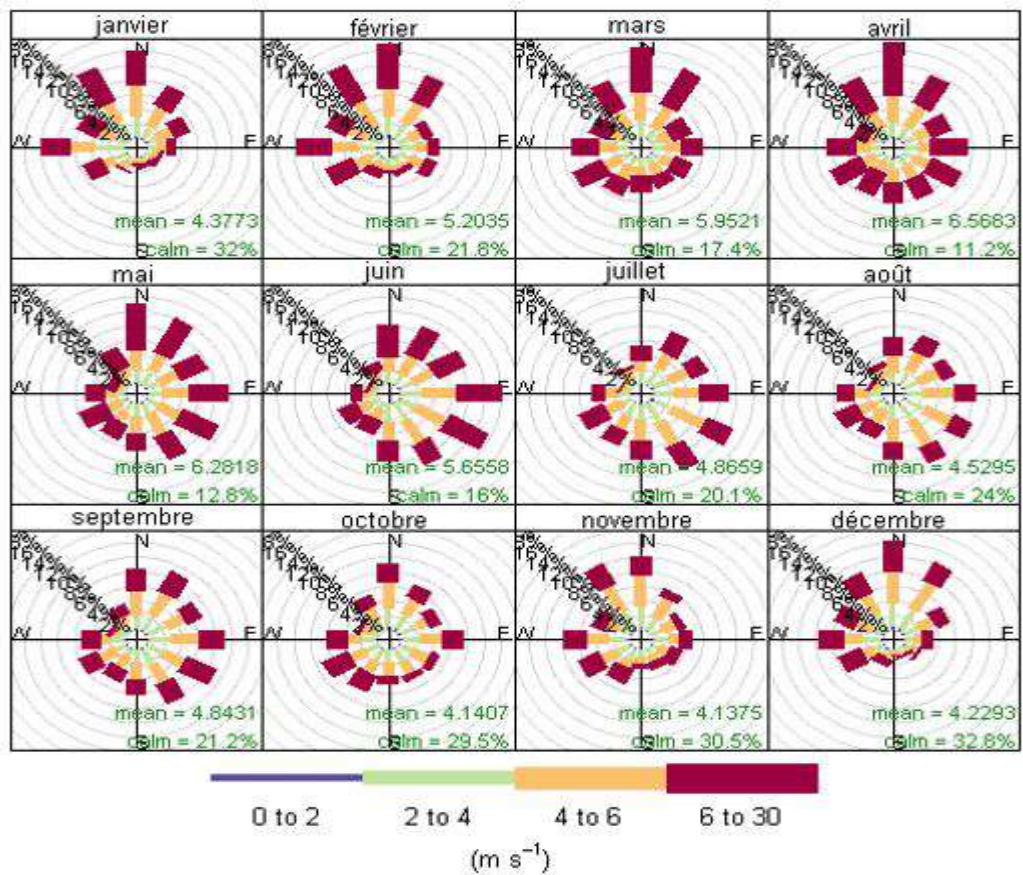


Fig. (IV-3) les Roses des vents mensuelles observées

Analyse et discussion :

A l'échelle mensuelle, l'analyse des deux figures (IV-2) et (IV-3) montrent que les champs de vent ré analysés concordent d'une manière acceptable avec ceux de l'observation et reproduisent le régime du vent mensuelle qui un régime à prédominance nord, et fluctue entre le nord est, nord West et sud-est selon les mois. Certaines différences sont enregistrées dues à la situation topographique et aux pourcentages des vents calmes sur ce site. A noter aussi que la vitesse moyenne mensuelle est sous estimée d'environ 1 m/s pour tous les mois.

IV-1-3-Les Roses des vents saisonnières

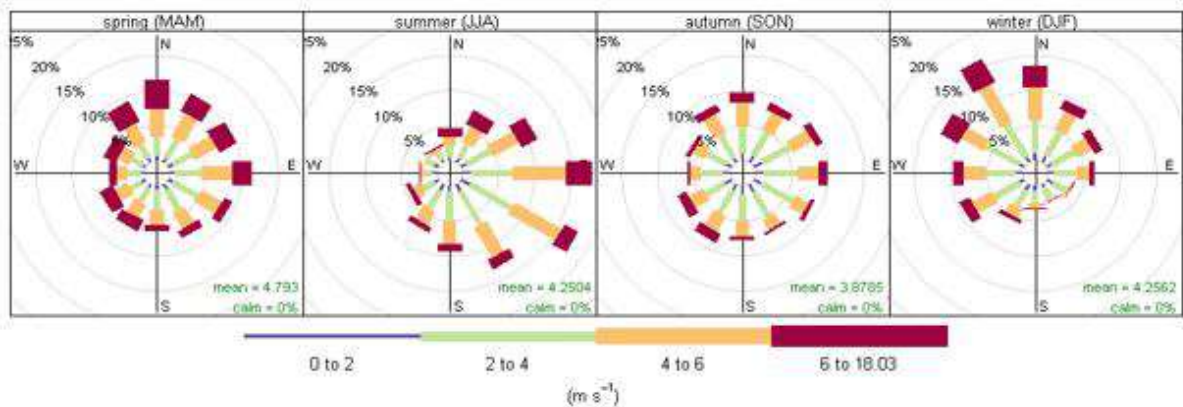


Fig. (IV-4)- (a) Era-interim

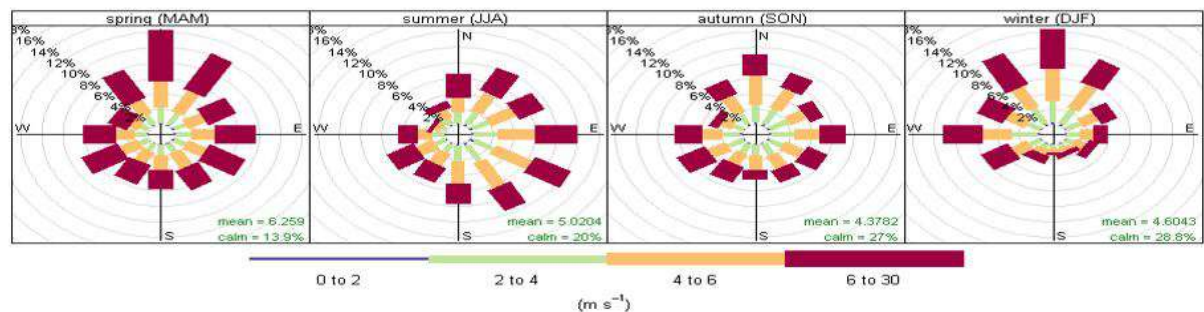


Fig. (IV-4)-(b) observée

Fig. (IV-4)-Les Roses des vents saisonnière de(a) Era-interim et(b) observée

Analyse et discussion :

La figure (IV-4) montre que les champs de vent ré analysés sont capables de reproduire fidèlement le régime saisonnier la région de Hassi R'mel avec une prédominance du secteur nord durant le printemps, Sud-Est l'été, Nord à Nord Est l'automne et du secteur Nord l'hiver. Les vitesses de vent sont sous estimées d'environ 1 m/s.

IV-2-Analyse de la vitesse moyenne du vent à10m :

A. Régime Annuelle:

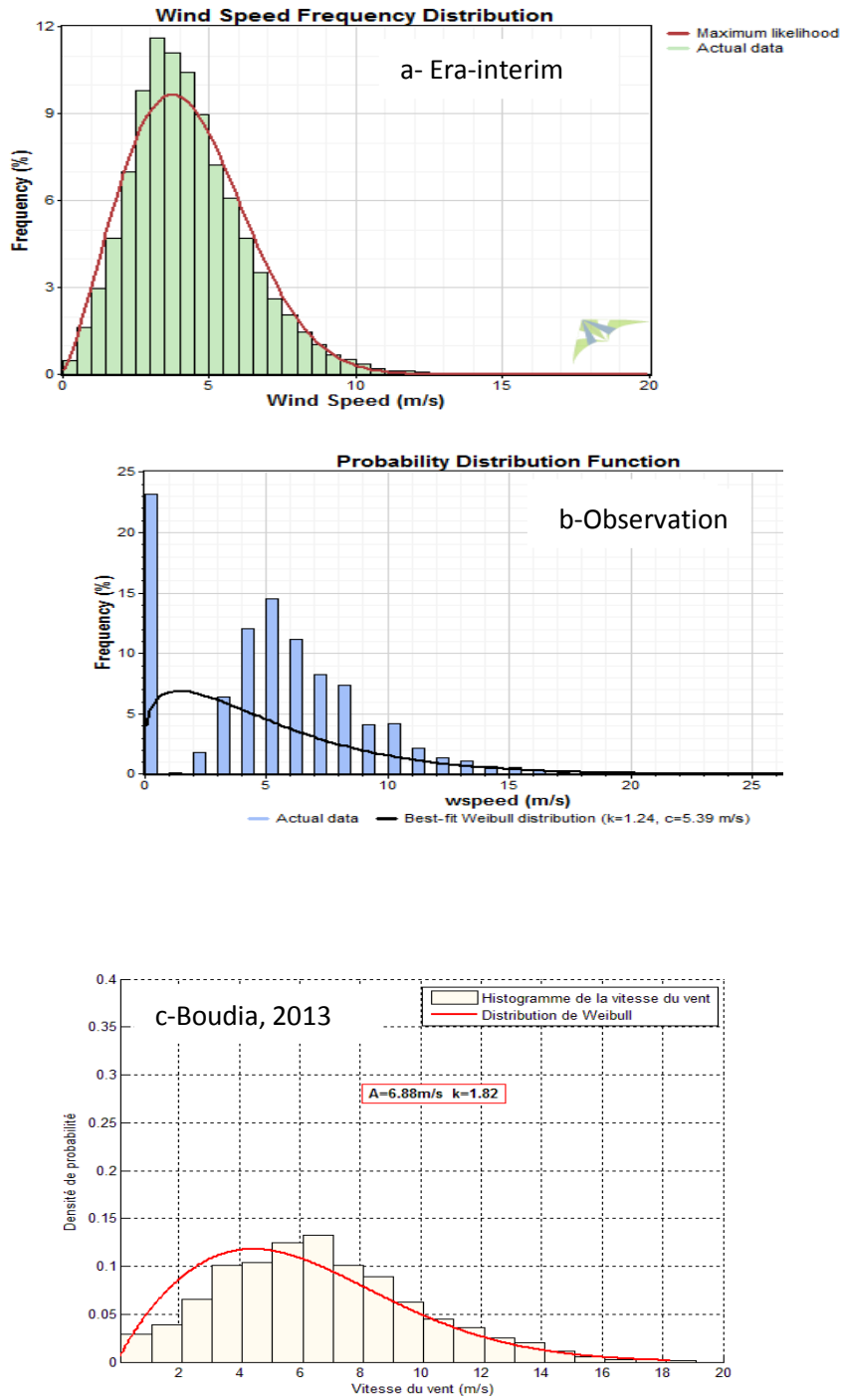


Fig. (IV-5): Variation annuelle des deux paramètres de Weibull (a)Era-interim, (b) Observation, (c)Boudia, 2013 .

Analyse et discussion :

La figure (IV-5) présente la distribution des fréquences annuelles de la vitesse du vent à 10 m ajustées par une distribution de Weibull pour les données de ré-analyse Era-interim, les données observées à la station, ainsi que les données de littérature [Boudia, 2013], les données de la vitesse, la densité de puissance moyenne ainsi que les deux facteurs de forme et d'échelle sont renseignés dans le tableau (IV-1).

- **Era-interim** : La vitesse du vent couvre une large plage allant jusqu'à 12,5 m / s, le facteur d'échelle est de 4.85m/s et le facteur de forme est de 2,27, ce qui donne une vitesse annuelle moyenne de 4,29 m / s et une densité de puissance moyenne de 82.5W / m².
- **-Observation** : La vitesse du vent couvre une large plage allant jusqu'à 20 m /s, le facteur d'échelle est 5.39 m /s et le facteur de forme est égal à 1.4, ce qui donne une vitesse annuelle moyenne de 4,9 m / s et une densité de puissance moyenne de 220W/ m².
- **-Boudia, 2013** : la vitesse du vent couvre une large gamme allant jusqu'à 18m/s, le facteur d'échelle est égal à 6.88m/s, le paramètre de forme est égal à 1.82, induisant ainsi une vitesse moyenne annuelle importante égale à 6.11m/s et une densité de puissance moyenne de l'ordre de 295W/m².

Tab. (IV-1) : Variations Annuelle de la vitesse moyenne et de la densité de puissance moyenne à 10 m à Hassi R'Mel.

	V_m (m/s)	K	A(m/s)	$P(w/m^2)$
Era-interim	4.3	2.28	4.85	83
Observation	4.9	1.4	5.39	220
Boudia, 2013	6.11	1.82	6.88	295

L'analyse du tableau (IV-1) montre que l'échelle annuelle, les données Era-interim ajustées par une distribution de Weibull donnent une vitesse de vent de même ordre que celle observée sur site. La différence est inférieure à 1 m/s. Les facteurs d'échelles sont aussi de même ordres tandis que le paramètre de forme des ré analyses (k=2.28) est presque le double de celui de l'observation (k= 1.4) ceci engendrent une très faible densité de puissance (85 w/m²) comparée à celle de l'observation qui est de 220 w/m². Ceci peut être dû au biais négatif de 1 m/s enregistré sur les ré-analyses ERA-Interim.

B. Régime Mensuelle :

Tab. (IV-2)- Variations mensuelles de la vitesse moyenne et de la densité de densité de puissance moyenne pour Hassi R'mel

	Ré-analyse				BOUDIA, 2013				Observation			
	K	A (m/s)	V _m (m/s)	P (w/m ²)	k	A (m/s)	V _m (m/s)	P (w/m ²)	k	A (m/s)	V _m (m/s)	P (w/m ²)
J	2.14	4.82	4.3	85	1.45	6.25	5.57	307.86	1	4.46	4.5	326
F	2.22	4.97	4.4	92	1.25	6.50	5.75	265.90	1.28	5.58	5.2	299
M	2.14	5.24	4.6	110	1.95	7.75	6.79	376.35	1.58	6.64	5.8	301
A	2.40	5.52	4.9	117	1.15	8.80	7.80	446.44	1.67	7.14	6.4	373
M	2.41	5.47	4.8	113	3.07	9.25	8.21	471.71	1.65	6.91	6.2	344
J	2.50	5.23	4.6	97	2.65	8.5	7.53	396.64	1.44	6.08	5.5	298
J	2.67	4.81	4.3	72	2.55	6.25	5.66	173.81	1.43	5.31	4.8	201
A	2.52	4.33	3.3	55	2.85	6.30	5.75	169.88	1.21	4.72	4.4	209
S	2.41	4.39	3.9	60	2.25	6.40	5.70	194.62	1.33	5.16	4.7	216
O	2.30	4.27	3.8	56	1.42	5.5	5.03	234.98	1.06	4.15	4.1	213
N	2.23	4.48	4.0	66	1.22	5.25	4.62	307.35	1.01	4.14	4.1	251
D	2.23	4.65	4.1	74	1.40	5.75	5.21	207.70	0.96	4.23	4.3	326

Le tableau (IV-2) montre la variation mensuelle de la vitesse, la densité de puissance ainsi que les paramètres de Weibull concernant les ré analyses, l'observation ainsi qu'aux données de la littérature (Boudia, 2013). L'analyse fait ressortir que pour les ré analyses, la vitesse moyenne mensuelle à 10 m décroît entre un maximum de 4.9 m/s au mois d'avril jusqu'à un minimum de 3.3 m/s au mois d'aout. Le maximum de la densité de puissance moyenne se limite à une valeur de 117 w/m² au mois d'avril et un minimum de 55 w/m² au mois d'aout. Les maximas concordent bien sur le plan temporel avec ceux de l'observation qui enregistrent une vitesse maximale moyenne de 6.4 m/s et une densité de puissance moyenne maximale de 471.71 w/m² au mois d'avril. Pour les minimas de vitesse, une moyenne de 4.1 m/s est

enregistrée aux mois de novembre et décembre et la densité de puissance minimale de 211 w/m² est enregistrée au mois de juillet. En ce qui concerne les statistiques des données de littérature [Boudia, 2013], les moyennes maximales de vitesse et de puissance sont respectivement de 8.21 m/s et 471.71 w/m² enregistrées au mois de mai, les minimas de vitesse et de puissance sont respectivement de 4.62 m/s au mois de novembre et 169.88 au mois de d'aout.

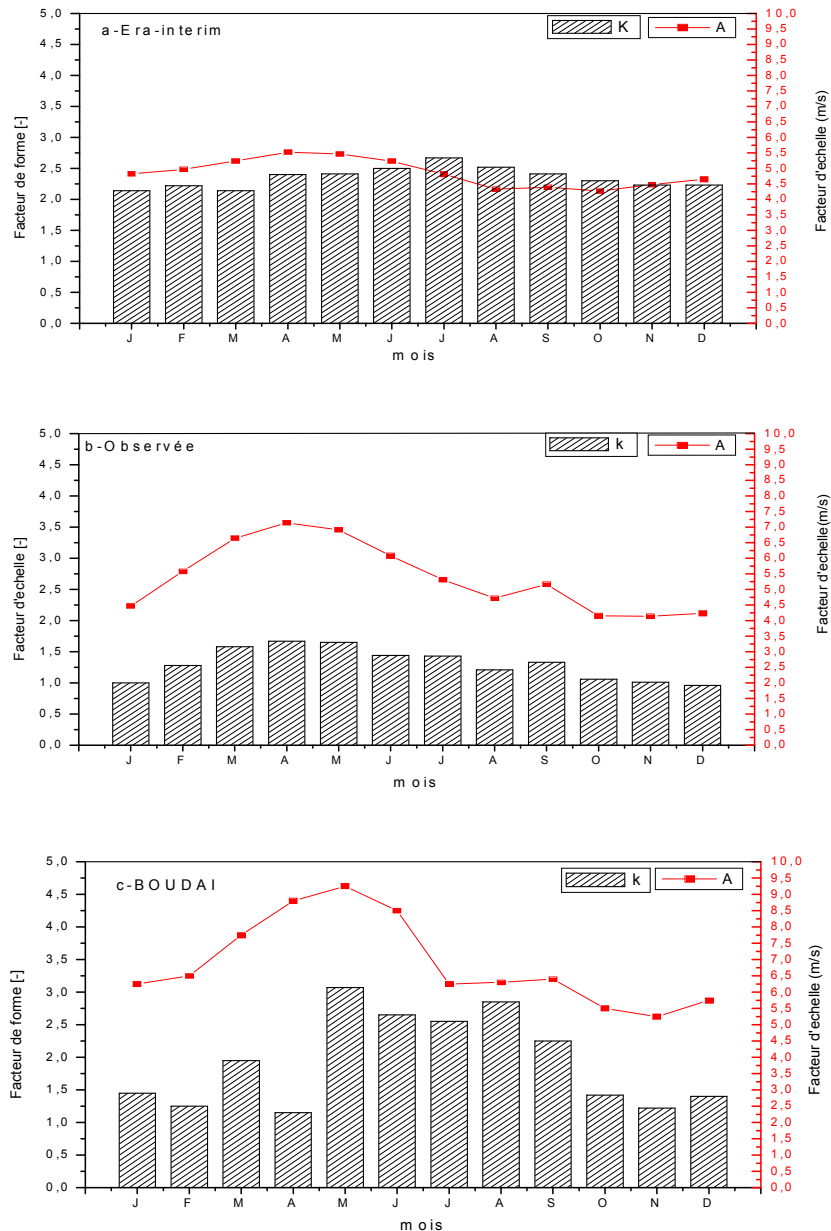


Fig. (IV-6) : Variation mensuelle des deux paramètres de Weibull de (a) Era-interim ,(b) observation ,(c) BOUDIA, 2013.

La figure(IV.6) montre qu'en générale, les données ré analysées ERA-Interim reproduisent le cycle mensuel de la vitesse du vent en surface de la région de Hassi R'mel néanmoins des différences de forme (paramètre de forme) existent et les ré analyses ne sont pas en mesure d'évaluer le productible de cette région avec des faibles valeurs de puissance en comparaison avec les données observées ainsi qu'aux données de littérature.

IV-3- Analyse de la vitesse moyenne du vent à 50m :

A. Régime annuelle :

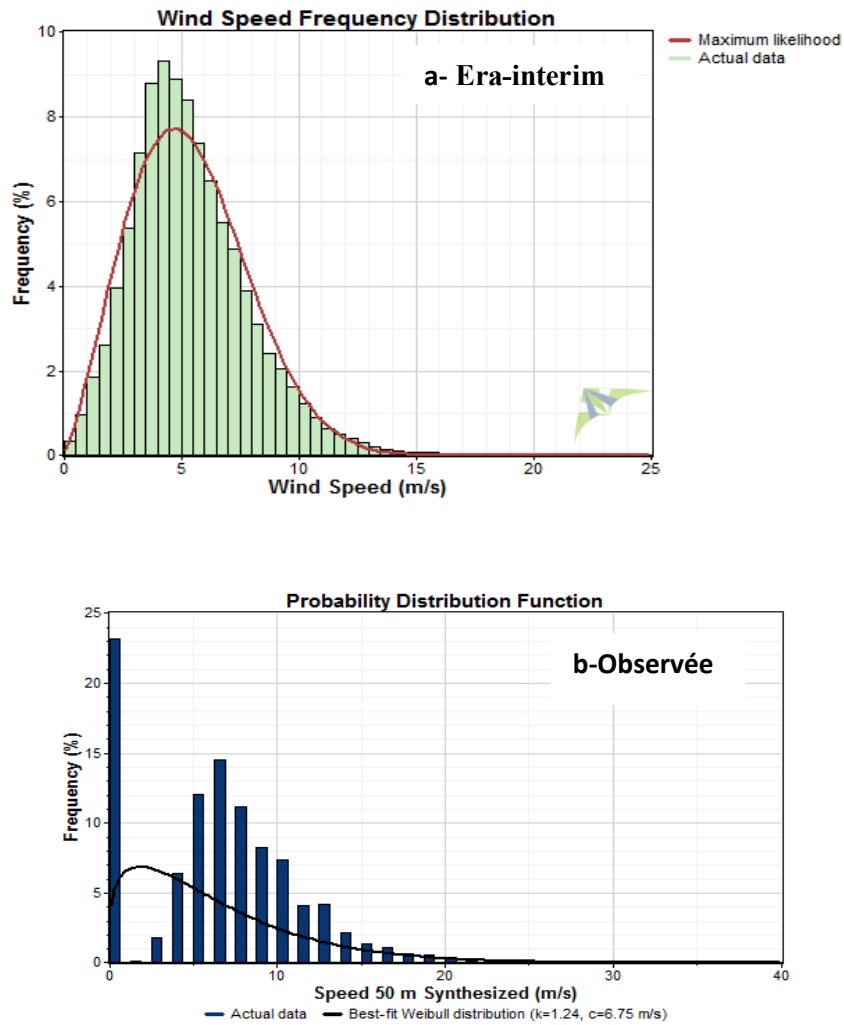


Fig. (IV-7) : Variation annuelle des deux paramètres de Weibull de (a)Era-interim, (b) observée.

Analyse et discussion :

La figure IV-5 présente la distribution des fréquences annuelles de la vitesse du vent à 50 m ajustées par une distribution de Weibull pour les données de ré-analyse Era-interim, les données observées à la station, les données de la vitesse, la densité de densité de puissance moyenne, les deux facteurs de forme et d'échelle sont renseignés dans le tableau (IV-3).

- **Era-interim** : La vitesse du vent couvre une large plage allant jusqu'à 16.5 m / s, le facteur d'échelle est 6.276m / s et le paramètre est égal à 2.276, ce qui donne une vitesse annuelle moyenne de 5,383 m / s et une densité d'énergie moyenne de 162.1 W / m².
- **-Observation** : La vitesse du vent couvre une large plage allant jusqu'à 25.2 m / s, le facteur d'échelle est 6.3m / s et le paramètre est égal à 1.24, ce qui donne une vitesse annuelle moyenne de 6,7 m / s et une densité d'énergie moyenne de 573 w/ m².

Tab. (IV-3) : Variations Annuelle de la vitesse moyenne et de la densité de densité de puissance moyenne pour Hassi R'mel à 50 m

	V _m (m/s)	K	A(m/s)	P(w/m ²)
Era-interim	5.383	2.276	6.077	162.1
Observation	6.75	1.24	6.3	573

L'analyse du tableau (IV-3) montre qu'à l'échelle annuelle, les données Era interim ajustées par une distribution de Weibull donnent une vitesse de vent de même ordre que celle observée sur site. La différence est inférieure à 1 m/s. Les facteurs d'échelles sont aussi de même ordres tandis que le paramètre de forme des ré analyses (k=2.28) est presque le double de celui de l'observation (k= 1.24) ceci engendrent une très faible densité de puissance (162.1 w/m²) comparée à celle de l'observation qui est de 573 w/m². Ceci peut dû au biais négatif de 1 m/s enregistré sur les ré-analyses ERA-Interim.

A. Régime mensuelle

Tab. (IV-4) -Variations mensuelles de la vitesse moyenne et de la densité de densité de puissance moyenne pour Hassi R'Mel,

	Ré-analyse				Observée			
	K	A (m/s)	V (m/s)	P (w/m ²)	K	A (m/s)	V (m/s)	P (w/m ²)
J	2.14	6.04	5.3	168	1	5.58	5.6	638
F	2.22	6.23	5.5	178	1.28	7.00	6.5	590
M	2.14	6.57	5.8	216	1.58	8.32	7.5	644
A	2.40	6.91	5.9	200	1.67	8.95	8.0	734
M	2.41	6.86	6.1	223	1.65	8.66	7.7	677
J	2.50	6.55	5.8	190	1.44	7.62	6.9	586
J	2.67	6.02	5.4	141	1.43	6.65	6.0	395
A	2.52	5.43	4.8	170	1.21	5.91	5.5	411
S	2.41	5.49	4.9	114	1.33	6.47	5.9	425
O	2.30	5.35	4.7	110	1.06	5.20	5.1	419
N	2.23	5.61	5.0	130	1.01	5.19	5.2	495
D	2.23	5.82	5.2	145	0.96	5.30	5.4	642

Le tableau (IV-4) montre la variation mensuelle de la vitesse, la densité de puissance ainsi que les paramètres de Weibull concernant les ré analyses, l'observation ainsi qu'aux données de la littérature (Boudia, 2013). L'analyse fait ressortir que pour les ré analyses, la vitesse moyenne mensuelle à 50 m décroît entre un maximum de 5.9 m/s au mois d'avril jusqu'à un minimum de 4.8 m/s au mois d'aout. Le maximum de la densité de puissance moyenne se

limite à une valeur de 200 w/m² au mois d'avril et un minimum de 170 w/m² au mois d'aout. Les maxima concordent bien sur le plan temporelle avec ceux de l'observation qui enregistrent une vitesse maximale moyenne de 8.0 m/s et une densité de puissance moyenne maximale de 734 w/m² au mois d'avril. Pour les minimas de vitesse, une moyenne de 5.5 m/s est enregistrée aux mois de novembre et décembre et la densité de puissance minimale de 395 w/m² est registrée au mois de juillet.

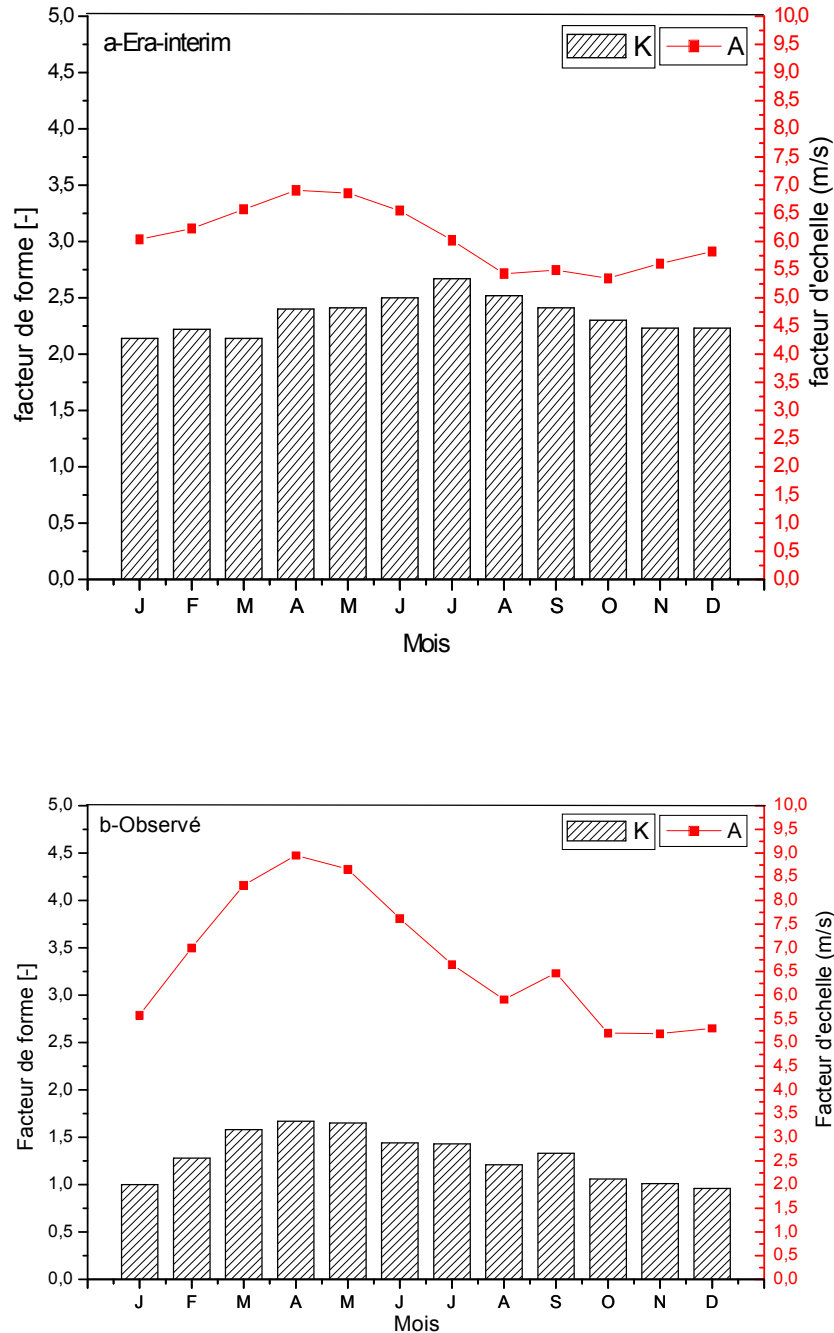


Fig. (IV-8) : Variation mensuelle des deux paramètres de Weibull de (a) Era-interim, (b) observation.

Analyse et discussion :

La figure(IV.8) montre qu'en général, les données ré analysées ERA-Interim reproduisent le cycle mensuel de la vitesse du vent en surface de la région de Hassi R'mel néanmoins des différences de forme (paramètre de forme) existent et les ré analysés ne sont pas en mesure d'évaluer le productible de cette région avec des faibles valeurs de puissance en comparaison avec les données observées ainsi qu'aux données de littérature.

Conclusion générale

Dans notre présent travail, nous avons utilisé les données météorologiques Era-Intérim du centre Européen des prévisions à moyen terme (ECMWF) pour une période de 29 ans (1990-2018) dans le but d'évaluer les ressources éoliennes de la région de Hassi R'mel. La série temporelle des données de vents est extraite pour un point de grille du domaine le plus proche possible de la station météorologique de HassiR'mel. L'étude de la répartition des vitesses a été effectuée par l'application d'une distribution de Weibull à deux paramètres **A** et **k** qui nous a permis d'évaluer le potentiel énergétique de cette région en surface et à 50 m du sol à l'échelle annuelle et mensuelle. Les résultats trouvés sont comparés avec les résultats basés sur les données de mesure sur la station pour la période de (2000-2018) ainsi que des résultats trouvés en littérature. Nous avons conclu ce qui suit :

Les réanalyses Era-interim sont capables de reproduire fidèlement le comportement annuel et mensuel du vent dans cette région notamment la prédominance annuelle du secteur Nord à Nord Est et le secteur nord est à l'échelle mensuelle et la forte vitesse du vent aux mois d'avril à mai.

Les réanalyses Era-interim sous-estiment à toutes les échelles temporelles, en surface et à 50m la vitesse moyenne du vent et la densité de puissance moyenne qui atteignent respectivement **à l'échelle annuelle** 4.85 m/s et 83 W/m² à 10m et 6.077 m/s et 162.1 W/m² à 50 m par rapport aux mesures de la station qui sont de 5.39 m/s et 220 W/m² à 10m et 6.3 m/s et 573 W/m² à 50 m. **A l'échelle mensuelle**, le maximum de vitesse et de puissance énergétique sont enregistrés au mois de avril avec 4.9 m/s et 117 W/m² à 10m et 6.1 m/s et 223 W/m² à 50 m. Tandis que les mesures donnent des valeurs de 6.4 m/s et 373 W/m² à 10m et 7.7 m/s et 677 W/m² à 50 m. Le biais négatif de la vitesse du vent concorde bien avec les résultats trouvés par Barka, 2016 dans leur étude sur la station de HassiR'mel. En fin nous suggérons une étude détaillée sur toute la région prenant en compte l'aspect topographique pour confirmer ou infirmer le fort potentiel annuel de 06 m/s cité dans littérature (Boudia, 2013).

Bibliographie:

- [1] Benmedjahed.M, Choix du site et optimisation du dimensionnement d'une installation éolienne dans le nord Algérien et son impact sur l'environnement, Thèse de doctorat Université Abou-BakerBelkaid Tlemcen (2013).
- [2] J.P triplet et G. ROCHE , 1977, météorologie générale.
- [3] NachidaKasbadjiMerzouk, evaluation du gisement entériteéolien contribution a détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie, Thèse de doctorat université Abou-BakerBelkaid Tlemcen(2006).
- [4] Boudia.S.M, Optimisation de l'évaluation du gisement éolien par simulation numérique dans la région côtière de l'ouest algérien ; cas de Béni-saf, mémoire de magister, Université AbouBakerBelkaid Tlemcen,(2009), pp20.
- [5] G. Faure et A. Bourdeau, « Rapport de projet, comparaison de modèles d'estimation éolienne sur le Liban en vue de leur intervalidation sur ce territoire » Institut National, des Sciences Appliquées Département de génie Mathématique et Modélisation 2009.
- [6] N. Fichaux, Evaluation Du Potentiel Eolien Offshore Et Imagerie Satellitale, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2003, pp.13.
- [7] N. KasbadjiMerzouk, Evaluation du gisement énergétique éolien. Contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie, Thèse de doctorat, Université Abou BekrBelkaid Tlemcen, Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables URMER Tlemcen, 2006, pp.8.
- [8] G.Mégie et V.H Peuch, Belin, 2005, « Physique et chimie de l'atmosphère », sous la direction de R. Delmas.
- [9] World Meteorological Organization, Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO 2008, No. 8, 7th edition, pp1.5-9.
- [10] M. Rapin et J.M. Noël, Energie Eolienne – Principes - Études de cas, Dunod, Paris, 2010.
- [11] Putnam, P.C, 1948: Power from the wind. Van Nostrand Co., Inc., New York, 224pp.
- [12] B. Denis et V. Parades, L'énergie éolienne, Projet de machine thermiques, INSA, Lyon, 2007, pp.15.
- [13] Paul Gipe, Le Grand Livre de l'Eolien, Edition Le Moniteur, 2004, pp.26.
- [14] Jean- Christian Lhomme, Les Energies Renouvelables, Deuxième Edition Réactualisée par Système Solaire, 2004, pp.41
- [15] Berrisford et al, 2011, The ERA-Interim archive Version 2.0, Era report serie, European Centre for Medium Range Weather Forecasts.
- [16] Abdelhamid, Belguidoum. Les aspects technologiques des éoliennes et leur utilisation dans la production d'énergie dans les zones arides. 2013. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider de Biskra

- [17] Idjdarene, Kassa. Contribution à l'étude et la commande de génératrices asynchrones à cage dédiées à des centrales électriques éoliennes autonomes. 2010. Thèse de doctorat. Lille 1.
- [18] Benali Oussama Evaluation de potentiel énergétique éolien dans la région Sud-est du Sahara algérienne.2015.Mémoire de Master académique.UniversitéKasdiMerbah Ouargla.
- [19] Mohammed, M. Boudia Sidi. Optimisation de l'évaluation temporelle du gisement énergétique éolien par simulation numérique et contribution à la réactualisation de l'Atlas des vents en Algérie. 2013. Thèse de doctorat. Université de Tlemcen.
- [20] Paulo Alexandre Costa Rocha, Ricardo Coelho de Sousa Carla Freitas de Andrade, Maria Eugênia Vieira da Silva, Comparison of seven numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy generation in the northeast region of Brazil, *Applied Energy* 89 (2012) 395–400
- [21] Garcia A Torres JL Prieto E DE Francisco A (1998) Fitting wind speed distributions: a case study. *Solar Energy* 62(2): 139-144
- [22] J.V. Seguro, T.W. Lambert Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 85 (2000) 75-84
- [23] BOUDIA, Sidi Mohammed et GUERRI, Ouahiba. Investigation of wind power potential at Oran, northwest of Algeria. *Energy Conversion and Management*, 2015, vol. 105, p. 81-92.
- [24] Madougou, Saïdou. Étude du potentiel éolien du jet nocturne dans la zone sahéenne à partir des observations de radars profileurs de vent. 2010. Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier-Toulouse III
- [25] Dee, D.P., with 35 co-authors., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597 (DOI: 10.1002/qj.828).
- [26] www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/les-differentes-echelles-de-phenomenes /1-2-2019
- [27] www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11242#c7194+c7193-28-1-2019
- [28] Site Météo AQUOPS-Cybers col, 1995-2012
- [29] [ww.astrosurf.com/luxorion/meteo-vent .htm](http://ww.astrosurf.com/luxorion/meteo-vent.htm)/2-2-2019
- [30] www.nke-marine-electronics.fr/project/anemo-girouette-standard/27/2/2019

ملخص:

تم في هذا البحث استعمال بيانات (Era-interim) للمركز الأوروبي للتنبؤات الطقسية المتوسطة المدى (ECMWF) الخاصة بسرعة واتجاه الرياح السطحية (10م) للفترة (1990-2018) للتقدير طاقة الرياح لمنطقة حاسي الرمل جنوب شرق الجزائر بالاعتماد على توزيع ويبل ثم حساب معلمة الشكل والقياس (K,A) وكذا معدل الطاقة المنتجة.

أظهرت النتائج قدرة معطيات Era-interim على تمثيل السلوك الشهري والسنوي لسرعة الرياح في هذه المنطقة. لكن بتقدير معدل طاقة أقل من تقدير قياسات محطة الارصاد الجوية لمنطقة حاسي الرمل .

كلمات مفتاحيه: سرعة الرياح، دالة توزيع ويبل, وردة الرياح

Résumé :

Dans la présente étude, nous avons utilisé les données Era-interim du centre Européen ECMWF concernant la vitesse et la direction du vent (10 m) pour la période 1990-2018 pour évaluer l'énergie éolienne de la région de Hassi-R'mel dans le sud-est de l'Algérie, en se basant sur la distribution de Weibull et le calcul des deux paramètres de forme et d'échelle (K, A) ainsi que l'énergie moyenne produite.

Les résultats montrent que les données Era-interim sont capables de reproduire le comportement mensuel et annuel de la vitesse du vent dans cette région, mais avec une sous estimation de la puissance moyenne produite qui est largement inférieure à celle évaluée par les mesures de la station météorologique Hassi El R'mel.

Mots clés : vitesse de vent, distribution de Weibull , rose de vent .

Abstract

In this study, the Era-interim reanalysis data of the European center (ECMWF) for wind speed and wind direction at 10 m high for the period (1990-2018) are used to assess wind energy potential at Hassi R'mel region in southeastern Algeria based on the weibull distribution, and the two parameters of the form and measurement (K,A) as well as the mean power curve .

The results show the ability of the Era-interim data to reproduce the monthly and annual behavior of wind speed in this area, But with an underestimation of the average power curve produced which is significantly lower than power assessed with measurements of meteorological station of Hassi R'mel.

Key words: wind speed, Weibull distribution, the wind rose.