



République Algérienne Démocratique et Populaire

N° d'ordre
N° de série

Ministère de l'Enseignement Supérieur et

De la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah d'Ouargla

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière

Département de Physique

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de : **MASTER ACADEMIQUE**

Spécialité : **Physique**

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

Présenté par :

BARKA Ibtissam & BARKA Dalal

Thème

Etude comparative des données du vent observées et les données ré-analysées ECMWF à Hassi R'mel et Ghardaïa

Soutenus publiquement le

Devant le jury :

Président	: Lazhar BENMEBROUK	Maitre de conférences B	UKMO
Examineur	: Mohamed Tahar	Maitre assistant A	UKMO
Encadreur	: Abdellali FEKIH	Magister	ONM

Année universitaire : 2016/2017

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail:
A ma source de bonheur :*

Mon père, ma mère pour leurs amour, leur bonté, leur sacrifice, leurs encouragements perpétuels, leur soutien. puisse Dieu prolonger leur vie dans le bonheur.

A mes frères et mes sœurs.

*A toute la famille BARKA.
A tous mes amis surtout Imene, Afaf, safaa, et mon binôme Dalal.*

Et aussi à tous mes collègues du département de physique.

A toute personne qui occupe une place dans mon coeur.

Ibtissam

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail:
A ma source de bonheur :*

Mon père, ma mère pour leurs amour, leur bonté, leur sacrifice, leurs encouragements perpétuels, leur soutien. puisse Dieu prolonger leur vie dans le bonheur.

A mes frères et mes sœurs .

*A mon mari Ahmed.
A tous mes amis sans exception.*

Et aussi à tous mes collègues du département de physique .

Dalal

Remerc

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 **BENMEBROUK Lazhar**, Maître de conférences à l'Université KASDI Merbah d'Ouargla, d'avoir accepté de présider le jury, aussi à Mr **NAKES Mohamed Tahar**, Maître assistant 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 .*

Table des matières

DEDICACE	
REMERCIEMENTS	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES TABLEAUX	10
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : DYNAMIQUE DE L'ATMOSPHERE.....	3
I-1- INTRODUCTION.....	3
I-2- PRESENTATION GENERALE DE L'ATMOSPHERE	3
I-2-1- STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE	3
I-2-2- LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE CLA	5
I-2-2-1- Définition	5
I-2-2-2- Structure verticale de la CLA	5
I-2-3- STABILITE ATMOSPHERIQUE.....	6
I-2-3-1- l'influence thermique du sol, les brises.....	7
I-2-3-2- l'influence mécanique du relief, obstacles montagneux.....	7
I-3- NOTION D'ECHELLE.....	8
I-3-1- L'ECHELLE PLANETAIRE	9
I-3-2- L'ECHELLE SYNOPTIQUE	9
I-3-3- MESO-ECHELLE OU ECHELLE REGIONALE	10
I-3-4- L'ECHELLE AEROLOGIQUE.....	10
I-3-5- MICRO-ECHELLE OU ECHELLE TURBULENTE.....	10
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE VENT	13
II-1-INTRODUCTION.....	13
II-2- LE VENT ET SON ORIGINE	13
II-3- DIRECTION ET VITESSE DU VENT	14
II-4- CARACTERISTIQUES DU VENT.....	14
II -4-1-VARIABILITE TEMPORELLE	15
II-4-2-VARIABILITE SPATIALE	15
II -5- MESURE DU VENT	16
II -5-1-ANEMOMETRE ET GIROUETTE	16
II -5-2-MANCHE A AIR	17
II -5-3-PYLONES DE MESURE	18
II -5-3-1- La mesure des autres données météorologiques	19
II -5-3-2- La mesure du vent par télédétection.....	19
II -5-4-LES INDICATEURS BIOLOGIQUES.....	20
II -5-5-ROSE DES VENTS.....	21
II -6- LE VENT A L'ECHELLE GLOBALE	22
II -6-1-CIRCULATION EN SURFACE.....	22
II -6-1-1-La circulation zonale	22
II -6-1-2-La circulation méridienne	23
II -6-2-VARIATION SAISONNIERE DU VENT	24
II -6-2-1- Mécanisme des saisons	24
II -6-2-2-Répartition du flux solaire.....	25
II -7-VENT SYNOPTIQUE	26

II -7-1- DEFINITION	26
II -7-2- EQUATION DU MOUVEMENT	27
II -7-3- APPROXIMATION GÉOSTROPHIQUE	28
II -7-4- NOTION DU RESEAU SYNOPTIQUE.....	30
II -7-5- DONNEES OBSERVEES (APPORT DE LA MESURE)	32
II -7-5-1-Mesure en surface.....	32
II -7-5-2-Mesure en altitude.....	32
II -7-5-3-Mesure par télédétection.....	33
II -7-6- DONNEES RE-ANALYSEES (APPORT DE LA MODELISATION).....	33
II -7-6- 1-Ré-analyse météorologique	33
II -7-6- 2-Analyse opérationnelle.....	33
II -7-6- 3-Ré-analyse.....	34
II -7-6- 4-Limites des ré-analyses	35
II -7-6- 5-Ré-analyse du CEPMMT	35
II -7-6- 6-Produits de ré-analyses.....	36
CHAPITRE III : ETUDE DU CHAMP DU VENT OBSERVE ET RE-ANALYSE ECMWF	38
III-1- PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE.....	38
III-1-1- SITUATION GEOGRAPHIQUE	38
III-1-1-1- La région de Ghardaïa	38
III-1-1-2- La région de Hassi R'mel.....	39
III-1-2- SYNTHÈSE DES DONNEES CLIMATIQUE	39
III.1.2.1. – Digramme ombrothermique de Gausсен	39
III-1-2-2- Climagramme d'Emberger.....	41
III-2-LES DONNEES	43
III-2-1- LES DONNEES OBSERVEES	43
III-2-2- LES DONNEES RE-ANALYSEES ECMWF	43
CHAPITRE IV: RESULTATS ET ANALYSES	46
IV-1- INTRODUCTION	46
IV-2- REGIME ANNUEL DU VENT.....	46
IV-2-1- LES ROSES ANNUELLES DU VENT OBSERVE ET ECMWF A GHARDAÏA ET HASSI R'MEL	46
IV-2-2- LES CLASSES DES VITESSES ANNUELLES DU VENT A GHARDAÏA ET HASSI R'MEL	47
IV-3- REGIME MENSUEL DU VENT	48
IV-3-1- LES VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT A 00 H	48
IV-3-2- LES VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT A 06 H	49
IV-3-3- LES VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT A 12 H	50
IV-3-4- LES VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT A 18 H	51
IV-3-5- LES VITESSES MOYENNES MENSUELLES GLOBALES DU VENT	52
IV-4- REGIME SAISONNIER DU VENT	53
IV-4-1- LES VITESSES MOYENNES SAISONNIERES DU VENT A 00H	53
IV-4-2- LES VITESSES MOYENNES SAISONNIERES DU VENT A 06H	54
IV-4-3- LES VITESSES MOYENNES SAISONNIERES DU VENT A 12H	54
IV-4-4- LES VITESSES MOYENNES SAISONNIERES DU VENT A 18H	55
IV-4-5- LES VITESSES MOYENNES SAISONNIERES GLOBALES DU VENT	56
IV-5- REGIME DIURNE DU VENT.....	56
IV-5-1-LES ROSES DU VENT OBSERVE ET ECMWF DE GHARADAIA ET HASSI R'MEL A 00H	57
IV-5-2- LES CLASSES DES VITESSES DU VENT DE GHARADAIA ET DE HASSI R'MEL A 00H	58
IV-5-3-LES ROSES DU VENT OBSERVE ET ECMWF DE GHARDAÏA ET HASSI R'MEL A 06H	59
IV-5-4- LES CLASSES DES VITESSES DU VENT DE GHARADAIA ET DE HASSI R'MEL A 06H	60
IV-5-5-LES ROSES DU VENT OBSERVE ET ECMWF DE GHARADAIA ET HASSI R'MEL A 12H	61

IV-5-6- LES CLASSES DES VITESSES DU VENT DE GHARDAIA ET DE HASSI R'MEL A 12H.....	62
IV-5-7-LES ROSES DU VENT OBSERVE ET ECMWF DE GHARADAIA ET HASSI R'MEL A 18 H.....	63
IV-5-8- LES CLASSES DES VITESSES DU VENT DE GHARDAIA ET DE HASSI R'MEL A 18H	64
IV-6- REGIME SPATIAL DU VENT	65
IV-7 LES TESTS STATISTIQUES	66
IV-7-1- LES FORMULES	66
IV-7-2- LES TESTS STATISTIQUES DE HASSI R'MEL.....	66
IV-7-3- LES TESTS STATISTIQUES DE GHARDAIA.....	66
IV-7-4- LES CORRELATIONS ENTRE LE VENT OBSERVE ET ECMWF A GHARDAIA (00H, 06H, 12H ET 18H).....	67
IV-7-5- LES CORRELATIONS ENTRE LE VENT OBSERVE ET ECMWF A HASSI R'MEL (00H, 06H, 12H ET 18H).....	68
CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	70
RESUME	71
ABSTRACT	71

Liste des figures

	Page
FIG.I-1 : VUE SCHÉMATIQUE DE LA COUCHE ATMOSPHÉRIQUE STANDARD.....	3
FIG. I-2 : STRUCTURE VERTICALE DE LA TROPOSPHÈRE	4
FIG. I-3 : VUE SCHÉMATIQUE DE LA COUCHE LIMITE ATMOSPHÉRIQUE.....	5
FIG. I-4 : INFLUENCE MÉCANIQUE DU RELIEF	8
FIG. I-5: ECHELLES DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUE	11
FIG.II-1 : VARIATIONS TEMPORELLES DE LA VITESSE DU VENT.....	15
FIG. II-2 : ENSEMBLE ANÉMOMÈTRE GIROUETTE	17
FIG. II-3 : LA MANCHE À AIR	17
FIG. II-4 : MÂT DE MESURE	18
FIG. II-5 : LIDAR POUR MESURER LE VENT	20
FIG. II-7 : INDEX DES NIVEAUX DE DÉFORMATION DE GRIGGS-PTUNAM.....	21
FIG. II-8 : ROSES DES VENTS À 16 DIRECTIONS, ILLUSTRANT LA DISTRIBUTION DE LA FRÉQUENCE, LA VITESSE.....	21
ET L'ÉNERGIE POUR DIFFÉRENTES DIRECTIONS.....	21
FIG. II-9 :CIRCULATION ZONALE.....	23
FIG. II-10 :CIRCULATION MÉRIDIANNE.	23
FIG. II-11 : MÉCANISME DES SAISONS.....	24
FIG. II-12: ROTATION DES VENTS AUTOUR D'UN ANTICYCLONE ET D'UNE DÉPRESSION DANS L'HÉMISPHERE NORD.	26
FIG. II-13: ÉQUILIBRE GÉOSTROPHIQUE.....	29
FIG. II-14 : VENT GÉOSTROPHIQUE DUE À LA DIFFÉRENCE DE TEMPÉRATURE ENTRE DEUX MASSES D'AIR .	29
FIG. II-15 : CARTE DE PRESSION AU NIVEAU DE LA SURFACE MONTRANT LE VENT ET LA PRESSION AUX STATIONS	29
FIG III-1 LIMITES GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION DE GHARDAÏA	38
FIG III-2 LIMITES GÉOGRAPHIQUES DE LA RÉGION DE HASSI R'MEL.....	39
FIG III- 3: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN GHARDAIA(2006-2015)	41
FIG III- 4:DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN HASSI R'MEL (2006-2015).....	41
FIG III-5 : L'EMPLACEMENT DE GHARDAÏA ET HASSI R'MEL SUR LE CLIMAGRAMME D'EMBERGER	42
FIG IV.1. ROSES ANNUELLES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF À GHARDAIA.....	46
FIG IV.2. ROSES ANNUELLES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF À HASSI R'MEL.	46
FIG IV.3. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT DE GHARDAIA.	47
FIG IV.4. LES CLASSES DES VITESSES ANNUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL.	48
FIG.IV.5. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 00H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	49
FIG.IV.6. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 06H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	50
FIG.IV.7. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 12H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	51
FIG.IV.8. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 18H DE HASSI R'MEL ET	

GHARDAIA.	52
FIG.IV.9. VITESSES MOYENNES MENSUELLES GLOBALE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	53
FIG.IV.10. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 00H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	53
FIG.IV.11. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 06H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	54
FIG.IV.12. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 12H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	55
FIG.IV.13. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 18H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	55
FIG.IV.14. VARIATION SAISONNIÈRE GLOBALE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	56
FIG.IV.15. VARIATION DIURNE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.	57
FIG.IV.16. VARIATION DIURNE DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF À GHARDAIA ET HASSI R'MEL	57
FIG IV.17. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE GHARDAIA À 00H	57
FIG IV.18. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE HASSI R'MEL À 00H	58
FIG IV.19. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE GHARDAIA À 00H	58
FIG IV.20. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL À 00H	59
FIG IV.21. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE GHARDAIA À 06H	59
FIG IV.22. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE HASSI R'MEL À 06H	60
FIG IV.23. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE GHARDAIA À 06H	60
FIG IV.24. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL À 06H	61
FIG IV.25. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE GHARDAIA À 12H	61
FIG IV.26. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE HASSI R'MEL À 12H	62
FIG IV.27. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE GHARDAIA À 12H	62
FIG IV.28. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL À 12H	63
FIG IV.29. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE GHARDAIA À 18H	63
FIG IV.30. ROSES DU VENT OBSERVÉ ET ECMWF DE HASSI R'MEL À 18H	64
FIG IV.31. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE GHARDAIA À 18H	64
FIG IV.32. LES CLASSES DES VITESSES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL À 18H	65
FIG.IV.33. CORRÉLATION ENTRE LE VENT OBSERVÉ ET ECMWF À GHARDAIA (00H, 06H, 12H ET 18H)	67
FIG.IV.34. CORRÉLATION ENTRE LE VENT OBSERVÉ ET ECMWF À HASSI R'MEL (00H, 06H, 12H ET 18H)	68

Liste des tableaux

	Page
TAB.I-1 : PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES À DES ÉCHELLES TROPOSPHÉRIQUE.....	11
TAB. II -1 : ECHELLE BEAUFORT.....	14
TAB.II-2 : INDICE DE DÉFORMATION DE GRIGGS-PUTNAM	20
TAB II-3 : OBSERVATIONS À L'ÉCHELLE SYNOPTIQUE DISPONIBLES DANS L'EXPLOITATION	31
TAB. III-1 : TEMPÉRATURE ET PRÉCIPITATION MOYENNE À GHARDAIA (2006-2015).....	40
TAB. III-2: TEMPÉRATURE ET PRÉCIPITATION MOYENNE	40
À HASSI R'MEL (2006-2015).....	40
TAB-III-3. COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES DE NOTRE ZONE D'ÉTUDE.....	43
TAB.IV.1. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 00H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	48
TAB.IV.2. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 06H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	49
TAB.IV.3. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 12H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	50
TAB.IV.4. VITESSES MOYENNES MENSUELLES DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 18H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	51
TAB.IV.5. VITESSES MOYENNES MENSUELLES GLOBALE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.....	52
TAB.IV.6. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 00H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	53
TAB.IV.7. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 06H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	54
TAB.IV.8. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 12H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	54
TAB.IV.9. VARIATION SAISONNIÈRE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF À 18H DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	55
TAB.IV.10. VARIATION SAISONNIÈRE GLOBALE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA	56
TAB.IV.11. VARIATION DIURNE DU VENT OBSERVÉ ET DE L'ECMWF DE HASSI R'MEL ET GHARDAIA.....	56
TAB. IV.12 : LES TESTS STATISTIQUES DE HASSI R'MEL.....	66
TAB. IV.13 : LES TESTS STATISTIQUES DE GHARDAIA	66

Introduction générale

Bien que l'homme ne voit pas l'air ou le vent, mais il sent la présence du vent et la direction du mouvement, vu de la direction que vous suivez les nuages bas et les langues de la fumée et des branches a des arbres, et les vagues de la mer, mais le vétéran peut être vu regarder le mouvement des phénomènes précédents et déterminer la direction du vent et de la vitesse.

Le vent est un paramètre météorologique essentiel. La connaissance de sa distribution et ses variations dans le temps nous permet d'expliquer les phénomènes environnementaux tels que l'érosion et l'ensablement des terres, dispersion et transport des polluants. En Algérie le réseau de mesure du vent se compose de presque 80 points de mesure distribués sur le territoire national avec une faible couverture au sud. Ce qui rend difficile l'explication et l'interprétation spatio-temporelle de ce paramètre sensible. Dans notre présent travail nous utilisons des données ré-analysées du vent en surface à 10 m du centre ECMWF pour mener une étude comparative avec les données observées dans deux stations arides du sud-algérien (Hassi R'mel et Ghardaïa) pour l'année 2011. La méthode utilisée repose sur le calcul des roses de vent et la classification des vitesses en utilisant le logiciel WRPLOT. L'évolution diurne, annuelle, mensuelle et saisonnière ainsi que la corrélation entre données à été réalisés avec logiciel EXCEL. En utilisant le logiciel Excel aussi pour calculant les paramètres suivant :(Le biais, RMSE, STD).

Les résultats obtenus vont nous permettre de combler les lacunes existantes dans les données d'observation et serviront comme base de données pour des études futures.

Le manuscrit s'articule autour de quatre chapitres, dans un premier temps, nous présentons la dynamique de l'atmosphère, notamment la description de la couche limite atmosphérique (CLA) ainsi que la notion des échelles météorologiques.

Dans le chapitre II nous passons en revue les principales définitions du vent et ses caractéristiques et les différents paramètres qui le régissent ainsi que d'autre grandeurs qui sont indispensables à sa mesure. L'étude de vent à l'échelle globale, sa circulation zonale et méridienne seront également présentées.

Le chapitre III sera consacré à l'étude climatique de la zone d'étude à savoir la région de Ghardaia et Hassi R'mel.

Le chapitre IV détaillera les régimes du vent (annuel, mensuel, saisonier, diurne et spatial).

Chapitre I :
Dynamique de l'atmosphère

Chapitre I : Dynamique de l'atmosphère

I-1- Introduction

Dans ce chapitre nous sera consacrée à une présentation générale de l'atmosphère et sa structure tout en se focalisant sur la couche limite atmosphérique. En premier lieu, nous définirons la nature de l'atmosphère, son structure et la stabilité de son couches. Une autre partie de ce chapitre consistait en l'étude de les Echelle des principaux phénomènes météorologiques.

I-2- Présentation générale de l'atmosphère

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse formant une couche d'air qui entoure la Terre. L'atmosphère terrestre est composée de plusieurs couches de gaz et de particules en suspension, d'environ 500km d'épaisseur que la Terre retient à sa surface. Sa densité et sa température diminuent avec l'altitude où seule la couche la plus basse de l'atmosphère, renferme des êtres vivants et se trouve brassée par les courants atmosphériques à l'origine des phénomènes climatiques. [8]

I-2-1- Structure de l'atmosphère

Bien que l'atmosphère se subdivise en plusieurs grandes parties en fonction du gradient vertical de température, l'atmosphère standard se compose essentiellement de deux grandes parties (Figure I-1) :

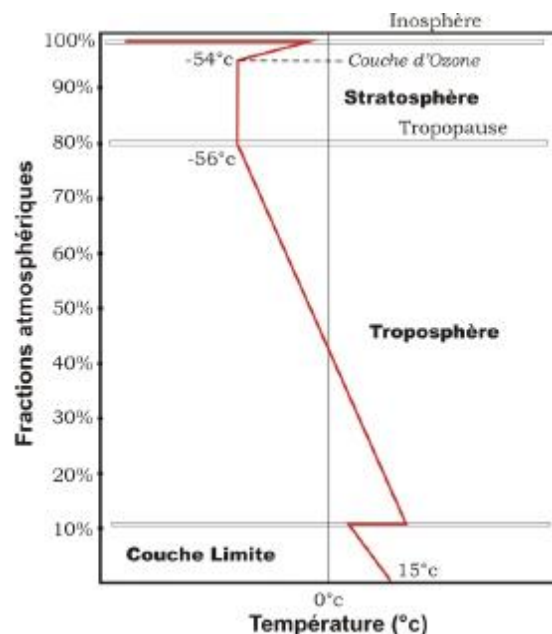


Fig.I-1 : Vue schématique de la couche atmosphérique standard

- **La troposphère :** La troposphère correspond à la couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre. Son épaisseur est variable, de l'ordre de 7km de hauteur au-dessus des pôles allant jusqu'à 18km au-dessus de l'équateur et environ 13km, selon les saisons, dans certaines zones.

C'est dans cette couche qu'on retrouve la plus grande partie des phénomènes météorologiques. Plus on s'élève dans la troposphère, plus la température décroît de 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.

- **La stratosphère :** La stratosphère se trouve au-dessus de la troposphère et limitée en haut par l'ionosphère. Elle comprend la couche d'ozone. Cette dernière est essentielle à la vie sur Terre, car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère. S'agissant d'un environnement beaucoup plus calme, les mouvements de l'air y sont bien moindres

La zone des basses couches atmosphériques étant la troposphère, peut être scindée en deux parties distinctes. L'atmosphère libre d'un côté et la couche limite atmosphérique (CLA) d'un autre. La Figure I-2 présente la structure verticale de la troposphère:

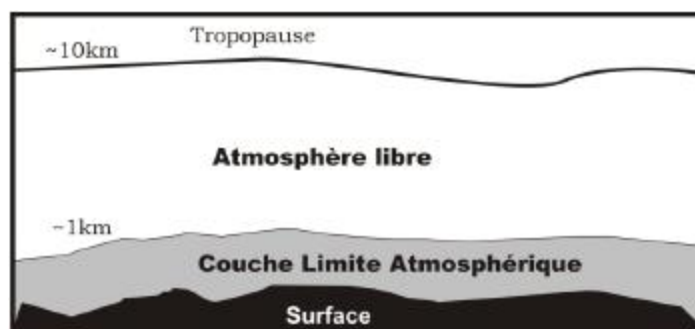


Fig. I-2 : Structure verticale de la troposphère

L'atmosphère libre qui est le siège d'un vent uniforme, horizontal et peu turbulent avec une vitesse constante représente le foyer des vents dit géostrophique. Les forces de pression et de Coriolis sont prédominantes et les forces de frottement négligeables.

La couche limite atmosphérique représente le lieu même des forces de frottement. Ces forces induisent un comportement complexe du fluide atmosphérique.

Notre travail se situe dans la couche limite atmosphérique (CLA), notamment dans la couche limite de surface (CLS). Sa définition ainsi que ses caractéristiques structurales suivront.

I-2-2- La couche limite atmosphérique CLA

I-2-2-1- Définition

Initiée par Ludwig Prand en 1904 [15], la théorie de la couche limite fut utilisée pour caractériser l'écoulement d'un fluide aux abords d'une paroi. Ainsi, l'idée de couche limite répond bien à la couche limite terrestre qui correspond à la couche dans laquelle les frottements ont un effet très significatif. C'est là où les températures subissent le plus, l'influence de l'ensoleillement durant la journée et du refroidissement radiatif durant la nuit, avec les vents sous l'influence du frottement sur la surface.

La couche limite atmosphérique CLA est la couche de la troposphère qui est directement influencée par la surface terrestre [18][6]. En moyenne, la couche limite atmosphérique est comprise entre la surface terrestre et une hauteur généralement de quelques centaines de mètres à 1500m, parfois jusqu'à 2000m. Au-dessus de la CLA, l'influence de la surface est négligeable et l'écoulement de l'air qui n'est autre que le vent est laminaire dans l'atmosphère libre.

C'est un lieu d'échanges d'énergie entre la surface et l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau et de quantité de mouvement. Son épaisseur varie de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Elle est en fonction de la vitesse du vent, de la rugosité de surface et de l'ensoleillement local.

I-2-2-2- Structure verticale de la CLA

La couche limite atmosphérique se divise en trois parties distinctes (voir Figure I-3), à savoir la couche d'Ekman, la couche limite de surface et la sous-couche rugueuse.

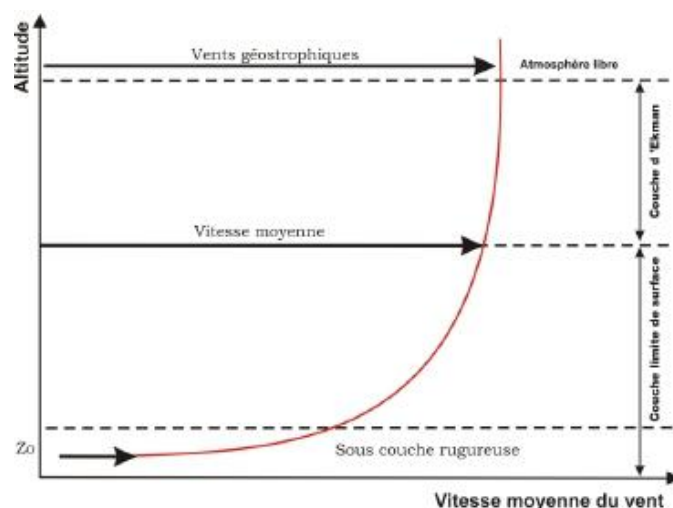


Fig. I-3 : Vue schématique de la couche limite atmosphérique

- La couche d'Ekman est la partie supérieure de la CLA. Dans cette zone, la structure du champ de vent est influencée par les frottements sur la surface, la stratification thermique et la force de Coriolis. Avec l'altitude, les forces de frottements sont négligeables devant la force de Coriolis. La direction du vent subit donc une rotation et s'aligne à son sommet avec le vent géostrophique.
- La couche de surface est directement en contact avec la surface terrestre. Dans cette couche, la force de Coriolis est négligeable devant les forces de frottements et les effets thermiques. La structure du champ de vent est donc complexe et variable avec la nature du terrain et sa rugosité.
- La sous-couche rugueuse est la partie inférieure de la couche de surface, juste au-dessus de la surface du sol. Son épaisseur varie de quelques dizaines de millimètres sur une surface de mer plane à quelques dizaines de mètres en ville. L'écoulement de l'air est alors fortement turbulent non homogène et instationnaire. Ceci est caractérisé par le paramètre de longueur de rugosité aérodynamique globale Z_0 . Généralement, cette longueur de rugosité caractérise l'influence de la sous-couche rugueuse sur le vent.

I-2-3- Stabilité atmosphérique

Au sein de la CLA, les forces de frottement issues de l'écoulement de l'air sur une surface rugueuse impliquent une forte activité turbulente du fluide atmosphérique [5]. Ainsi :

- 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 de masses d'air chauffées et refroidies à proximité du sol.

Par ailleurs, l'air est régi par des turbulences d'origine [11]:

- **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 de l'écoulement de l'air entre les régions chaudes et froides.

On distingue ainsi plusieurs états de l'atmosphère décrivant quelle source de turbulence est dominante. Si une parcelle d'air déplacée verticalement amplifie son mouvement, alors la couche limite atmosphérique est dite instable. Si une parcelle d'air déplacée retourne à sa position d'origine, l'atmosphère est dite stable. Enfin, si la production mécanique de turbulence est très supérieure à la production par flottabilité ou si la production par flottabilité est proche de zéro, alors on dit que la CLA est neutre. Un ciel dégagé et un vent faible conduisent à une couche limite instable de jour et stable de nuit. Lorsque le vent souffle fort, la CLA devient neutre ou proche du neutre. Par vent faible, le cycle diurne se remarque sur des mesures de turbulence par l'enchaînement des différents états de stabilité de l'atmosphère.

I-2-3-1- l'influence thermique du sol, les brises

Dans le langage courant, on confond généralement vent et brise. Pour les météorologues, il s'agit pourtant de circulations d'air tout à fait différentes. Le vent se situe à l'échelle météorologique, il a pour moteur les anticyclones et les dépressions. Par contre, la brise est un phénomène local, d'origine convective [2]. Ces brises sont très influencées par des facteurs tels que la mer, la terre et les montagnes. Ainsi, l'échauffement non uniforme et inégal du sol et de l'eau, sous l'effet du rayonnement solaire, la variation de température est beaucoup plus sensible au-dessus de la terre qu'au-dessus des grandes étendues d'eau. Cela induit au soulèvement de l'air chaud qui s'étend ensuite vers la mer. L'air froid provenant de la mer est attiré par la dépression créée au niveau de la terre à cause de son réchauffement. Ce phénomène est appelé la brise de mer. Durant la nuit, la direction de cette brise prend le chemin inverse, c'est la brise de terre. On cite aussi la brise de pente et la brise de vallée.

I-2-3-2- l'influence mécanique du relief, obstacles montagneux

Les obstacles isolés sont plus au moins contournés par le vent mais dès que le barrage formé par le relief est suffisamment développé, le courant aérien doit le franchir souvent sur la plus grande partie de sa longueur. La Figure I-4.a représente le mouvement de l'air le long d'un obstacle orographique. Sur le versant dit «au vent» l'air s'élève en donnant naissance à un courant ascendant, nommé ascendance de pente, qui est souvent utilisé pour le vol à voile. Poursuivant son mouvement, l'air redescend, ensuite le long du versant opposé, dit «sous le vent», il est animé d'une turbulence plus au moins grande formant des courants rabattants et des tourbillons. Donc si l'on rencontre souvent des vitesses de vent accélérées sur les collines, c'est à cause de la différence de pression qui existe à l'avant et à l'arrière de celles-ci. Ainsi, le vent se trouve comprimé par la colline à la face exposée au vent, pour s'étendre ensuite, une fois passé le sommet, vers la zone de basse pression du côté sous le vent de la colline.

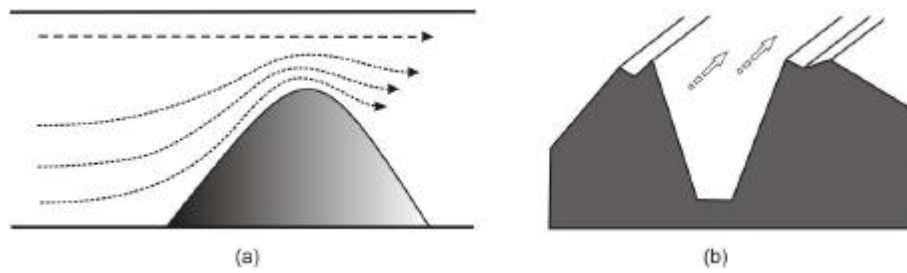


Fig. I-4 : Influence mécanique du relief
 (a) Mouvement de l'air le long d'un obstacle orographique (b) Effet tunnel

La Figure I-4.b quant à elle représente un autre phénomène causé par les montagnes et les collines. Il est connu par l'effet tunnel, où la vitesse du vent augmente d'une façon significative à l'intérieur du tunnel.

I-3- Notion d'échelle

L'atmosphère est soumise à de nombreuses excitations extérieures comme le rayonnement solaire ou les interactions entre les continents et les océans. Ces excitations sont cycliques (cycles journaliers ou saisonniers du rayonnement solaire) ou régulières, mais aussi très variables dans l'espace et le temps.

En réaction, des mouvements de l'atmosphère se mettent en place pour réduire les hétérogénéités induites par l'extérieur et évoluer vers un état d'équilibre. Ces mouvements atmosphériques se produisent à des échelles d'espace et de temps très diverses. Les échelles sont en réalité très imbriquées malgré une dominance de certains phénomènes météorologiques à des échelles bien particulières.

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

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

Selon le problème traité, les processus qui dominent diffèrent et des modélisations appropriées doivent être utilisées. On est ainsi amené à définir plusieurs échelles caractérisées par leurs dimensions horizontales (L) et les échelles temporelles (t) associées.

Les différents phénomènes d'origine naturelle observables dans l'atmosphère (rafales de vent, orages, perturbations ...) peuvent être regroupés suivant deux critères : leurs dimensions (échelle spatiale) et leur durée de vie (échelle temporelle).

I-3-1- L'échelle planétaire

Les phénomènes météorologiques à l'échelle planétaire s'étendent sur plusieurs milliers de kilomètres et leur durée de vie est de l'ordre de plusieurs mois ou de l'année. Par exemple le Jet Stream correspond à un phénomène planétaire car on le retrouve sur des surfaces très étendues dans l'atmosphère à haute altitude (7 à 12 km au-dessus du niveau de la Terre) [23]. et aussi on peut citer comme exemple l'alternance des périodes sèches et humides des régions intertropicales ou le régime des moussons. Ces phénomènes sont associés aux grandes fluctuations saisonnières de l'atmosphère. Ils s'étendent sur plusieurs milliers de km et leur durée de vie est de l'ordre du mois ou de l'année. On peut les appréhender grâce aux satellites géostationnaires.

I-3-2- L'échelle synoptique

En météorologie, les phénomènes atmosphériques de l'échelle synoptique ont des dimensions dont l'ordre de grandeur est de quelques milliers de kilomètres pour les dimensions horizontales, quelques kilomètres pour la dimension verticale et quelques jours pour la durée. On y retrouve les dépressions, les anticyclones et les aérosols présents dans l'air (pollution atmosphérique, sable transporté par le vent ...). Cette échelle constitue le cadre de la prévision météorologique sur une échéance de un à trois jours dans les zones tempérées en modélisant les mouvements des centres d'action sur une zone géographique prédéfinie.

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

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

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

La méso-échelle se distingue en trois sous-catégories selon le diamètre et la durée du phénomène étudié : Méso-gamma (2-20 kilomètres / 2-30 minutes), Méso-beta (20-200 kilomètres / 30 minutes – 6 heures) et Méso-alpha (200-2000 kilomètres / 6 heures à 2 jours). Dans le cadre de la prévision météorologique la méso-échelle est utilisée par les modèles à mailles fines qui bénéficient d'une plus grande précision pour analyser des phénomènes dans des espaces plus restreints (pays, régions...).

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 de l'ordre de l'heure. Un nuage cumuliforme, un orage, une tornade relèvent de cette catégorie.

L'observation par radar des échos précipitant permet une bonne évaluation de l'intensité et de l'évolution des météores observés.

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

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

La notion d'échelle permet en météorologie de faire la distinction entre les mouvements horizontaux et verticaux.

- A l'échelle synoptique, la vitesse horizontale des particules est de l'ordre de 20 nœuds, soit 10m/s. La vitesse verticale est à peine de l'ordre du cm/s.
- A l'échelle aérologique, à l'intérieur d'un Cumulonimbus on observe des vitesses du même ordre : 10, 20 et parfois 30m/s. C'est que l'ascendance qui caractérise un tel nuage,

très forte en intensité, est nécessairement associée à un mouvement de descente (subsidence) correspondant à la zone de précipitation.

- La moyenne de ces vitesses verticales, comptées comme positives dans l'ascendance et négatives dans la subsidence, est généralement faible à l'échelle synoptique. Un nuage cumuliforme, un orage, une tornade relèvent de cette catégorie. L'observation par radar des échos précipitant permet une bonne évaluation de l'intensité et de l'évolution des météores observés.

	Micro échelle ou échelle turbulente	L'échelle Aérologique	Méso échelle ou échelle régionale	Echelle Synoptique ou échelle planétaire
L	≤ 02 km	01 à 10 km	02 km ≤ L ≤ 2000 km	≤ 2000km
T	environ 10 mn	Quelques heures	quelques minutes à quelques jours	environ 10 jours et plus
Exemples	turbulence, convection, diffusion de polluants d'une usine dans une ville ou d'un site industriel se situant dans ce domaine	Orages isolés, Torandes , Convection thermique	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.	circulation des cyclones et anticyclones des régions tempérées, les ondes planétaires; la pollution de la stratosphère.

Tab.I-1 : phénomènes météorologiques à des échelles troposphérique[24].

Chaque échelle peut être, selon les auteurs, subdivisée en plusieurs sous-échelles, différenciées selon les phénomènes physiques prépondérants. Dans la réalité, toutes ces échelles sont étroitement imbriquées.

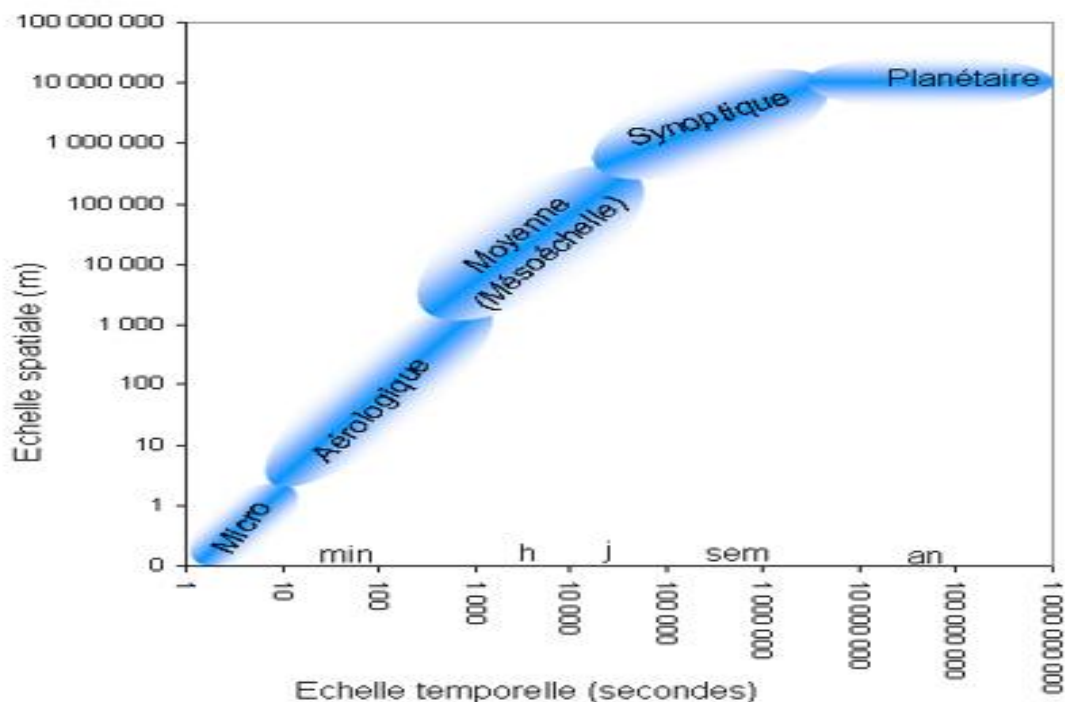


Fig. I-5: Echelles des principaux phénomènes météorologique[25].

Chapitre II :
Généralités sur le vent

Chapitre II : Généralités sur le vent

II-1-Introduction

Dans ce deuxième chapitre nous donnerons une présentation générale du vent et ses caractéristiques. En premier lieu, nous définirons la nature du vent, son origine et les différentes forces qui le régissent. Le vent n'étant que le déplacement de l'air dans l'atmosphère. Dans la deuxième, partie nous aborderons les caractéristiques du vent. Nous définirons sa variabilité temporelle, sa mesure et les conditions requises pour l'implantation d'un mât de mesure météorologique. Dans autre partie nous étudie le vent à l'échelle globale et le vent synoptique.

II-2- Le vent et son origine

L'air qui constitue l'atmosphère est un mélange de gaz et de particules de forme solides ou liquides. Sa composition est relativement constante jusqu'à une altitude inférieure à 100km et est majoritairement composée d'azote et d'oxygène. La quasi-totalité de sa masse est située à une altitude de moins de 16 km, dans les basses couches atmosphériques [9]. Au sein de ces couches, le déplacement des masses d'air, appelé vent n'est autre que le résultat de la mise à l'équilibre d'un ensemble de forces qui sont :

- La force gravitationnelle

Conséquence de l'attraction mutuelle des corps, cette force intervient à cause de la grande masse de la terre. Elle est dirigée vers le centre de la terre.

- **Les forces de pression** : ces forces génèrent les déplacements des masses d'air constituant le vent. Elles proviennent des différences locales de pression dues aux différences de température en fonction de la latitude, et des influences continentales et océaniques. Elles sont perpendiculaires aux surfaces isobares et dirigées des hautes vers les basses pressions.

- **La force de Coriolis** : cette force est liée à la rotation de la Terre sur son axe. Elle est perpendiculaire à la vitesse du vent et orientée vers l'est dans l'hémisphère Nord. Elle n'est significative que pour les déplacements atmosphériques de haute altitude en raison de la faiblesse relative des autres forces en présence.

- **Les forces de frottement** : ces forces traduisent la friction turbulente de l'air sur le sol. Généralement appliqués aux mouvements d'air présents dans l'atmosphère, les vents sont produits par les différences de pressions atmosphériques engendrées principalement par les gradients de température. Les variations de la distribution des pressions et des températures sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire sur la surface de la terre, et aux différences des propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans.

II-3- Direction et vitesse du vent

Le vent souffle en principe des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. Aux latitudes moyennes et aux grandes latitudes, sa direction est cependant modifiée du fait de la rotation de la terre. Le vent devient alors parallèle aux isobares au lieu de leur être perpendiculaire. Dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour des aires cycloniques et dans le sens direct autour des zones anticycloniques. Dans l'hémisphère sud, les sens sont inversés par rapport aux précédents.

II-4- Caractéristiques du vent

La puissance du vent est sensiblement constante à chaque instant pour l'ensemble du globe, en un lieu donné et sur une période solaire. Par contre, la vitesse du vent est très variable suivant les jours et les lieux [3]. Le Tab II-1 donne la classification des vents avec l'échelle de Beaufort qui décrit les différentes natures du vent en fonction de leurs vitesses.

Nombre de Beaufort (degré)	Terme générique (descriptif)	Vitesse du vent à 10 m de hauteur 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

Tab. II - 1 : Echelle Beaufort [13][9]

Le vent avec sa nature aléatoire présente de grandes variabilités qu'on peut classer en deux groupes : la variabilité temporelle et la variabilité spatiale.

II -4-1-Variabilité temporelle

Le vent étant une source intermittente, sa direction et sa vitesse changent rapidement avec le temps. En accord avec ces changements, la puissance et l'énergie éolienne disponible dans un site donné varient. Ces variations peuvent être à haute fréquence comme illustré dans la Fig.II-1.a où la vitesse enregistrée durant 30 secondes fluctue de 5.1 à 7.2m/s. La variabilité peut-être à moyenne fréquence comme pour les vitesses journalières ou horaires, représentées dans la Fig.II-1.b avec une vitesse de vent diurne plus importante que les vitesses nocturnes. Pour les variabilités à basse fréquence, elles concernent les variations saisonnières et mensuelles, comme illustré respectivement sur la Fig.II-1.c et la Fig.II-1.d.

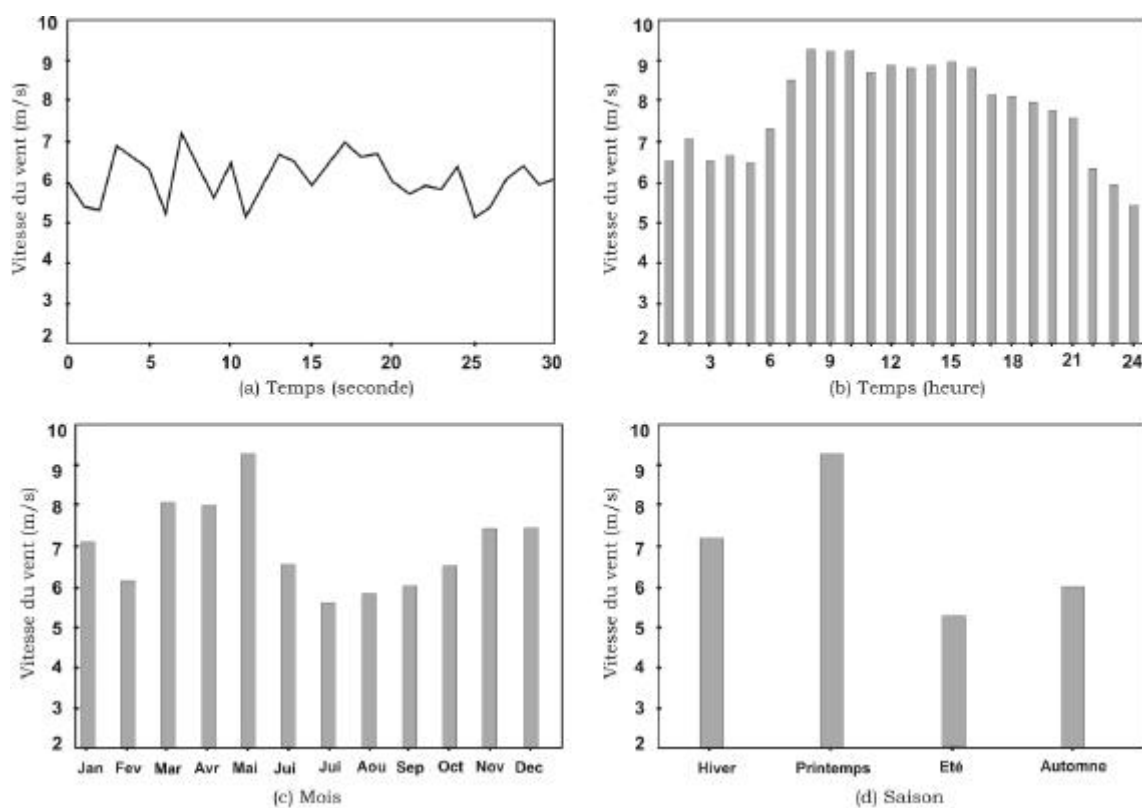


Fig.II-1 : Variations temporelles de la vitesse du vent

II-4-2-Variabilité spatiale

Le vent est aussi caractérisé par sa variabilité spatiale, comprenant ainsi deux catégories. D'un côté la variabilité spatiale régionale qui est en fonction de la latitude, de son ensoleillement et des reliefs (géographies et physiques). Et d'un autre côté, la variabilité spatiale locale qui prend en compte la topographie, les obstacles ainsi que la rugosité du sol.

II -5- Mesure du vent

La mesure directe du vent se fait dans des stations météorologiques, où deux éléments servent à la caractériser : sa vitesse et sa direction.

Le mot «direction» en parlant du vent sous-entend celle d'où vient le vent. Un vent d'ouest est un vent qui souffle de l'ouest, un vent de nord est un vent qui souffle du nord. Son indication est donnée en utilisant des girouettes.

La composante horizontale du déplacement de l'air en un point et à un instant donnés se dispose selon une certaine direction ; elle atteint en outre une vitesse déterminée appelée «vitesse du vent». Elle est mesurée généralement en mètres par seconde (m/s), en kilomètres par heure (km/h), mais aussi en nœuds ou milles par heure, dont il existe entre ces diverses unités la relation suivante : $1\text{m/s}=3,6\text{km/h}=1,94\text{nœud}$. Les instruments utilisés pour mesurer la vitesse du vent sont les anémomètres.

II -5-1-Anémomètre et girouette

Une station météorologique enregistre et fournit des mesures physiques liées aux variations du climat. Chaque mesure est obtenue à l'aide d'un capteur. Certains sont exposés aux éléments, comme l'anémomètre, la girouette et la jauge pluviométrique. Alors que d'autres sont groupés dans un abri pour mesurer les caractéristiques intrinsèques de la masse d'air comme le thermomètre et l'hygromètre. Ainsi, dans les services météorologiques nationaux, les observations sont prises toutes les heures par différents capteurs pour les différentes mesures. Notre travail étant basé sur l'étude du vent, on propose de définir les instruments utilisés pour mesurer sa vitesse et sa direction.

Un anémomètre associé à une station météorologique sert tout simplement à mesurer la vitesse du vent. En général, sur les stations météorologiques, les anémomètres utilisés sont à coupelles. Ils se composent de 3 demi-coquilles disposées sur des bras horizontaux disposés à 120 degrés et montées sur un axe vertical équipé d'un dispositif de comptage de tours ; la vitesse de rotation de l'anémomètre est proportionnelle à la vitesse du vent. De plus, à la fonction première de l'anémomètre est associée une seconde qui est la mesure de la direction du vent grâce à la girouette associée (Fig.II-2).



Fig. II-2 : Ensemble anémomètre girouette

II -5-2-Manche à air

Une manche à air (ou manche à vent) est un dispositif destiné à, comme son nom l'indique, donner des informations en rapport avec le vent.

A la différence d'une girouette, la manche à air indique la direction du vent mais également la puissance de celui-ci. Les manches à air sont principalement utilisées dans les aéroports, dans les aérodromes, au bord des autoroutes ainsi que dans les sites industriels sécurisés de type usines chimiques. Une manche à air est constituée d'un mât sur lequel est fixé un manchon en tissu de forme conique.

Ce manchon comporte 5 anneaux alternés. De manière standard il y'a 3 anneaux rouges et 2 anneaux blancs. L'air s'engouffre dans le manchon par le gros trou et est soulevé vers la direction opposée à celle d'où vient le vent. Chacune des bandes, lorsqu'elle est gonflée par le vent correspond à une vitesse de 5 nœuds (à peu près 9 km/h), ainsi lorsque la manche à air est à l'horizontale la vitesse du vent est d'à peu près 25 nœuds (soit 45 km/h). Jusqu'à ce palier on peut considérer que la manche à air donne une indication précise de la direction et de la vitesse du vent.

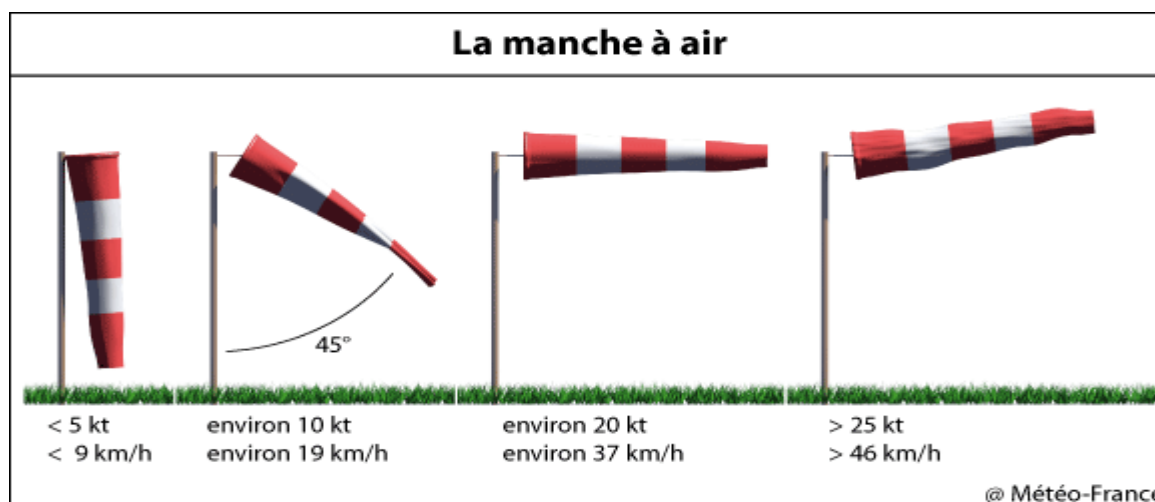


Fig. II-3 : la manche à air

II -5-3-Pylônes de mesure

les données du vent 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, où la vitesse du vent 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 . Ainsi, les règles de dégagement classiques de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) préconisent de placer les capteurs à 10m au-dessus du sol et sur un terrain dégagé [22], et doivent respecter les critères suivants :

- Le pylône doit être installé à une distance au moins égale à dix fois la hauteur des obstacles environnants.
- Un objet est considéré comme un obstacle s'il présente une largeur angulaire supérieure à 10°.
- 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 2 m 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 (mât, arbre mince) qui dépassent une hauteur de 8m.



Fig. II-4 : Mât de mesure [14]

La mesure du vent n'est pas perturbée uniquement par les obstacles environnants mais aussi par la rugosité des terrains qui exerce une influence sur les mesures du vent. Pour l'ONM, 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.

II -5-3-1- 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, Il est donc utile de mesurer ces données pendant la collecte des données du vent. Le matériel qui mesure ces différents paramètres peut être placé sur le mât du vent.

Les informations peuvent également être obtenues par des stations météorologiques environnantes dans la mesure où ces données exigent moins de précision.

II -5-3-2- La mesure du vent par télédétection

Le SODAR « Sonic Detection and Ranging » (Fig.II.5) 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 Detection and Ranging » (Fig.II.6) 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 plusieurs secteurs tels que les énergies, la pollution de l'air.

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 [17].



Fig. II-5 : LIDAR pour mesurer le vent



Fig. II-6 : SODAR pour mesurer le vent

II -5-4-Les indicateurs biologiques

Lorsqu'aucune donnée n'est pas disponible, les arbres et les arbustes sont souvent considérés comme un bon indicateur qualitatif du vent.

Ces derniers peuvent être déformés par les vents forts et les conditions rigoureuses. Putnam, 1948 a classé les déformations des arbres et leurs branches en fonction de la puissance du vent. La Fig. II-7 montre le degré de déformation par les vents et le Tab II-2 énonce l'indice de déformation de Griggs-Putnam par plages de vitesses de vent correspondantes.

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	>9.7

Tab.II-2 : Indice de déformation de Griggs-Putnam

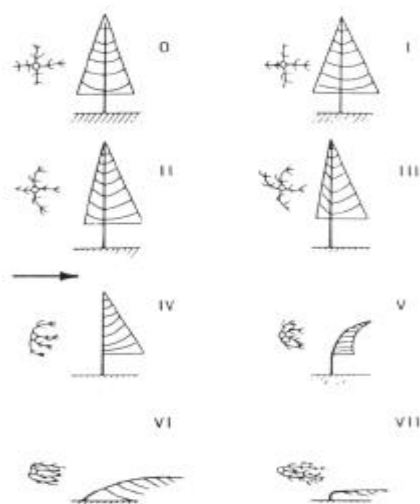


Fig. II-7 : Index des niveaux de déformation de Griggs-Ptunam

II -5-5-Rose des vents

Sous une forme associée, les informations sur la vitesse et la direction du vent peuvent être représentées sur des roses des vents. Elles donnent la répartition du vent pour les différentes directions. La distribution des vitesses et des directions peut être divisée en 8, 12, 16 ou 32 secteurs qui représentent les différentes directions.

Une rose des vents peut représenter trois types d'informations, à savoir : la fréquence, la vitesse moyenne du vent et la moyenne du cube.

La fréquence est le pourcentage du temps pour lequel le vent souffle d'une direction particulière comme indiqué sur la Figure II-8.a. La vitesse moyenne donne le produit de la fréquence avec la vitesse moyenne pour la direction correspondante (Figure II-8.b).

L'énergie quant à elle donne le produit du pourcentage du temps et le cube de la vitesse du vent (Figure II-8.c).

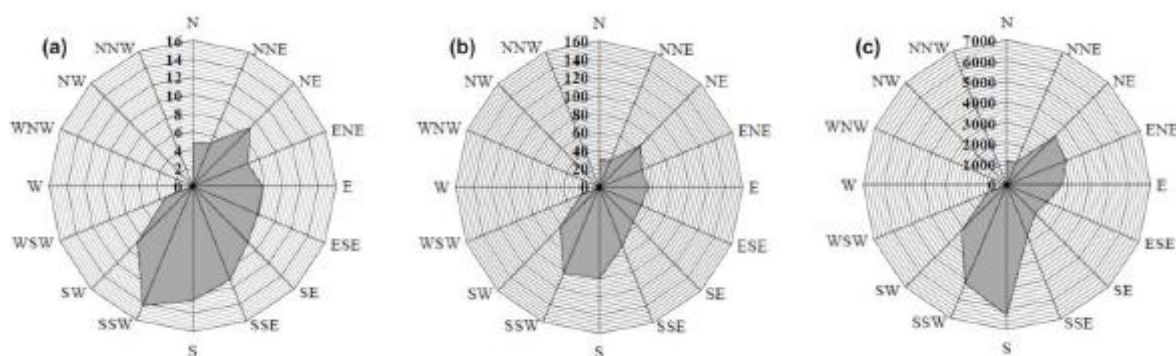


Fig. II-8 : Roses des vents à 16 directions, illustrant la distribution de la fréquence, la vitesse et l'énergie pour différentes directions.

II -6- le vent à l'échelle globale

II -6-1-Circulation en surface

La circulation atmosphérique change continuellement mais la tendance de base est relativement constante. Les dépressions des latitudes moyennes ou les cyclones tropicaux individuels se développent un peu partout selon une prédictibilité parfois proche de la théorie du chaos mais la tendance moyenne est stable. On distingue trois zones de circulation des vents entre l'équateur et les pôles :

1. La première zone est celle de Hadley qui se situe entre l'équateur et 30 degrés N et S où l'on retrouve des vents réguliers soufflant du nord-est dans l'hémisphère nord et du sud-est dans celui du sud : les alizés. Les navigateurs à voile ont depuis longtemps utilisé cette zone de vents réguliers pour traverser les océans.
2. La deuxième se situe aux latitudes moyennes et est caractérisée par des systèmes dépressionnaires transitoires sous une circulation d'altitude généralement d'ouest, c'est la cellule de Ferrel.
3. La troisième, les cellules polaires se retrouvent respectivement au nord et au sud des 60-ièmes parallèles nord et sud avec une circulation de surface généralement d'est.

II -6-1-1-La circulation zonale

Toute cette succession de systèmes météorologiques se déplace dans une direction générale d'Ouest en Est. Le ruban thermique explique cette circulation d'Ouest appelée flux zonal. En effet, les vents sont essentiellement le déplacement de l'air des hautes vers les basses pressions, déviés vers la droite dans l'hémisphère nord par la force de Coriolis et la gauche dans l'hémisphère sud. Le gradient de pression dépend quant à lui de la structure thermique dans la colonne d'air. Plus la différence de température entre deux zones est grande, plus la différence de pression et le vent augmentent avec l'altitude. Le vent est parallèle au ruban thermique, car la variation de pression est perpendiculaire à celui-ci.

Ainsi le courant-jet se forme au-dessus d'un ruban serré de différence de températures que l'on nomme front (front chaud et front froid) et qui sépare les masses d'air froid (vers les pôles) et chaud (vers l'équateur). Comme en moyenne le ruban thermique (appelé zone barocline) est orienté ouest-est, le résultat est une circulation générale d'Ouest en Est aux latitudes moyennes.

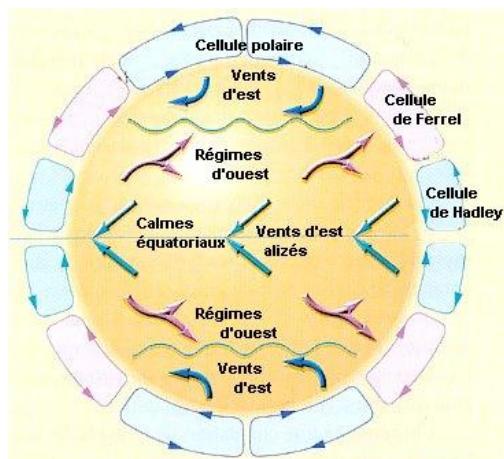


Fig. II-9 :circulation zonale.

II -6-1-2-La circulation méridienne

Cependant, les différences de friction dans la basse couche de l'atmosphère, comme le passage de l'océan aux montagnes de la côte ouest de l'Amérique, dévient le vent. Cela crée des ondes dans la circulation qui se reflètent en altitude par une circulation qui prend la forme d'un sinus à plusieurs cycles décrit comme ondes de Rossby. La portion du flux qui prend alors une direction Nord-Sud est appelée flux méridien. C'est cette composante du flux qui transfère l'air froid vers l'équateur et l'air doux vers les Pôles. Elle contribue ainsi à l'intensification des dépressions et aux forts changements de température de surface. La position de ce sinus n'est pas stable car il dépend du transfert de températures dans la couche sous-jacente. Il se déplace, se déforme et des tourbillons indépendants s'en détachent.

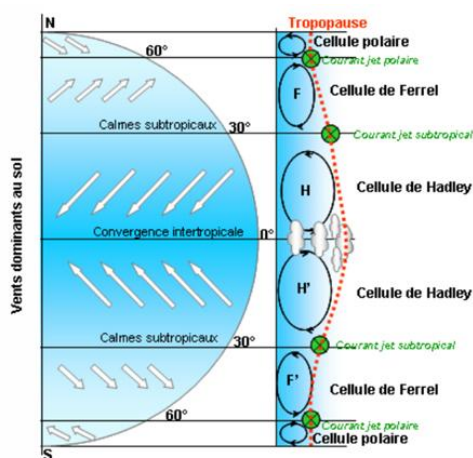


Fig. II-10 :Circulation méridienne.

II -6-2-Variation saisonnière du vent

II -6-2-1- Mécanisme des saisons

La terre tourne autour d'elle-même selon l'axe de ses pôles. Elle tourne également autour du soleil dans un plan incliné de $23,5^\circ$ par rapport à l'équateur que l'on appelle plan de l'écliptique. Les rayonnements solaires parviennent à la terre. L'épaisseur d'atmosphère qu'ils doivent traverser pour parvenir à la surface du globe n'est donc pas la même selon la latitude. Les pôles reçoivent une quantité d'énergie bien plus faible que l'équateur. La direction de l'axe des pôles restant fixe dans l'espace au cours de la rotation de la terre autour du soleil, cette épaisseur dépend également de la position de la terre par rapport au soleil, c'est à dire de la saison.

Les saisons sont alors inversées entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud.

La division de l'année en saisons résulte de l'inclinaison ($23^\circ 26'$) de l'axe de rotation de la Terre par rapport à son plan de translation autour du Soleil. Comme l'axe des pôles garde au cours de l'année une direction fixe dans l'espace, c'est tantôt le pôle Nord, tantôt le pôle Sud qui est éclairé par le Soleil, et la durée du jour aux différents points du globe varie.

Le schéma ci-dessous représente les solstices d'hiver et d'été pour l'hémisphère nord. La durée pendant laquelle un point de la surface de la terre est éclairé par le soleil (donc pendant lequel le sol se réchauffe) dépend également de la latitude et de la saison.

Le schéma fait apparaître les zones de nuit et de jour. Seuls les points de l'équateur ne sont pas soumis aux saisons et aux variations de durée des jours et nuits (12 h / 12 h). Inversement les pôles sont soumis à une alternance de 6 mois de jour et 6 mois de nuit.

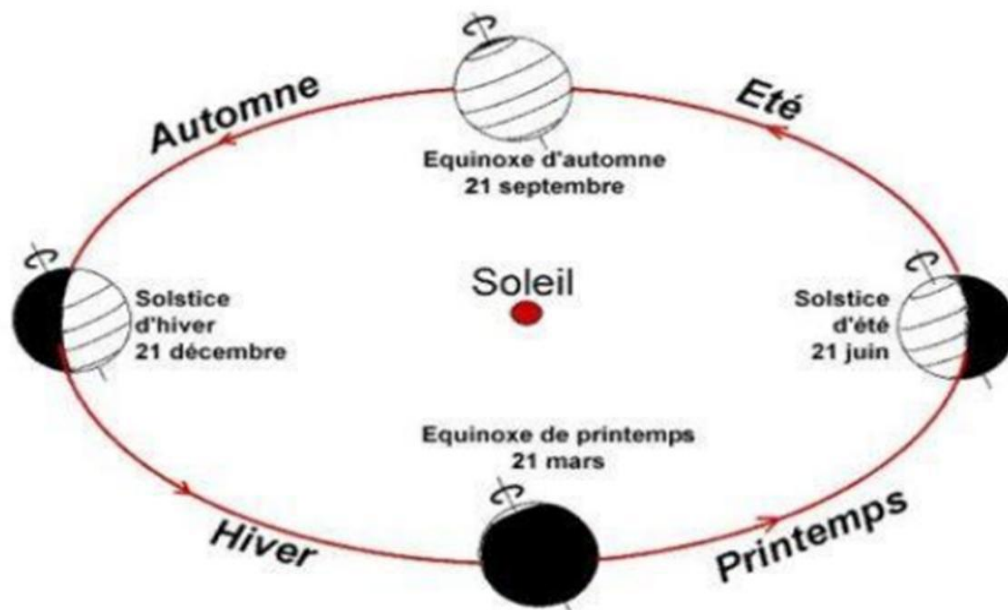


Fig. II-11 : Mécanisme des saisons.

Certaines régions du globe reçoivent plutôt un excédent d'énergie et donc se réchauffent (régions équatoriales) et d'autres au contraire possèdent un déficit en énergie et se refroidissent (régions polaires). Le mécanisme des saisons joue un rôle important dans la répartition de l'énergie solaire.

Les différences de durée journalière d'éclairement d'un point de la terre permettent de délimiter à la surface de la terre :

- Une zone polaire, située au-delà de 60°S et 60°N , systématiquement défavorisée sur le plan énergétique. Dans cette zone, les jours ou les nuits, peuvent durer plusieurs mois selon les saisons.
- Une zone tempérée, située entre 30°N et 60°N ou 30°S et 60°S , soumise à un régime intermédiaire et connaissant notamment des variations saisonnières marquées.
- Une zone intertropicale, comprise entre 30°S et 30°N , dans laquelle l'apport d'énergie solaire est important et sensiblement constant.

II -6-2-2-Répartition du flux solaire

La position de la terre par rapport au soleil induit des changements dans la quantité d'énergie solaire reçue par les points de la surface du globe. Le soleil émet des rayonnements électromagnétiques (dont la lumière fait partie) qui se propagent dans le vide sans être absorbés. En revanche dans l'atmosphère les rayonnements les plus énergétiques sont absorbés en totalité ou partie. Plus la couche d'atmosphère à traverser est épaisse et moins il y a d'énergie qui parvient à la surface par rayonnement.

En effet, comme la Terre est un sphéroïde, la radiation solaire incidente au sol varie entre un maximum aux régions faisant face directement au Soleil, situé selon les saisons plus ou moins loin de l'équateur, et un minimum à celles très inclinées par rapport à ces derniers proches des Pôles. La radiation réémise par le sol est liée à la quantité d'énergie reçue. Il s'ensuit un réchauffement différentiel entre les deux régions.

Ces mouvements s'ajoutent aux conditions locales de radiation pour déterminer les zones et les régions climatiques. Trois faits essentiels sont à retenir :

- Chaque hémisphère est divisé en trois bandes zonales de pression : les basses pressions équatoriales, les hautes pressions subtropicales, les basses pressions polaires. Les grands mouvements horizontaux et verticaux résultent de cette répartition.

II -7-Vent synoptique

II -7-1- Définition

Les différences de pression à la surface du globe donnent naissance à des mouvements d'air : on appelle vent synoptique ce mouvement régi à l'échelle terrestre par les champs de pression. On caractérise le vent par sa direction et par son intensité : la direction indique d'où vient le vent et l'intensité traduit la force qu'il exerce sur les obstacles (en fonction de sa vitesse).

À l'échelle planétaire, ces mouvements initialement dirigés vers les basses pressions sont contrariés par la force de Coriolis qui est un effet résultant de la rotation de la terre sur elle-même : le vent est ainsi dévié et tend à prendre une direction parallèle aux courbes isobares. C'est pour cela que les dépressions ont une structure en spirale si caractéristique sur les photographies prises de satellite et que le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un anticyclone de l'hémisphère nord (et dans le sens opposé pour une dépression).

Deux règles simples permettent de définir la direction et la force du vent synoptique en un point.

- Pour la Direction Règle Buys-Ballot, qui s'énonce de la façon suivante :

Si l'on se trouve à proximité d'une dépression, le vent tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour de cette dépression. A l'opposé, le vent tourne dans les aiguilles d'une montre autour d'un anticyclone. Il a tendance à se diriger des hautes vers les basses pressions.

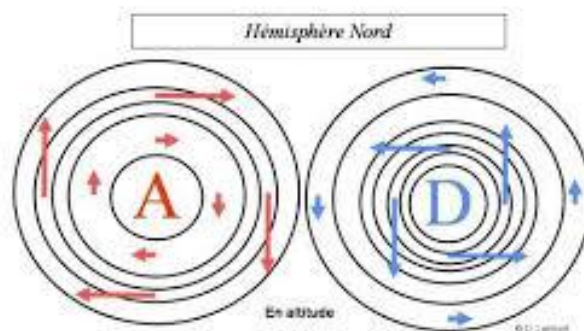


Fig. II-12: Rotation Des vents autour d'un Anticyclone et d'une Dépression dans l'hémisphère Nord.

- Pour la vitesse, elle est proportionnelle au gradient de pression :

A la différence de pression entre deux points de part et d'autre du point considéré. Plus la différence de pression est grande, plus le vent est fort. Des discontinuités brutales existent au passage des fronts ; par exemple rotation soudaine d'ouest sud-ouest à nord-ouest au passage du front froid.

II -7-2- Equation du mouvement

Si on se place dans un repère lié à la Terre, les forces auxquelles l'air est soumis sont :

- La force de Coriolis \vec{F}_c
- La force liée au gradient de pression $-\frac{\nabla p}{\rho}$ P est la pression et ρ est la masse volumique de l'air
- La gravité \vec{g}
- La force de viscosité $\nu\Delta\vec{V}$ ν est la constante de viscosité cinématique de l'air et \vec{V} est la vitesse du vent

Le principe fondamental de la dynamique appliqué à une particule d'air de masse unité permet d'écrire l'équation de la dynamique (1) :

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \frac{\partial\vec{V}}{\partial t} + \vec{V}\nabla\vec{V} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \vec{F}_c + \vec{g} + \nu\Delta\vec{V}$$

La force de Coriolis \vec{F}_c , induite par la rotation de la Terre sur elle-même, s'écrit:

$$\vec{F}_c = -2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$

Où $\vec{\Omega}$ est le vecteur de rotation angulaire de la Terre sur elle-même (aligné sur l'axe de rotation).

A cette équation s'ajoute l'équation de continuité (2):

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla(\rho\vec{V})=0$$

L'équation du mouvement (1) est projetée dans le repère météorologique défini de la façon suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial\rho u}{\partial x} + \frac{\partial\rho v}{\partial y} + \frac{\partial\rho w}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\nabla p}{\rho}\frac{\partial u}{\partial x} + (\vec{F}_c)_x + \nu\Delta u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\nabla p}{\rho}\frac{\partial v}{\partial y} + (\vec{F}_c)_y + \nu\Delta v \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\nabla p}{\rho}\frac{\partial w}{\partial z} + (\vec{F}_c)_z + \nu\Delta w + g \end{array} \right.$$

II -7-3- Approximation géostrophique

Un écoulement est dit géostrophique quand le nombre de Rossby tend vers zéro. Dans l'écoulement géostrophique le vent est tel qu'il existe un équilibre horizontal entre la force de gradient de pression et la force de Coriolis et, à la vertical, l'équilibre hydrostatique.

Les équations de mouvement dans le cas d'équilibre géostrophique sont :

$$\begin{aligned} -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega v \sin \varphi &= 0 \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u \sin \varphi &= 0 \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Tous les écoulements dont le nombre de Rossby est petit s'approchent de l'écoulement géostrophique. À partir de quelle valeur le nombre Rossby est assez petit pour admettre que le mouvement est quasi-équilibre géostrophique? En météorologie, l'écoulement est admis comme géostrophique quand le nombre de Rossby est plus petit ou égal à 0,1. Ceci équivaut à l'acceptation d'une erreur de 10 % dans le calcul de la vitesse du vent. Cette erreur de même ordre de grandeur que celle associée aux incertitudes dans la mesure des variables météorologiques à l'échelle synoptique.

Le système d'équations (1) décrit l'approximation géostrophique appliquée aux systèmes météorologiques aux latitudes moyennes.

En réalité, quelque soit l'écoulement, même s'il n'est pas géostrophique, il est possible de définir un vent géostrophique, théorique, comme le vent qui crée une force de Coriolis qui équilibre exactement le gradient de pression :

$$\begin{aligned} u_g &= -\frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \\ v_g &= \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad f = 2\Omega \sin \varphi \end{aligned} \quad (2)$$

La (Fig. II-13) montre l'équilibre géostrophique dans le cas d'un gradient de pression méridionale.

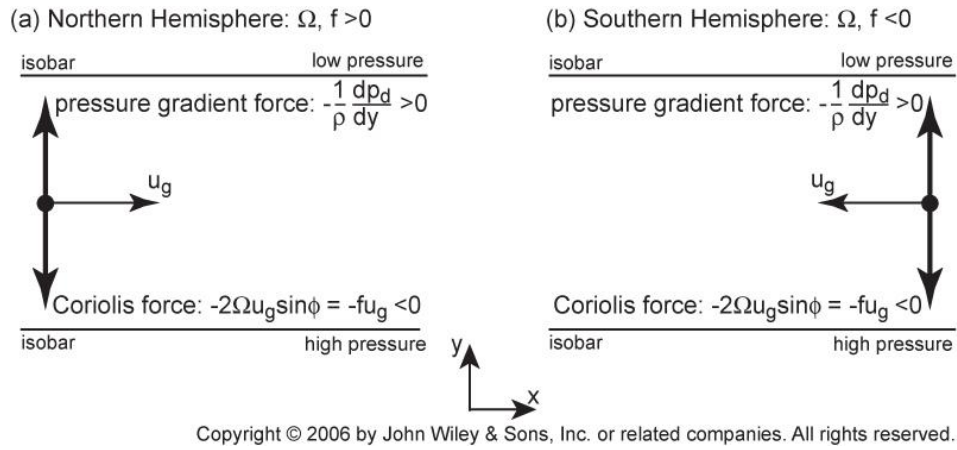


Fig. II-13: Équilibre géostrophique.

Le vent géostrophique est proportionnel au gradient de pression. Si le gradient de pression change dans l'espace et dans le temps, le vent géostrophique change.

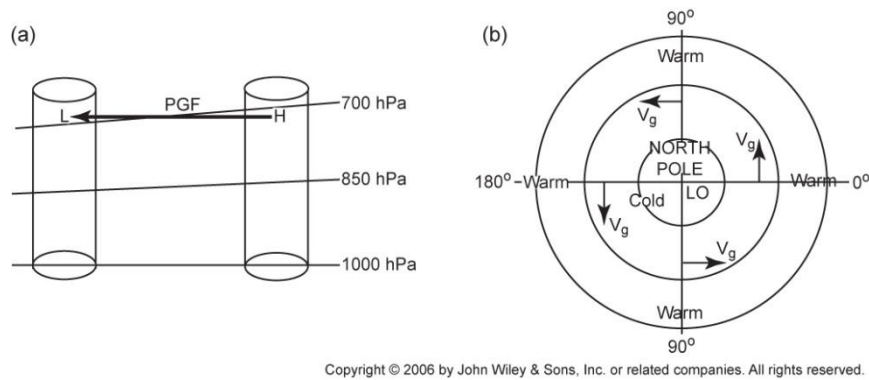


Fig. II-14 : Vent géostrophique due à la différence de température entre deux masses d'air.

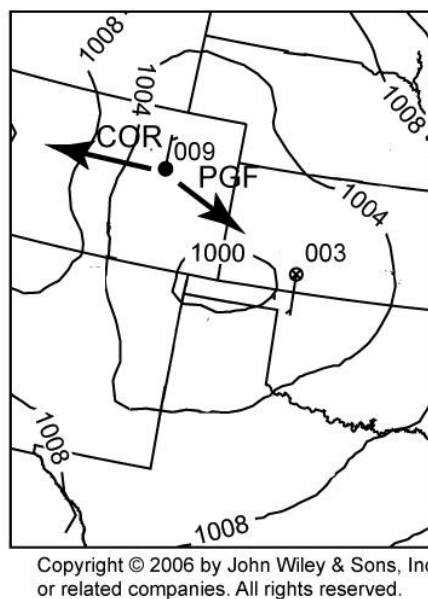


Fig. II-15 : Carte de pression au niveau de la surface montrant le vent et la pression aux stations.

L'approximation géostrophique nous aide à expliquer pourquoi les systèmes se déplacent de l'Ouest vers l'Est (Fig. II-14) Elle explique aussi le sens de l'écoulement observé autour de centres de haute et de basse pression (Fig. II-15).

II -7-4- Notion du réseau synoptique

D'un point de vue théorique, le vent, en un point, peut être défini comme la vitesse de la particule atmosphérique localisée en ce point. Le vent s'exprime à l'aide des trois éléments caractérisant un vecteur : direction, sens et intensité. L'ensemble de tous les « vecteurs vents » pris à un instant donné dans l'atmosphère constitue un champ vectoriel : le champ de mouvement atmosphérique.

Les réseaux d'observations météorologiques n'effectuent que la seule mesure de la composante horizontale du vent. À l'échelle synoptique, la composante verticale (de l'ordre du 1 cm/s) est en effet très largement inférieure à la composante horizontale. À l'échelle aérologique, là où elle peut être d'un ordre comparable, les phénomènes sont trop aléatoires pour être évalués de façon systématique en dehors de campagnes de mesures spécifiques. La direction du vent, par convention celle d'où vient le vent, est représentée par une rose des vents à 36 directions (de 10 en 10 degrés). La vitesse est exprimée en mètre par seconde, en nœud, parfois en kilomètre par heure. $1 \text{ nd} = 1,852 \text{ m/h} = 2 \text{ km/h} = 0,5 \text{ m/s}$ (la formule $[2 \text{ nd} - \text{nd}/10]$ permet la conversion approchée du nœud au kilomètre par heure). En météorologie, la mesure du vent instantané est utilisée pour déterminer les rafales. Pour les besoins de l'aéronautique, les vents indiqués sont toujours des vents moyens calculés sur deux minutes et pour les besoins de l'analyse synoptique, des vents moyens calculés sur dix minutes. Les marins utilisent l'échelle de Beaufort qui est une table qui fait correspondre à un chiffre donné une expression caractérisant la force du vent mesuré à 10 m de hauteur. La vitesse de celui-ci, moyennée sur 10 minutes, se trouve comprise entre certaines limites. À titre d'exemple, une force 8 Beaufort correspond à une plage de vitesse de 34 à 40 nd.

Les réseaux actuels de stations d'observation de surface et en altitude ont été développés pour identifier et suivre les phénomènes météorologiques à l'échelle synoptique. Cependant, comme le montre le tableau 1.2, leur espacement ne permet pas généralement une résolution parfaite des phénomènes qui se trouvent dans la partie inférieure de l'échelle synoptique. En effet l'identification de phénomènes qui ne s'étendent que sur 500 km exige un réseau de sites d'observations espacés en moyenne de 100 km dont les relevés se font à intervalle de quelques

heures. Sur les continents, les observations horaires de surface se font majoritairement aux aéroports. Elles permettent l'identification des phénomènes météorologiques à l'échelle synoptique sur certaines parties de la Terre. Les stations synoptiques, par contre, ne permettent pas une résolution parfaite de la partie inférieure de cette échelle (tab II-3).

Les stations de surface, les stations aérologiques et les avions nous donnent des mesures directes de divers paramètres météorologiques. Ils existent cependant d'autres sources de données d'observations faisant des mesures indirectes de plusieurs de ces paramètres. Certains appareils peuvent, du sol, faire un relevé vertical de la température et de l'humidité à l'aide de radiomètre, et aussi faire un profil du vent à l'aide d'un radar Doppler.

Cependant ils sont encore expérimentaux à l'heure actuelle et utilisés surtout en recherche.

Il existe aussi un réseau de satellites météorologiques qui donnent à la fois une vue globale et détaillée de la structure des nuages et de la température du sommet des nuages. On peut aussi en déduire les vents où les nuages sont identifiables. Le profil vertical de la température et de l'humidité peut également être estimé à partir des satellites si le ciel est clair. Cependant bien que les satellites permettent d'observer des phénomènes reliés aux mouvements de l'air à l'échelle synoptique, ils ne permettent pas partout une mesure directe des paramètres de base.

Type	Espacement moyen (Km)	Fréquence (h)	Composantes au sol	Composantes en altitude
Station horaire	100	1	Température, humidité, précipitation, tendance de pression, vent, visibilité, pression au niveau de la mer	Étendue et hauteur des nuages
Station synoptique	200	6	Même que ci-dessus: précipitation accumulée, maximum et minimum température, temps passé	Types, étendue et hauteur des nuages
Station radiosonde	400	12	Température, humidité et pression horizontale	Les mêmes plus le vent

Tab II-3 : Observations à l'échelle synoptique disponibles dans l'exploitation.

II -7-5- Données observées (apport de la mesure)

Le Système mondial d'observation fournit des observations sur l'état de l'atmosphère et de la surface des océans. Son fonctionnement est assuré par les Services météorologiques et hydrologiques nationaux, les exploitants de satellites nationaux ou internationaux, diverses organisations et divers groupements chargés de systèmes d'observation spécifiques ou de régions géographiques précises.

Les observations émanant de ces réseaux et de ces stations sont nécessaires à l'élaboration en temps réel d'analyses, de prévisions et d'avis météorologiques et climatologiques, et à celle de services climatologiques ou encore à des fins de recherche, et ce à l'appui de l'ensemble des programmes de l'OMM et de programmes environnementaux pertinents d'autres organisations internationales.

II -7-5-1-Mesure en surface

Une station météorologique ordinaire se situe sur un terrain présentant les conditions requises pour l'observation de la température maximale et minimale quotidienne et de la hauteur de précipitation. Une station météorologique principale assure en général l'observation d'un plus large éventail de paramètres du temps: le vent, les caractéristiques des nuages, l'humidité, la température, la pression atmosphérique, les précipitations, l'enneigement, l'insolation et le rayonnement solaire.

II -7-5-2-Mesure en altitude

Les observations en altitude font partie intégrante du Système mondial d'observation. Les données proviennent des réseaux de radiosondage, les mesures étant réalisées grâce à des instruments emportés par ballon et les données, transmises à un dispositif de poursuite au sol. Ces radiosondages représentent une base de données sur des variables atmosphériques qui remonte jusqu'aux années 1930, même si la couverture est en général médiocre avant 1957. Les séries de données de radiosondage se caractérisent par de nombreuses interruptions et erreurs systématiques dues à des changements d'instruments de procédures opérationnelles, ainsi que par un manque de métadonnées. Les observations par satellite existent depuis les années 1970, certaines ayant été regroupées et retraitées afin de constituer des séries chronologiques continues.

II -7-5-3-Mesure par télédétection

La télédétection permet d'obtenir une meilleure couverture spatiale et temporelle que les observations in situ. Les données obtenues par télédétection complètent aussi les observations provenant d'autres plates-formes et se révèlent particulièrement utiles en cas d'absence ou de corruption de ces observations. Il est impossible aussi de comparer directement les données de la télédétection avec les mesures effectuées in situ. À titre d'exemple, les estimations de la température de la pellicule superficielle de la Terre à l'aide d'observations par satellite ne sont pas comparables aux mesures de température effectuées sous abris normalisé, ou encore la relation entre les mesures de la réflectivité radar et les hauteurs de précipitations recueillies à l'aide de pluviomètres peut se révéler complexe à établir.

II -7-6- Données ré-analysées (apport de la modélisation)

II -7-6- 1-Ré-analyse météorologique

La ré-analyse météorologique est une méthode météorologique destinée à ré-analyser objectivement les données globales de surface et d'altitude prises sur une période s'étendant sur des décennies pour l'assimilation de données dans les modèles de prévision numérique du temps. Plusieurs centres à travers le monde font ce genre de ré-analyse qui vise à uniformiser et corriger les données historiques afin de mieux pouvoir faire la prévision météorologique et l'étude de cas passés[7].

II -7-6- 2-Analyse opérationnelle

Même un modèle parfait ne pourrait produire une prévision parfaite, car les erreurs dans les conditions initiales (température, humidité, etc.) iront en s'amplifiant lors de la prévision et celle-ci divergera de la réalité. Il est donc nécessaire de connaître avec le plus de précision possible l'état initial de l'atmosphère. Déterminer cet état, appelé *analyse* est en soi un grand défi scientifique qui exige des ressources mathématiques et informatiques comparables à celles dévouées à la prévision elle-même. Les sources de données sont disparates, traditionnellement constituées des observations de surface, s'y ajoutent les données de radiosondage, de profileurs de vents et les mesures effectuées par les avions commerciaux. Actuellement les mesures satellites représentent la source de données la plus importante, et depuis peu, les réflectivités et vitesses radiales radar sont également prises en compte dans certains modèles de méso-échelle.

Cependant l'utilisation des seules données d'observation n'est pas suffisante. D'une part le nombre de variables d'un modèle numérique est supérieur au nombre d'observations, d'autre part une analyse effectuée directement par interpolation des observations aboutirait à un comportement instable du modèle¹. C'est une des raisons de l'échec des premières tentatives de modélisation du comportement de l'atmosphère par Richardson [14].

Pour construire l'analyse, on a donc recours à une ébauche, c'est-à-dire la prévision effectuée précédemment, généralement 6 ou 12 heures auparavant. Cette ébauche est alors corrigée pour s'ajuster au plus près des observations, généralement en tenant compte des erreurs d'observation. L'approche la plus communément utilisée actuellement utilise les méthodes du calcul des variations pour déterminer le meilleur compromis entre l'ébauche et les observations, compte tenu de leurs erreurs respectives. Cette approche est désignée par le terme « 3D-Var » lorsqu'elle ne tient compte que de l'état du modèle et des observations valides à l'heure d'analyse, et « 4D-Var » lorsqu'elle tient également compte de l'évolution de ces derniers sur une fenêtre temporelle

II -7-6- 3-Ré-analyse

Les méthodes décrites précédemment constituent l'assimilation de données, devenu un domaine de recherche à part entière. Les analyses obtenus quotidiennement par les différents centres de prévisions à travers le monde sont conservées et mises en commun pour former une banque de conditions météorologiques historiques. Celle-ci est cependant limitée dans le temps à la période des modèles numérique de prévision du temps. Afin de pouvoir donner des résultats constants lorsque les chercheurs testent une modification aux modèles, il faut qu'ils puissent détenir une banque de données historiques plus longue et surtout qui puisse s'améliorer dans le temps en éliminant les erreurs causées par des manques de données dans certaines zones.

La ré-analyse météorologique est ainsi une technique qui vise à constamment mettre à jour les analyses initiales afin de disposer d'une telle banque. Cette tâche en apparence simple est en fait ardue car pour la période couverte par les modèles de prévisions météorologiques, il y a eu des améliorations successives de leur résolution horizontale et verticale, alors que certaines variables ont disparu tandis que de nouvelles ont été introduites. De plus, les instruments de mesure et leurs types ont varié à travers les décennies, avant et après l'ère des modèles. Comme mentionné antérieurement, au début du XX^e siècle, seul un nombre limité de données venant de stations

météorologique de surface et de bateaux étaient disponibles. Par la suite, les données aérologiques se sont ajoutées à partir des années 1920, les données de satellites à partir des années 1970 et les radars plus récemment. Tout événement météorologique analysé à un moment donné ne dispose donc par toujours de l'ensemble complet. Ce manque d'homogénéité fait en sorte que les analyses sont des produits difficiles à utiliser, particulièrement pour qui veut analyser le climat sur de longues périodes.

Le CEPMMT/ECMWF en Europe[20] , le NCEP aux États-Unis[21] et plusieurs autres à travers le monde font un tel travail qui permet d'avoir un système cohérent et la correction de plusieurs ajustements manuels dans les zones de données manquantes, où l'estimation de scénarios était habituel.

II -7-6- 4-Limites des ré-analyses

Bien que la ré-analyse est destinée à être la « meilleure » estimation des variables météorologiques, elle doit être utilisée en sachant ses biais et défauts. En effet, les instruments sont régulièrement changés et subissent une détérioration avec l'usage [19]. Ainsi, les capteurs d'un satellite météorologique s'améliorent d'une génération à la suivante mais leurs systèmes se dégradent durant leur durée de vie.

De plus, les diverses ré-analyses sont issues de modèles de prévisions différents qui n'utilisent pas les mêmes schémas d'assimilations, n'ont pas les mêmes résolutions et sélections d'observations. Les ré-analyses utilisent aussi des variables pour lesquelles il n'existe pas d'observations directes ce qui présente potentiellement les plus grandes disparités car elles sont déterminées uniquement par le modèle de prévision. L'une des contraintes des modèles est également de ne pas conserver l'humidité (précipitations, évapotranspiration, etc.) [12].

Pour toutes ces raisons, il existe parfois des différences importantes entre les différentes bases de données de ré-analyses, surtout dans les régions où les observations sont rares.

II -7-6- 5-Ré-analyse du CEPMMT

Les projets de ré-analyses de l'ECMWF/CEPMMT (Le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme) sont des projets de ré-analyse météorologique.

II -7-6- 6-Produits de ré-analyses

Le premier produit de ré-analyse, ERA-15, a généré des ré-analyses sur environ 15 ans, de décembre 1978 à février 1994. Le second produit, ERA-40 (originellement voulu comme une ré-analyse de 40 ans) commence en 1957 (l'année géophysique internationale) et couvre 45 ans, jusqu'en 2002. En tant que précurseur à un produit de ré-analyse étendu destiné à remplacer ERA-40, le CEPMMT a sorti ERA-Intérim, qui couvre la période de 1979 à aujourd'hui.

En plus de la ré-analyse de toutes les données anciennes dans un système cohérent,

les ré-analyses rendent possible l'utilisation de données archivées qui ne n'étaient pas accessibles lors des analyses originales. Cela permet la correction de plusieurs ajustements manuels dans les zones de données manquantes, où l'estimation de scénarios était habituelle.

Chapitre III :
Etude du champ du vent observé et
ré-analysé ECMWF

Chapitre III : Etude du champ du vent observé et ré-analysé ECMWF

III-1- Présentation de la région d'étude

Dans ce chapitre, une étude climatique de la région d'intérêt a été présentée. Les données climatiques de deux stations synoptiques ont été utilisées (Ghardaïa et Hassi R'mel) pour la période 2006-2015.

III-1-1- Situation géographique

III-1-1-1- La région de Ghardaïa

La région de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara septentrional dans le plateau de Hamada (ZERGOUN, 1994) à $32^{\circ} 23'$ de latitude Nord à $03^{\circ} 47'$ de longitude Est à 600 km au Sud d'Alger. Elle est limitée au Nord par la localité de Berriane et au Sud par Metlili Châamba ($32^{\circ} 25'$ N. ; $04^{\circ} 35'$ E). La grande palmeraie de Zelfana ($32^{\circ} 15'$ N. ; $03^{\circ} 40'$ E) s'étend à l'Est. A l'Ouest, la région de Ghardaïa est bordée par le grand Erg occidental (BENHEDID, 2008). La Wilaya couvre une superficie de 86.560 km². La région de Ghardaïa couvre une superficie de 2,025 Km² (BEN ABBES, 1995). (Fig III-1)

La Wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km).
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km).
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km).
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470 Km).
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km).
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350 Km).

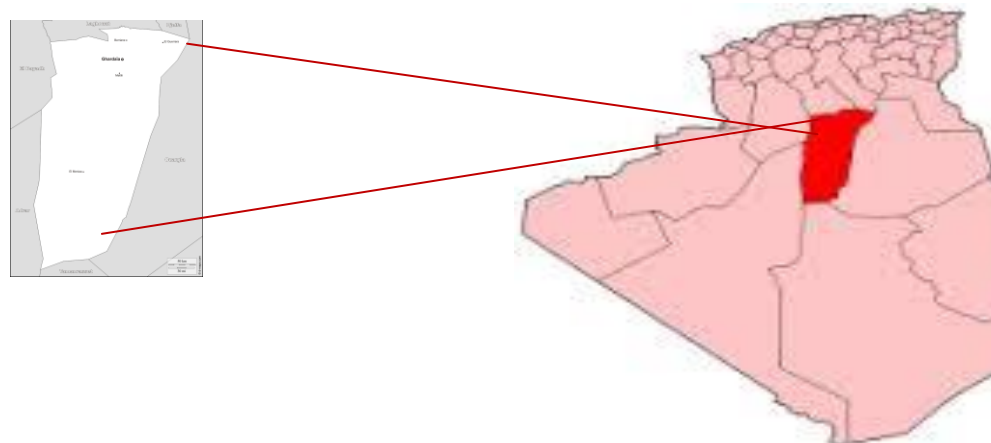


Fig III-1 Limites géographique de la région de Ghardaïa (Wikipédia, Encarta 2009).

III-1-1-2- La région de Hassi R'mel

Hassi R'Mel est situé 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 de 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-2)

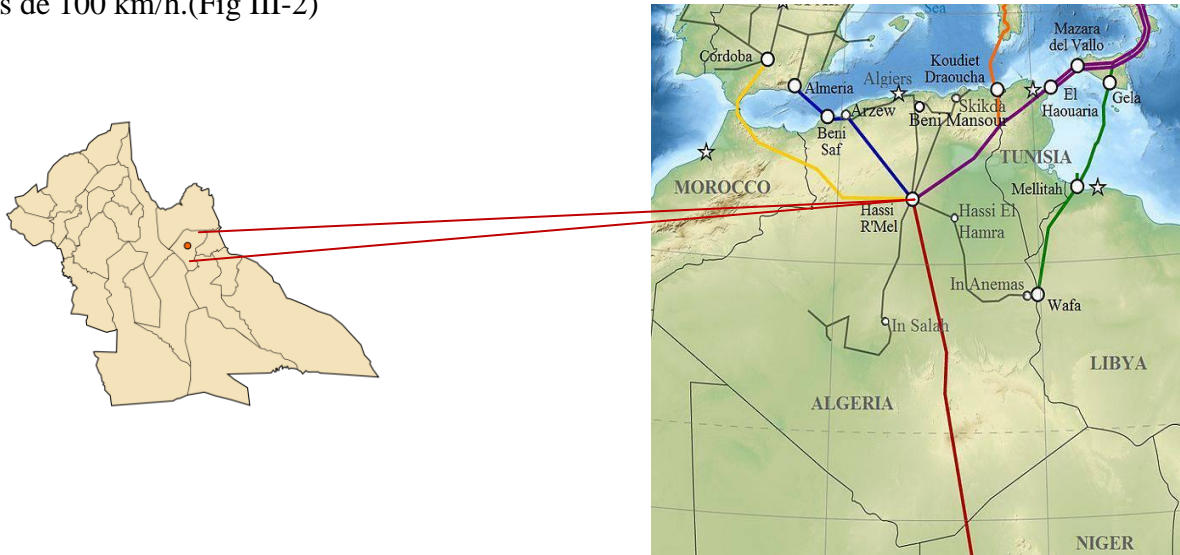


Fig III-2 Limites géographiques de la région de Hassi R'mel.

III-1-2– Synthèse des données climatique

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

III.1.2.1. – Diagramme ombrothermique de Gaussen

Le diagramme 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 tempéra descend au dessous de celle des précipitations et il est humide dans le cas contraire (BAGNOULS et GAUSSEN, 1953; DREUX, 1980).

Le diagramme ombrothermique est double graphique (temps) utilisé pour représenter et déterminer le climat d'un lieu

Les trois axes de diagramme :

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

Conventions :

- Température toujours à gauche (°C).
- Précipitation toujours à droite (mm).
- Courbes T (°C) en rouge.
- Barres P (mm) en bleu.
- Les zéros des axes de température et de précipitation doivent se correspondre .
- Respecter la règle P=2T

Les diagrammes ombrothermiques de la région de Ghardaïa et Hassi R'mel des années 2006 / 2015 montre que cette période est généralement sèche qui s'étale durant toute l'année (Fig III- 3 et Fig III-4) et ainsi que pour l'année 2011.

Mois	T moy en °C	Pluie en mm
Janvier	11,70	14,01
Février	13,01	3,50
Mars	16,96	8,15
Avril	21,68	5,84
Mai	26,06	2,75
Juin	30,97	3,08
Juillet	34,85	2,41
Août	34,07	4,37
Septembre	29,32	19,71
Octobre	23,74	6,35
Novembre	16,65	3,70
Décembre	12,35	6,13

Tab. III-1 : Température et précipitation moyenne à Ghardaia (2006-2015).

Mois	T moy en °C	Pluie en mm
Janvier	8,76	12,33
Février	9,96	8,13
Mars	14,05	7,18
Avril	18,76	7,53
Mai	23,27	6,65
Juin	28,16	6,69
Juillet	32,20	2,26
Août	31,35	8,35
Septembre	26,44	31,57
Octobre	20,78	11,37
Novembre	13,64	7,16
Décembre	9,25	8,89

Tab. III-2: Température et précipitation moyenne à Hassi R'mel (2006-2015).

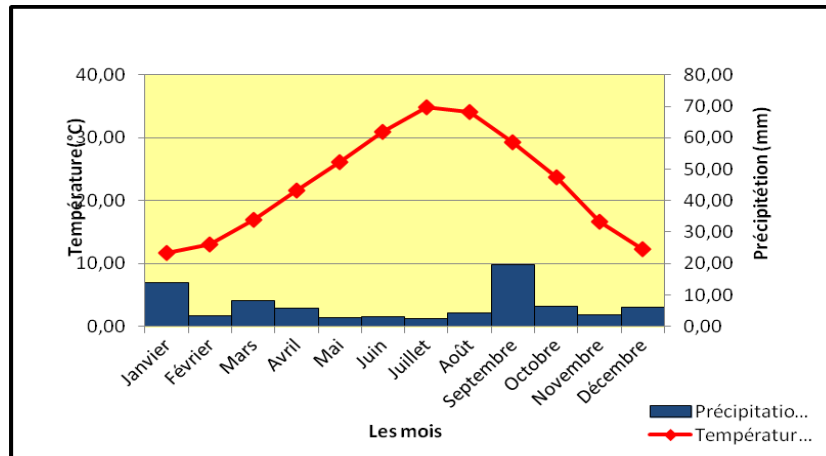


Fig III- 3: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN Ghardaia(2006-2015).

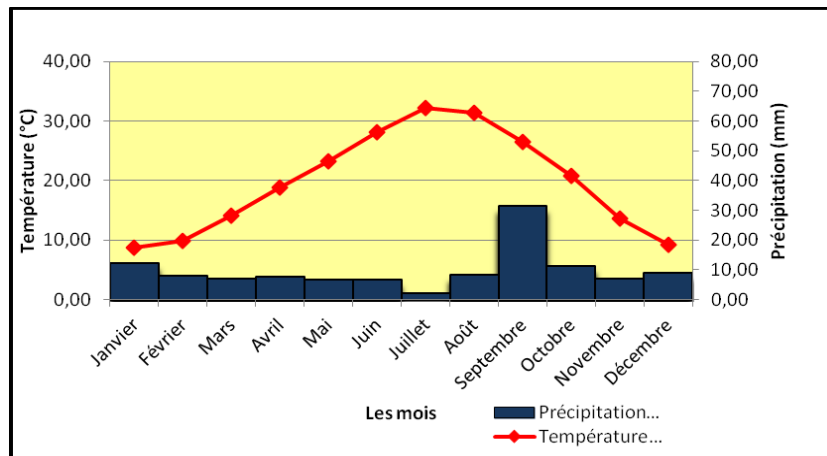


Fig III- 4: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN Hassi R'mel (2006-2015).

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 pluviométrique 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 2006 jusqu'à 2015, la précipitation moyenne annuelle du Ghardaïa est de 6,67 mm et du Hassi R'mel est de 9,84 mm, la température moyenne des maximal du mois le plus chaud est de 34,85 °C pour Ghardaïa et 32,20 °C. Et celle du mois le plus froid de 11,70 °C pour Ghardaïa et 8,76 °C pour Hassi R'mel . De ce fait la valeur du quotient pluviothermique est de 0,99 pour Ghardaïa et 1,44 pour Hassi R'mel, en rapportant cette valeur sur le climagramme d'Emberger, il est à constater que la région de Ghardaïa et Hassi R'mel se situent dans l'étage bioclimatique saharien à hivers doux (Fig III-5).

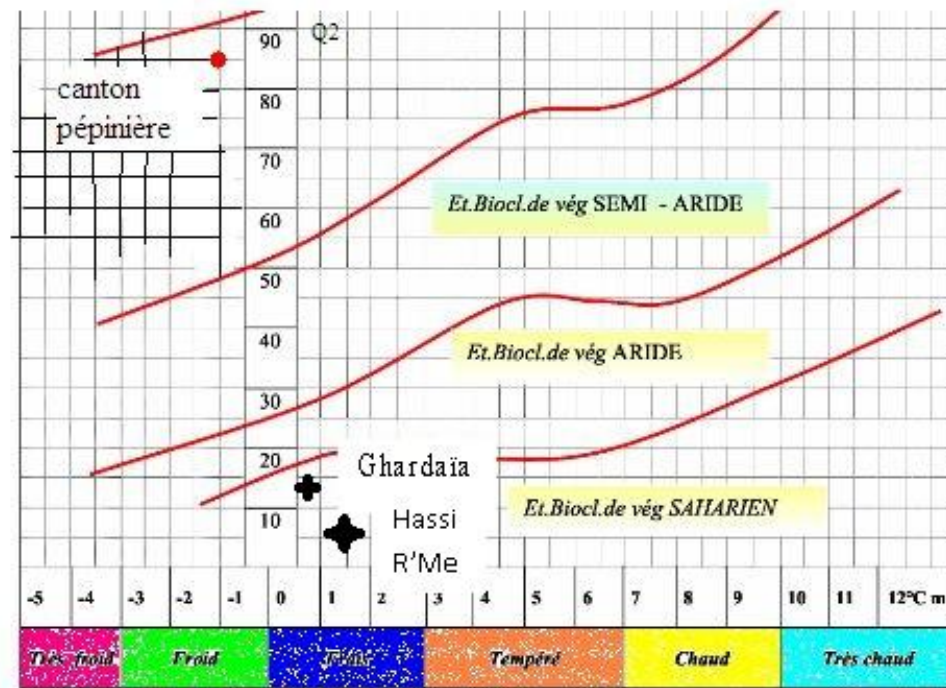


Fig III-5 : L'emplacement de Ghardaïa et Hassi R'mel sur le Climagramme d'Emberger.

III-2-Les Données

Dans cette étude nous avons utilisés deux types des données, les données observées au niveau des stations météorologiques de Ghardaïa et Hassi R'mel et les données issues des ré-analysées l'ECMWF.

III-2-1- Les Données Observées

La notion de station météorologique d'observation, dans son sens le plus général, recouvre l'ensemble d'une telle installation et d'un tel personnel. Elle a pour mission l'étude des conditions météorologiques et le climat. Les mesures comprennent la température, la pression atmosphérique, l'humidité, la vitesse du vent, la direction du vent et la quantité de pluie. Il n'y a pas de conditions spécifiques en prenant des mesures de vent, tout en prenant la mesure des mesures de température et d'humidité doit être loin du rayonnement solaire direct ou indirect.

Dans notre étude, les données utilisées sont de champs du vent, provenant du réseau synoptique de l'Office National de la Météorologie (ONM - Ouargla).

Les données concerne la vitesse et direction du vent des réseaux (00h ,06h, 12h,18h) enregistrées dans les stations de Ghardaïa et de Hassi R'mel (Tab-III-3) pour la période (2011).

Nom de la station	Indicatif OMM	Indicatif OACI	Latitude	Longitude	Altitude
Ghardaïa	60566	DAUG	32°23' N	03°47' E	466 m
Hassi R'mel	60563	DAFH	32°56' N	03°18' E	774 m

Tab-III-3. Coordonnées géographiques de notre zone d'étude.

III-2-2- Les Données Ré-analysées ECMWF

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 Reaserch). Ces données ré-analysées sont les résultats de calculs d un modèle météorologique récent de prévision numérique du temps sur des données passées, a laquelle s ajoute des données d'observation qui proviennent de plusieurs sources et d instruments varies distribués d une manière inhomogène dans le temps et dans l espace. Parmi les données d'observation intégrées au model 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, 950, 925, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10, 7, 5, 3, 2 et 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,).

Chapitre IV :
Résultats et analyses

Chapitre IV: Résultats et analyses

IV-1- Introduction

Les données du vent à 10 m observées pour les deux stations de Ghardaïa et Hassi Rmel ont été comparées avec les données ré-analysées du centre ECMWF pour l'année 2011. Cette année a été choisie vu la disponibilité et la continuité des données au niveau des deux stations. La capacité des données ré-analysées à reproduire les régimes du vent (annuel, mensuel, saisonnier, diurne et spatial) au niveau des deux stations sera analysée et le degré de corrélation entre ces deux types de données est réalisé par le calcul du biais, RMSE, la déviation standard STD et le coefficient de corrélation R.

IV-2- Régime annuel du vent

IV-2-1- Les Roses annuelles du vent observé et ECMWF à Ghardaïa et Hassi R'mel

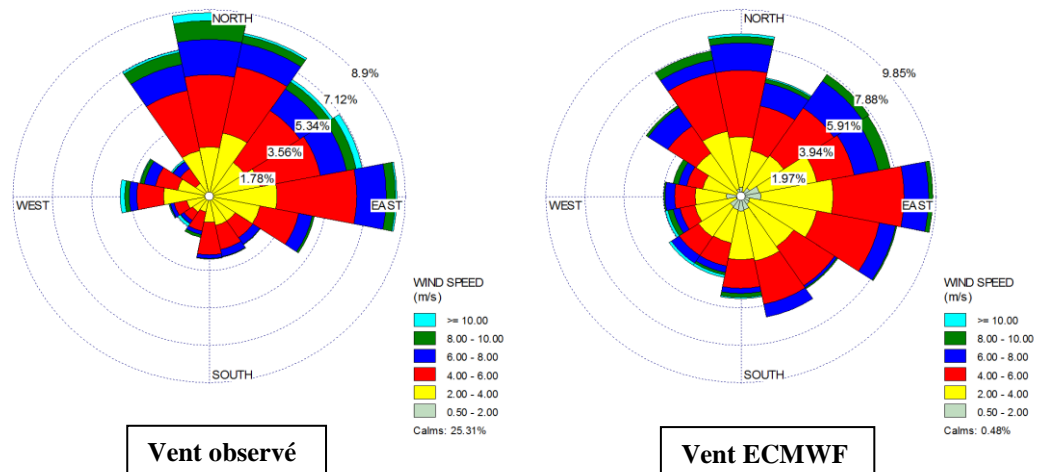


Fig IV.1. Roses annuelles du vent observé et ECMWF à Ghardaïa.

Analyse et discussion

D'après la (Fig.IV.1), on constate clairement que le vent ré-analyse ECMWF concorde d'une façon satisfaisante avec le vent mesuré à la station météorologique de Ghardaïa en reproduisant le régime dominant du Nord à Nord-est.

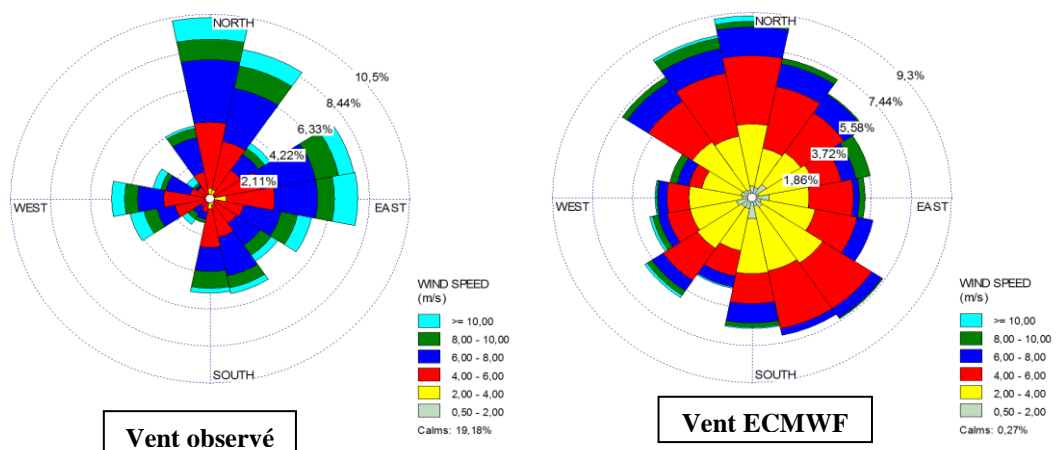


Fig IV.2. Roses annuelles du vent observé et ECMWF à Hassi R'mel.

Analyse et discussion

La Figure IV.2 montre un régime de Nord à Nord-est avec une prédominance des classes de vent fort. Ce régime est reproduit par les ré-analyses pour le secteur Nord à Nord-est. La composante des vents dominants d'Est est mal reproduite en termes de direction et de vitesse.

IV-2-2- Les classes des vitesses annuelles du vent à Ghardaïa et Hassi R'mel

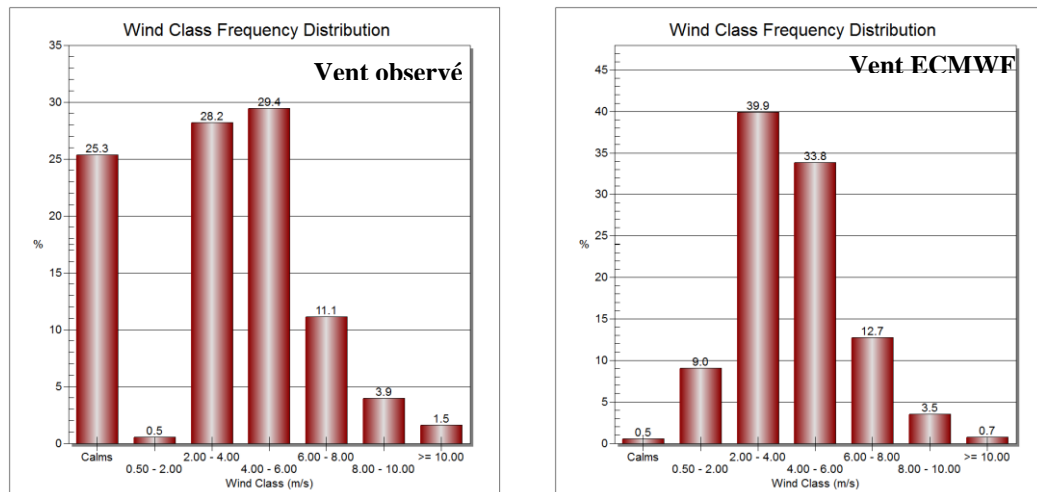


Fig IV.3. Les classes des vitesses du vent de Ghardaia.

La Figure IV.3 montre que les classes des vitesses du vent les plus fréquentes [2 – 4m/s], [4- 6m/s] concordent avec celles ré-analysées.

Analyse et discussion

D'après les résultats obtenus lors de l'étude des classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF à Ghardaia durant l'année 2011 que le vent mesuré à la station météorologique de Ghardaia et le vent de l'ECMWF ont la même allure et sont influencés par le réchauffement et le refroidissement du sol.

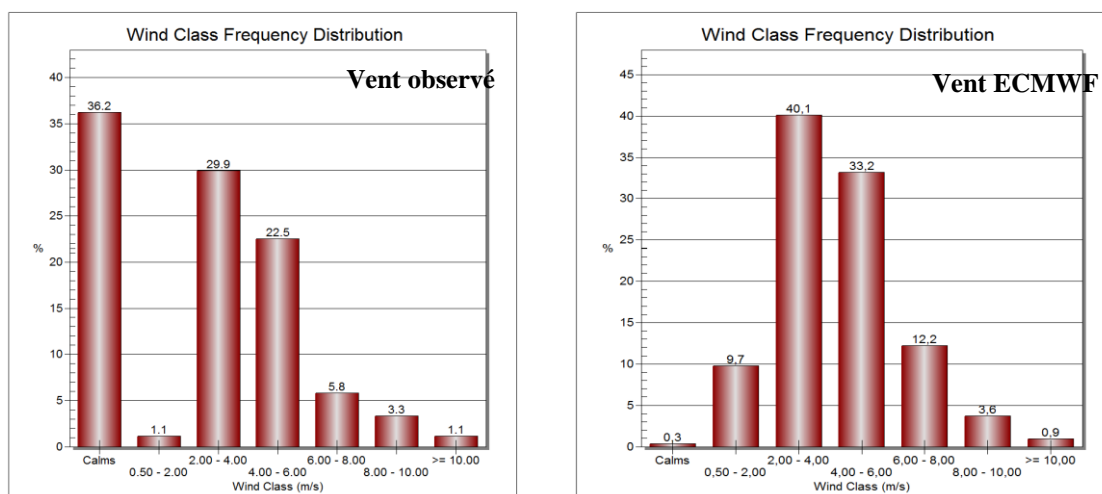


Fig IV.4. Les classes des vitesses annuelles du vent observé et de l’ECMWF de Hassi R’mel.

On constate d’après les deux graphes de la (Fig IV.4) que les classes des vitesses du vent les plus fréquentes [2 – 4 m/s], [4 -6 m/s] sont en concordance pour l’observation et les ré-analyses ECMWF.

Analyse et discussion

D’après les résultats obtenus lors de l’étude des classes des vitesses du vent observé et de l’ECMWF à Hassi R’mel durant l’année 2011 que le vent mesuré à la station météorologique de Ghardaia et le vent de l’ECMWF ont la même allure et sont influencés par le réchauffement et le refroidissement du sol.

IV-3- Régime mensuel du vent

IV-3-1- Les vitesses moyennes mensuelles du vent à 00 h

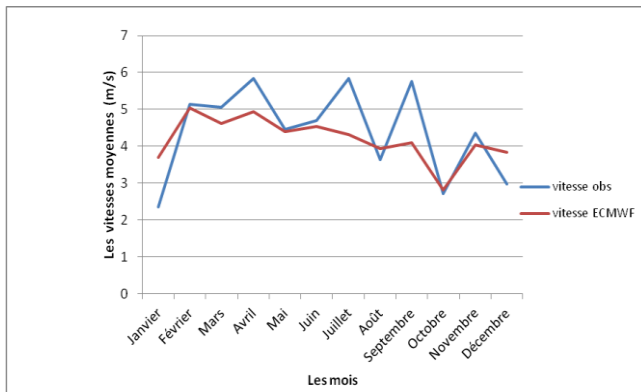
Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	2,35	3,69
Février	5,14	5,04
Mars	5,06	4,62
Avril	5,83	4,94
Mai	4,45	4,40
Juin	4,70	4,54
Juillet	5,84	4,31
Août	3,65	3,93
Septembre	5,77	4,09
Octobre	2,71	2,82
Novembre	4,37	4,04
Décembre	2,97	3,83

Hassi R’mel

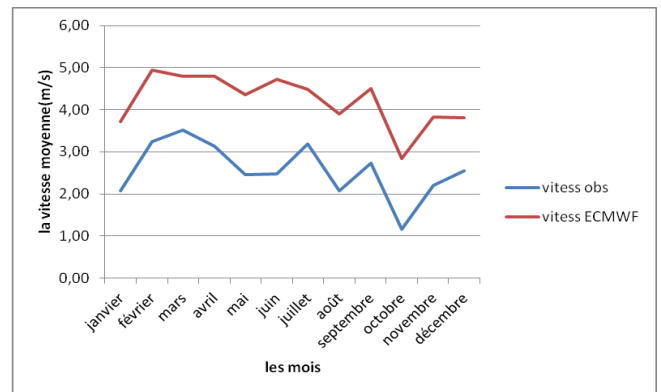
Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	2.06	3.72
Février	3.25	4.94
Mars	3.52	4.79
Avril	3.13	4.79
Mai	2.45	4.36
Juin	2.47	4.72
Juillet	3.19	4.48
Août	2.06	3.90
Septembre	2.73	4.51
Octobre	1.16	2.85
Novembre	2.20	3.84
Décembre	2.55	3.81

Ghardaïa

Tab.IV.1. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l’ECMWF à 00h de Hassi R’mel et Ghardaia.



Hassi R'mel



Ghardaia

Fig.IV.5. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 00h de Hassi R'mel et Ghardaia.

On constate d'après les graphes de la Fig.IV.5 que le comportement du champ de vent mensuel est bien reproduit par les ré-analyses ECMWF pour la station de Ghardaia durant toute l'année, contrairement à Hassi Rmel où le comportement du vent est reproduit pour la période d'hiver (Octobre-novembre -Décembre-Janvier-Février).

IV-3-2- Les vitesses moyennes mensuelles du vent à 06 h

Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	1,84	3,53
Février	3,64	5,06
Mars	4,74	4,22
Avril	5,13	4,38
Mai	4,71	3,85
Juin	5,03	3,51
Juillet	4,97	4,26
Août	2,87	3,21
Septembre	3,63	3,72
Octobre	2,45	3,20
Novembre	3,80	4,12
Décembre	3,81	4,21

Hassi R'mel

Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	1.39	3.50
Février	3.93	4.98
Mars	3.52	4.56
Avril	2.97	4.28
Mai	3.03	4.05
Juin	2.83	3.67
Juillet	2.84	4.30
Août	1.61	3.34
Septembre	1.93	3.96
Octobre	2.23	3.26
Novembre	2.63	4.14
Décembre	3.35	4.18

Ghardaia

Tab.IV.2. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 06h de Hassi R'mel et Ghardaia.

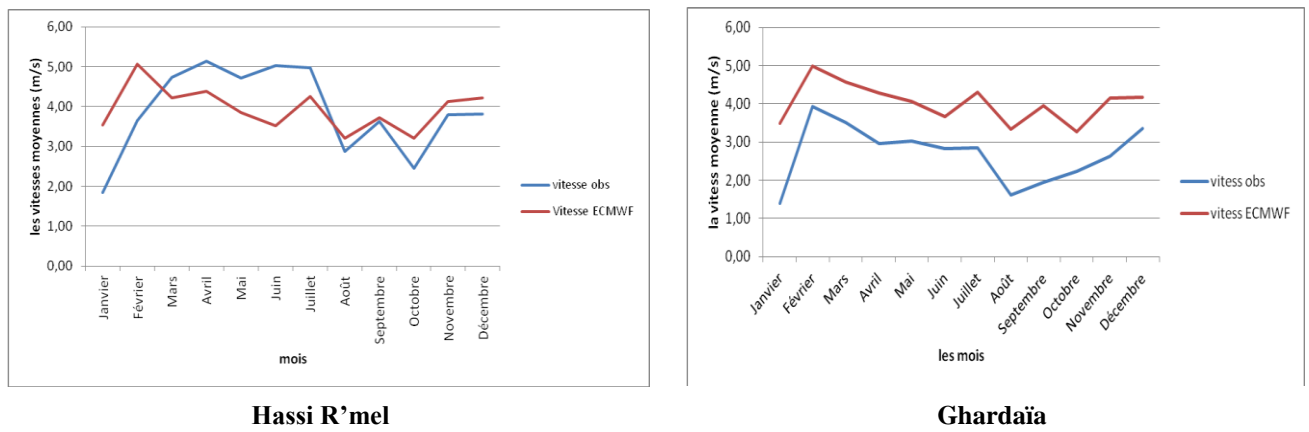


Fig.IV.6. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 06h de Hassi R'mel et Ghardaïa.

On constate d'après les graphes de la Fig.IV.6 que les vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 06h à Ghardaïa et à Hassi R'mel sont mieux corrélées.

IV-3-3- Les vitesses moyennes mensuelles du vent à 12 h

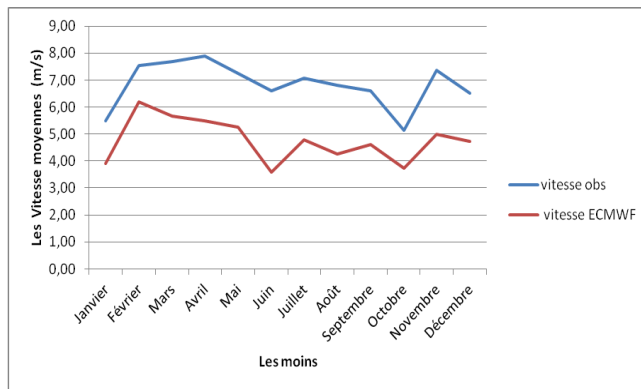
Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	5,48	3,92
Février	7,54	6,18
Mars	7,68	5,67
Avril	7,90	5,48
Mai	7,26	5,25
Juin	6,60	3,59
Juillet	7,06	4,78
Août	6,81	4,27
Septembre	6,60	4,62
Octobre	5,13	3,73
Novembre	7,37	4,99
Décembre	6,52	4,74

Hassi R'mel

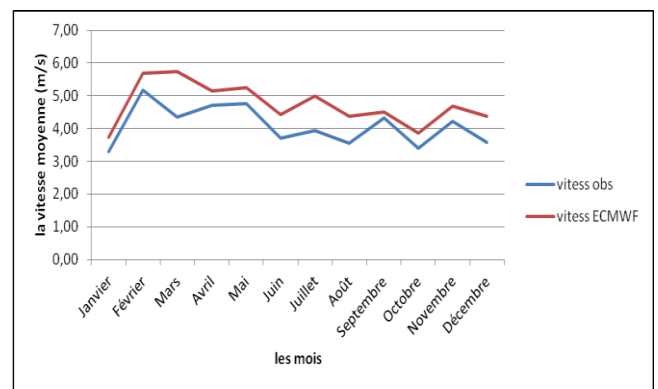
Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	3.29	3.73
Février	5.18	5.68
Mars	4.35	5.73
Avril	4.70	5.16
Mai	4.77	5.25
Juin	3.70	4.42
Juillet	3.94	4.99
Août	3.55	4.37
Septembre	4.33	4.50
Octobre	3.39	3.85
Novembre	4.23	4.69
Décembre	3.58	4.38

Ghardaïa

Tab.IV.3. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 12h de Hassi R'mel et Ghardaïa.



Hassi R'mel



Ghardaïa

Fig.IV.7. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 12h de Hassi R'mel et Ghardaïa.

On constate d'après les graphes de la Fig.IV.7 que les vitesses moyennes mensuelles du vent observé et ainsi que les ré-analyses ECMWF à 12h à Ghardaïa et à Hassi R'mel sont bien corrélées et le comportement du vent est bien reproduit.

IV-3-4- Les vitesses moyennes mensuelles du vent à 18 h

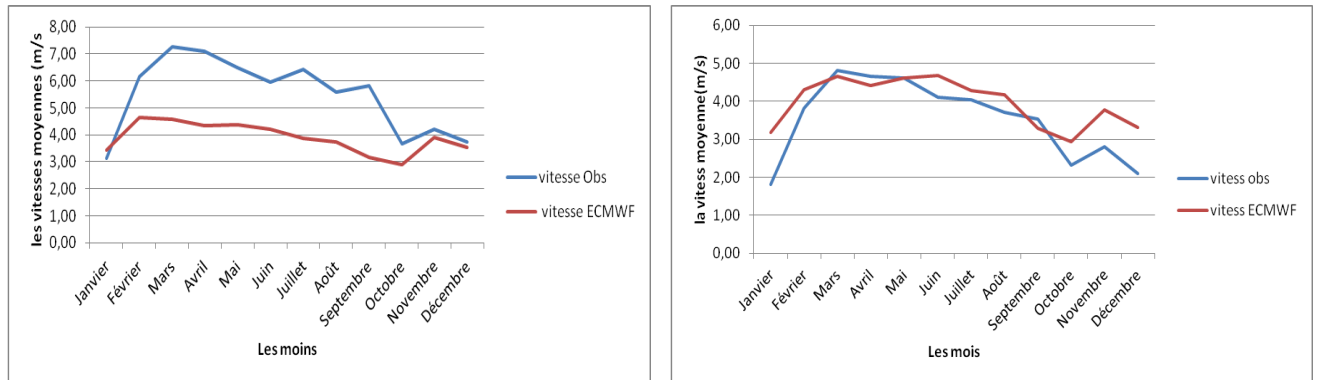
Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	3,13	3,43
Février	6,14	4,64
Mars	7,26	4,58
Avril	7,10	4,34
Mai	6,48	4,39
Juin	5,97	4,21
Juillet	6,42	3,86
Août	5,58	3,73
Septembre	5,83	3,17
Octobre	3,68	2,90
Novembre	4,20	3,92
Décembre	3,74	3,52

Hassi R'mel

Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	1.81	3.19
Février	3.82	4.30
Mars	4.81	4.65
Avril	4.67	4.42
Mai	4.61	4.62
Juin	4.10	4.68
Juillet	4.03	4.29
Août	3.71	4.17
Septembre	3.53	3.28
Octobre	2.32	2.94
Novembre	2.80	3.78
Décembre	2.10	3.32

Ghardaïa

Tab.IV.4. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 18h de Hassi R'mel et Ghardaïa.



Hassi R'mel

Ghardaia

Fig.IV.8. Vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 18h de Hassi R'mel et Ghardaia.

On constate d'après les graphes de la Fig.IV.8 que les vitesses moyennes mensuelles du vent observé et de l'ECMWF à 18h à Ghardaia sont bien corrélées. Pour la zone de à Hassi R'mel la tendance reste satisfaisante malgré une déviation des données ré-analysées par rapport aux observations durant l'été.

IV-3-5- Les vitesses moyennes mensuelles globales du vent

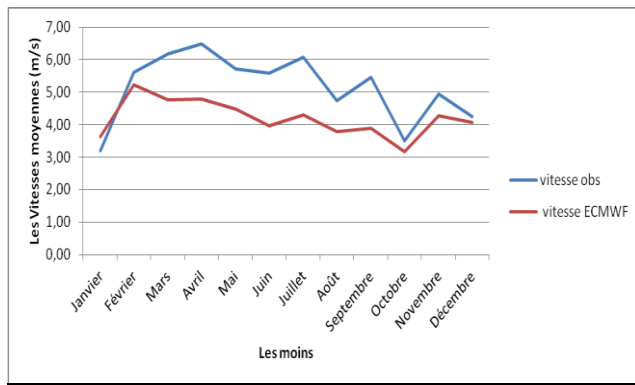
Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	3,20	3,64
Février	5,62	5,23
Mars	6,19	4,77
Avril	6,49	4,78
Mai	5,73	4,47
Juin	5,58	3,96
Juillet	6,07	4,30
Août	4,73	3,78
Septembre	5,46	3,90
Octobre	3,49	3,16
Novembre	4,93	4,27
Décembre	4,26	4,08

Hassi R'mel

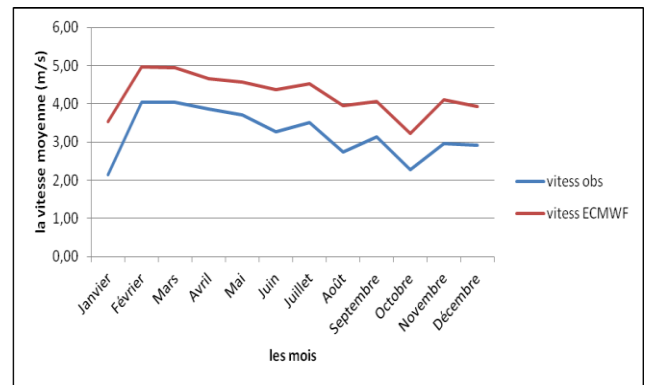
Mois	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Janvier	2.14	3.53
Février	4.04	4.97
Mars	4.05	4.93
Avril	3.87	4.66
Mai	3.72	4.57
Juin	3.28	4.37
Juillet	3.50	4.51
Août	2.73	3.95
Septembre	3.13	4.06
Octobre	2.27	3.23
Novembre	2.97	4.11
Décembre	2.91	3.93

Ghardaia

Tab.IV.5. Vitesses moyennes mensuelles globale du vent observé et de l'ECMWF de Hassi R'mel et Ghardaia.



Hassi R'mel



Ghardaïa

Fig.IV.9. Vitesses moyennes mensuelles globale du vent observé et de l'ECMWF de Hassi R'mel et Ghardaïa.

On constate d'après les graphes de la Fig.IV.9 que les vitesses moyennes mensuelles du vent observé ont une tendance similaire aux ré-analyses ECMWF durant toute l'année malgré une sous-estimation des observations Hassi Rmel et surestimation au niveau de Ghardaïa.

IV-4- Régime saisonnier du vent

IV-4-1- Les vitesses moyennes saisonnières du vent à 00h

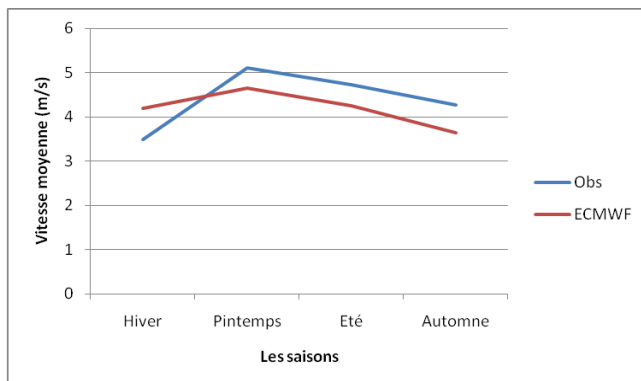
Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	3,49	4,19
Printemps	5,11	4,65
Été	4,73	4,26
Automne	4,28	3,65

Hassi R'mel

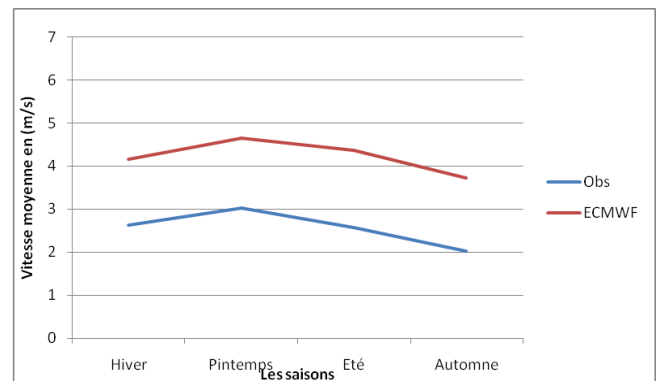
Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	2,62	4,16
Printemps	3,03	4,65
Été	2,57	4,37
Automne	2,03	3,73

Ghardaïa

Tab.IV.6. Variation saisonnière du vent observé et de l'ECMWF à 00h de Hassi R'mel et Ghardaïa.



Hassi R'mel



Ghardaïa

Fig.IV.10. Variation saisonnière du vent observé et de l'ECMWF à 00h de Hassi R'mel et Ghardaïa.

On constate d’après les graphes de la Fig.IV.10 que les vitesses moyennes saisonnières du vent observé et de l’ECMWF sont mieux corrélées à Hassi R’mel et à Ghardaïa.

IV-4-2- Les vitesses moyennes saisonnières du vent à 06h

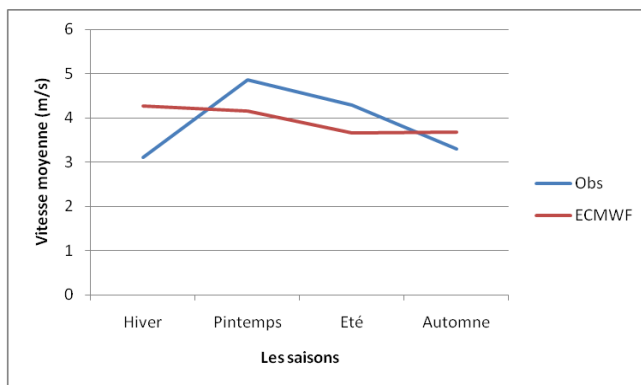
Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	3,10	4,27
Printemps	4,86	4,15
Été	4,29	3,66
Automne	3,29	3,68

Hassi R’mel

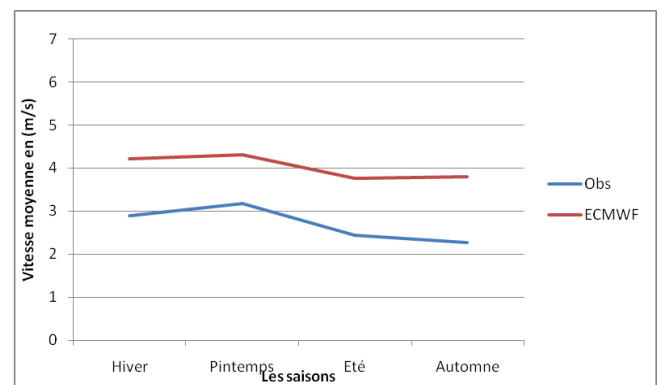
Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	2,89	4,22
Printemps	3,17	4,30
Été	2,43	3,77
Automne	2,26	3,79

Ghardaïa

Tab.IV.7. Variation saisonnière du vent observé et de l’ECMWF à 06h de Hassi R’mel et Ghardaïa.



Hassi R’mel



Ghardaïa

Fig.IV.11. Variation saisonnière du vent observé et de l’ECMWF à 06h de Hassi R’mel et Ghardaïa.

On constate d’après les graphes de la Fig.IV.11 que les vitesses moyennes saisonnières du vent observé et de l’ECMWF sont mieux corrélées à Hassi R’mel et à Ghardaïa.

IV-4-3- Les vitesses moyennes saisonnières du vent à 12h

Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	6,51	4,95
Printemps	7,61	5,47
Été	6,82	4,21
Automne	6,37	4,45

Hassi R’mel

Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	4,02	4,60
Printemps	4,61	5,38
Été	3,73	4,59
Automne	3,98	4,35

Ghardaïa

Tab.IV.8. Variation saisonnière du vent observé et de l’ECMWF à 12h de Hassi R’mel et Ghardaïa.

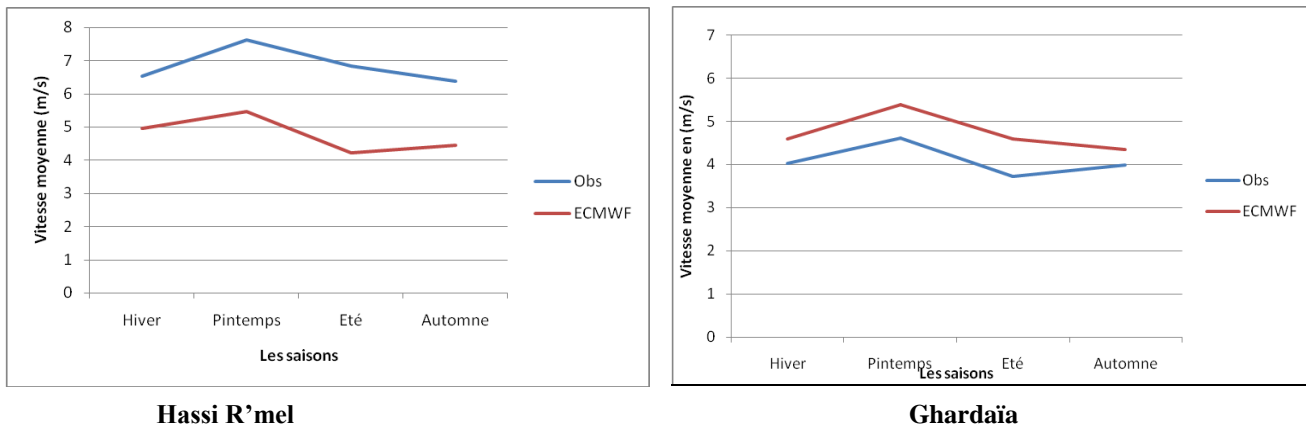


Fig.IV.12. Variation saisonnière du vent observé et de l'ECMWF à 12h de Hassi R'mel et Ghardaïa.

On constate d'après les graphes de la Fig.IV.12 que les vitesses moyennes saisonnières du vent observé et de l'ECMWF sont mieux corrélées à Hassi R'mel et à Ghardaïa.

IV-4-4- Les vitesses moyennes saisonnières du vent à 18h

Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	4,34	3,86
Printemps	6,95	4,44
Été	5,99	3,93
Automne	4,57	3,33

Hassi R'mel

Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	2,58	3,60
Printemps	4,70	4,56
Été	3,95	4,38
Automne	2,88	3,33

Ghardaïa

Tab.IV.9. Variation saisonnière du vent observé et de l'ECMWF à 18h de Hassi R'mel et Ghardaïa.

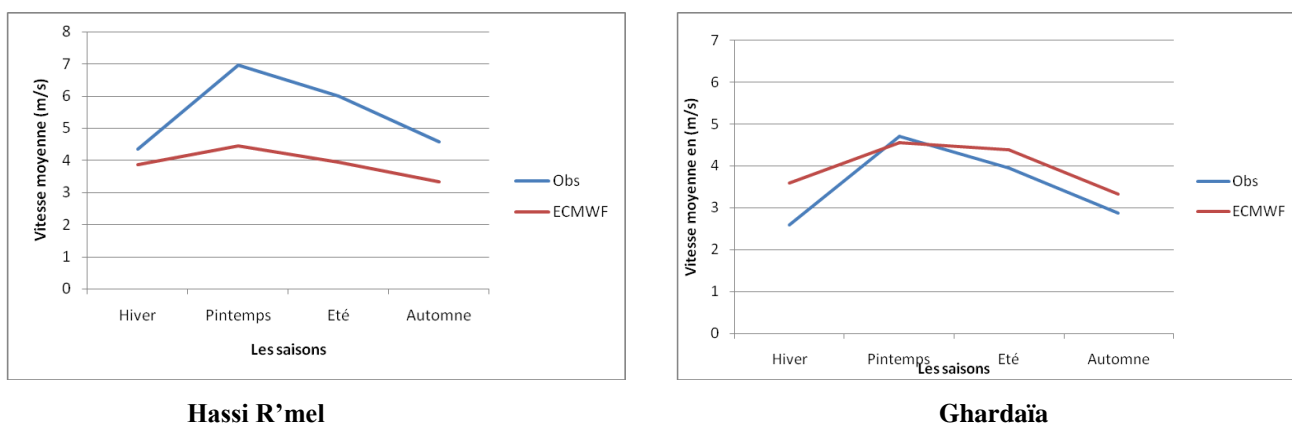


Fig.IV.13. Variation saisonnière du vent observé et de l'ECMWF à 18h de Hassi R'mel et Ghardaïa.

On constate d’après les graphes de la Fig.IV.13 que les vitesses moyennes saisonnières du vent observé et de l’ECMWF sont mieux corrélées à Hassi R’mel et à Ghardaïa.

IV-4-5- Les vitesses moyennes saisonnières globales du vent

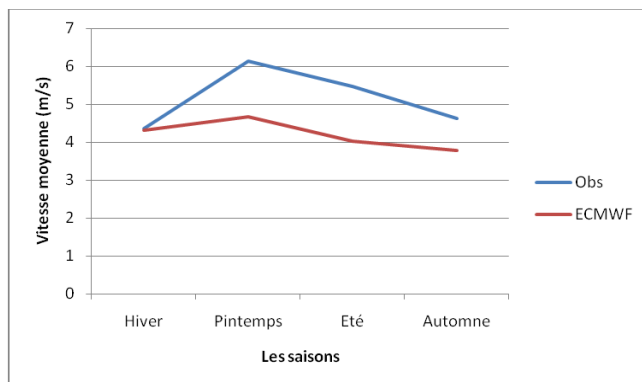
Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	4,36	4,32
Printemps	6,14	4,67
Été	5,46	4,01
Automne	4,63	3,78

Hassi R’mel

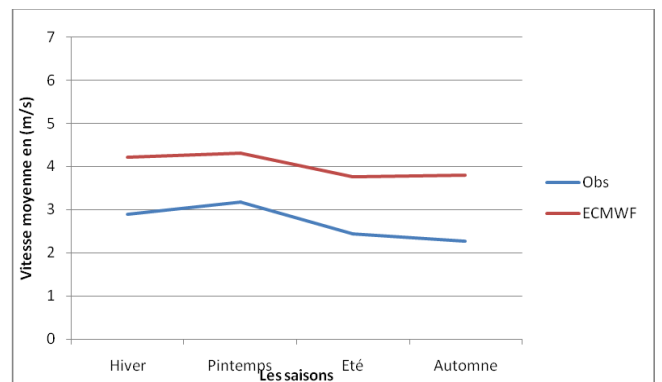
Saisons	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
Hiver	3,03	4,14
Printemps	3,88	4,72
Été	3,17	4,28
Automne	2,79	3,80

Ghardaïa

Tab.IV.10. Variation saisonnière globale du vent observé et de l’ECMWF de Hassi R’mel et Ghardaïa.



Hassi R’mel



Ghardaïa

Fig.IV.14. Variation saisonnière globale du vent observé et de l’ECMWF de Hassi R’mel et Ghardaïa.

On constate d’après les graphes de la Fig.IV.14 que les vitesses moyennes saisonnières du vent observé et de l’ECMWF sont mieux corrélées à Hassi R’mel et à Ghardaïa.

IV-5- Régime diurne du vent

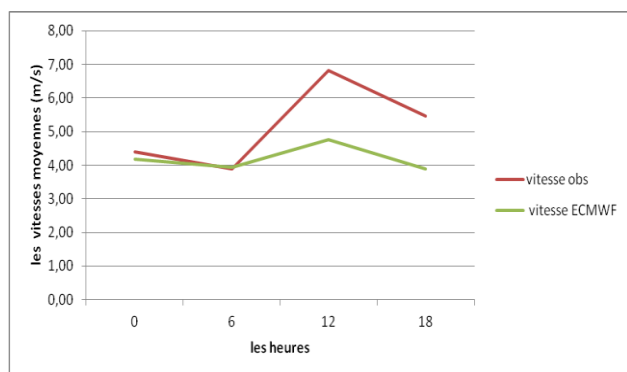
Heure	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
00h	4,39	4,18
06h	3,88	3,93
12h	6,82	4,76
18h	5,45	3,88

Hassi R’mel

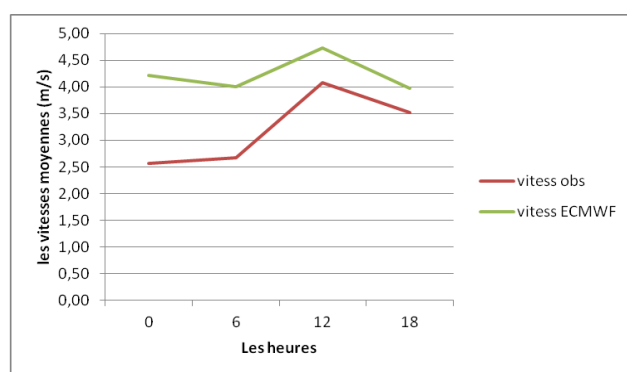
Heure	Vitesse observée	Vitesse ECMWF
00h	2,56	4,22
06h	2,68	4,01
12h	4,08	4,73
18h	3,52	3,97

Ghardaïa

Tab.IV.11. Variation diurne du vent observé et de l’ECMWF de Hassi R’mel et Ghardaïa.



Hassi R'mel



Ghardaïa

Fig.IV.15. Variation diurne du vent observé et de l'ECMWF de Hassi R'mel et Ghardaïa.

On constate d'après les graphes de la Fig.IV.15 que la variation diurne des vitesses moyennes du vent observé et de l'ECMWF sont mieux corrélées à Hassi R'mel et à Ghardaïa.

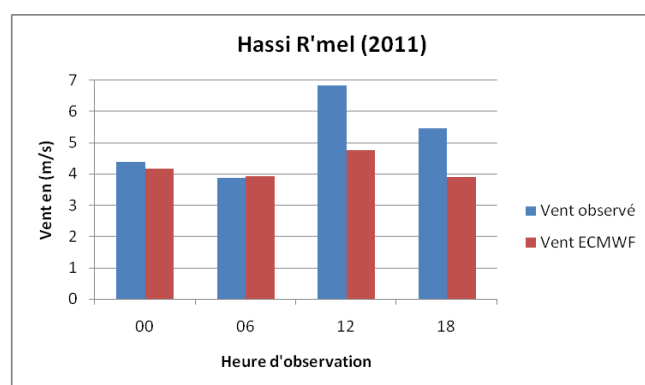
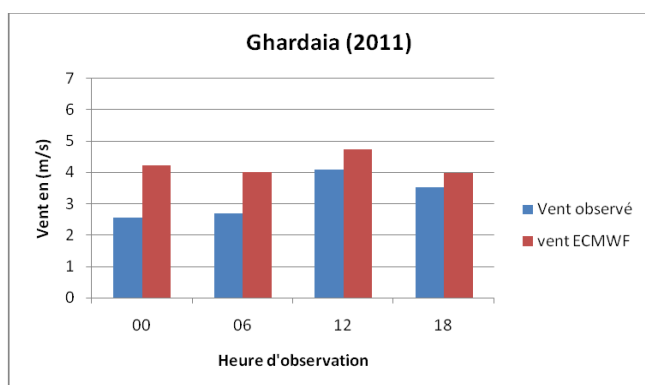


Fig.IV.16. Variation diurne du vent observé et ECMWF à Ghardaïa et Hassi R'mel.

IV-5-1-Les roses du vent observé et ECMWF de Ghardaïa et Hassi R'mel à 00h

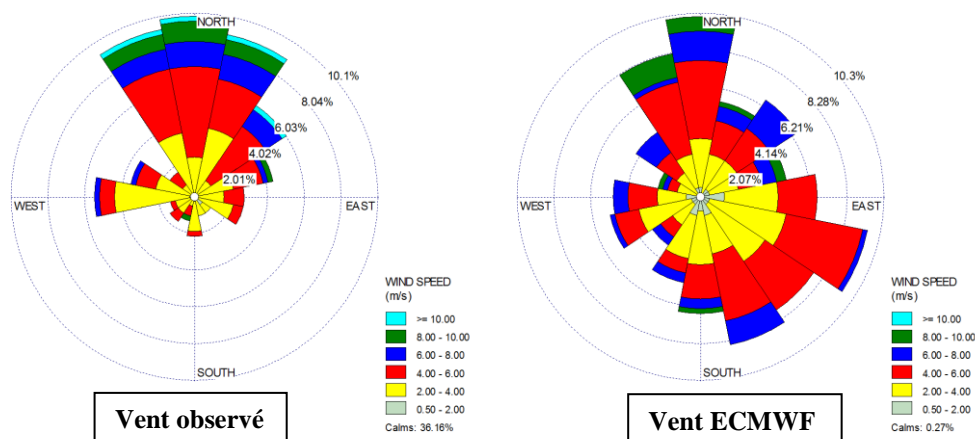


Fig IV.17. Roses du vent observé et ECMWF de Ghardaïa à 00h.

On constate d’après les deux roses du vent (Fig.IV.17) que les vents dominants qui soufflent à 00h à Ghardaïa sont de secteur Nord. Une autre composante sud-est apparaît dans les ré-analyses ECMWF non présente dans les observations ceci peut être traduit probablement a l emplacement des mâts de mesure (effet d obstacle ou présence d un couloir).

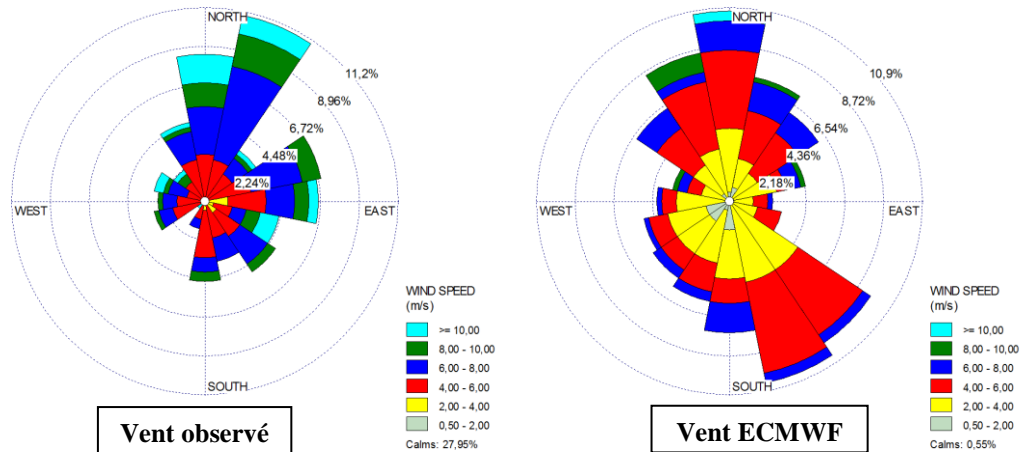


Fig IV.18. Roses du vent observé et ECMWF de Hassi R’ mel à 00h.

On constate d’après les deux roses du vent (Fig.IV.18) que les vents dominants qui soufflent à 00h à Hassi R’ mel sont de secteur Nord a Nord Est. On note l apparition d une composante Sud-est pour les ré-analyses non présente dans les observations. Ceci est du aux effets d obstacles au niveau du point de mesure ou la présence de couloirs qui accélèrent et devient le vent de sa direction habituelle.

IV-5-2- Les Classes des vitesses du vent de Ghardaïa et de Hassi R’ mel à 00h

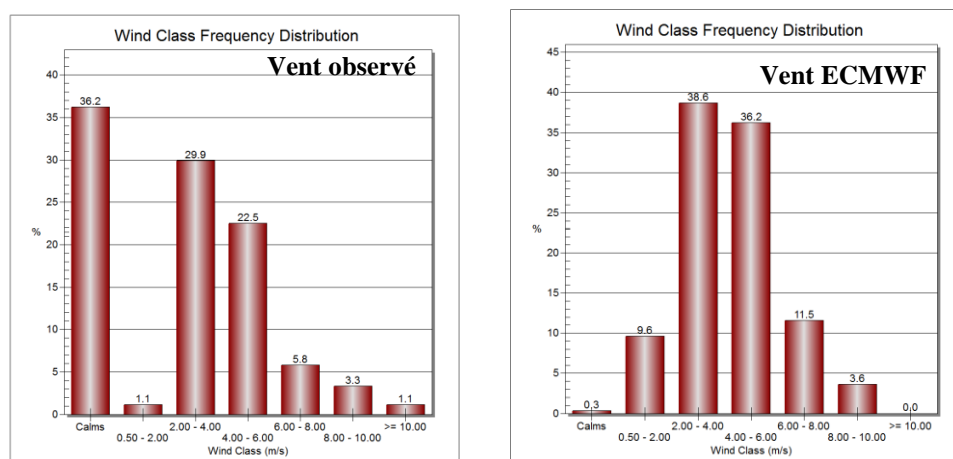


Fig IV.19. Les classes des vitesses du vent observé et de l’ECMWF de Ghardaia à 00h.

On constate d’après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.19) que la classe du vent calme est la classe la plus fréquente à 00h, car le vent est généralement se calmé à cette heure de la nuit, par contre la classe [2 , 4] est la classe la plus fréquente dans les données ECMWF à Ghradaia.

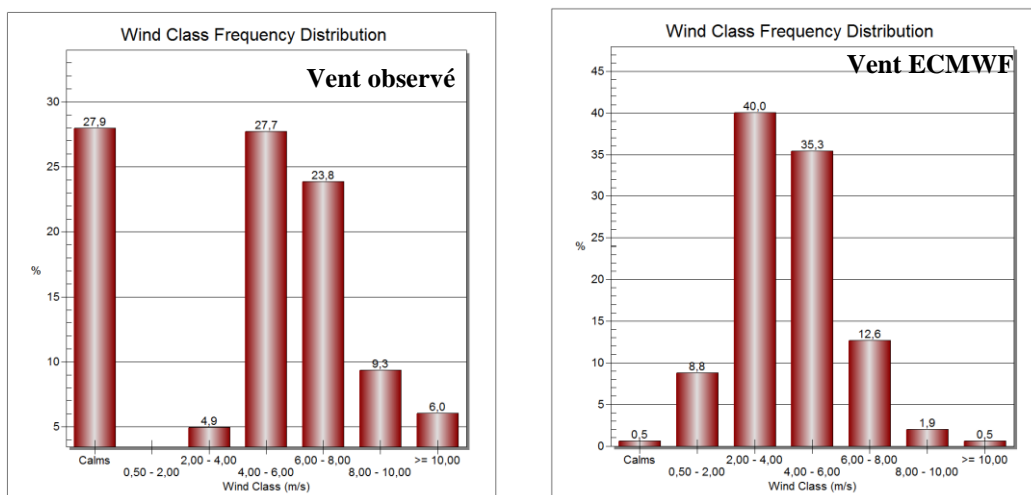


Fig IV.20. Les classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF de Hassi R'mel à 00h.

On constate d'après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.20) que la classe du vent calme est la classe la plus fréquente à 00h, car le vent est généralement se calmé à cette heure de la nuit, par contre la classe [2 , 4] est la classe la plus fréquente dans les données ECMWF à Hassi R'mel.

IV-5-3-Les roses du vent observé et ECMWF de Ghardaïa et Hassi R'mel à 06h

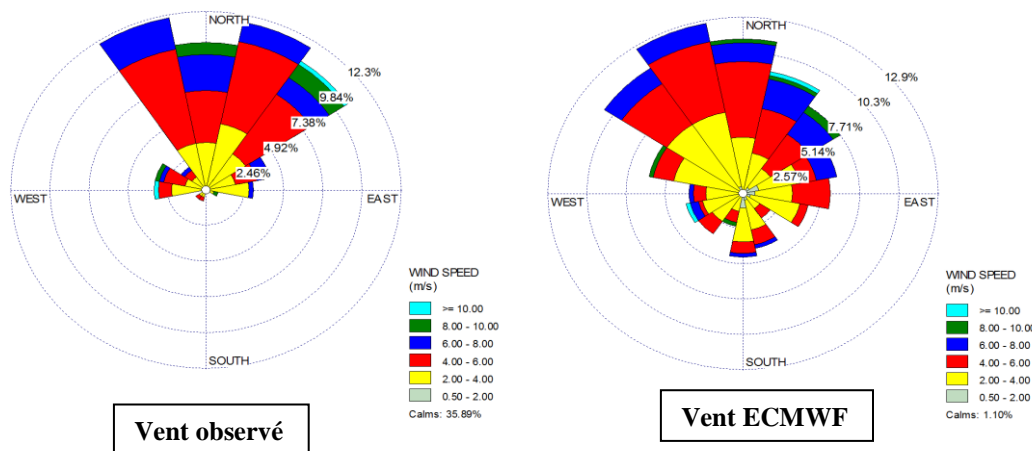


Fig IV.21. Roses du vent observé et ECMWF de Ghardaïa à 06h.

On constate d'après les deux roses du vent (Fig.IV.21) que les vents dominants soufflent à 06h à Ghardaïa sont de secteur Nord à Nord Ouest que soient le vent observé ou ré-analyse ECMWF.

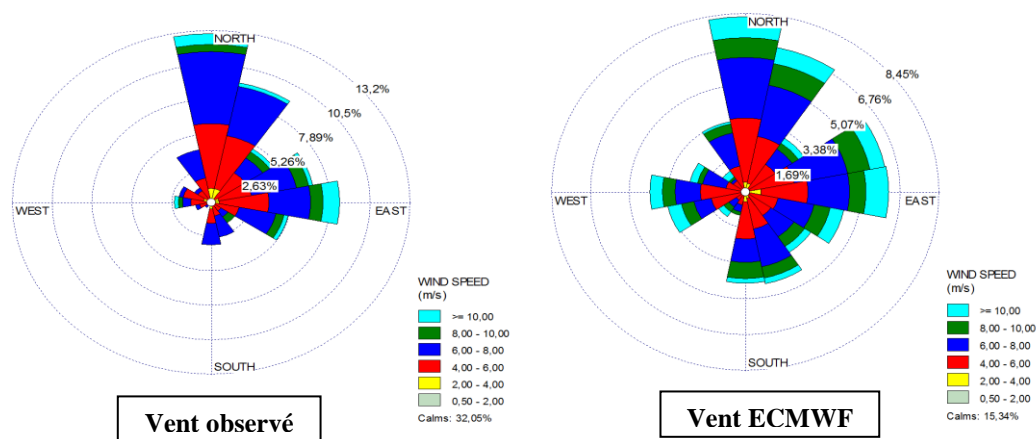


Fig IV.22. Roses du vent observé et ECMWF de Hassi R'mel à 06h.

On constate d'après les deux roses du vent (Fig.IV.22) que les vents dominants qui soufflent à 06h à Hassi R'mel sont de secteur Nord que soient pour le vent observé ou pour le vent de l'ECMWF.

IV-5-4- Les Classes des vitesses du vent de Ghardaïa et de Hassi R'mel à 06h

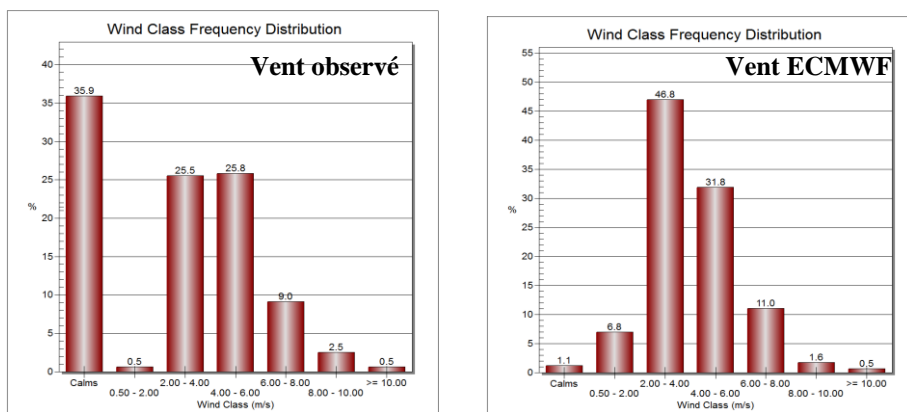


Fig IV.23. Les classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF de Ghardaïa à 06h.

On constate d'après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.23) que la classe du vent calme est la classe la plus fréquente à 06h, car le vent est généralement se calmé au début de la journée, par contre la classe [2 , 4] est la classe la plus fréquente dans les données ECMWF à Ghradaia.

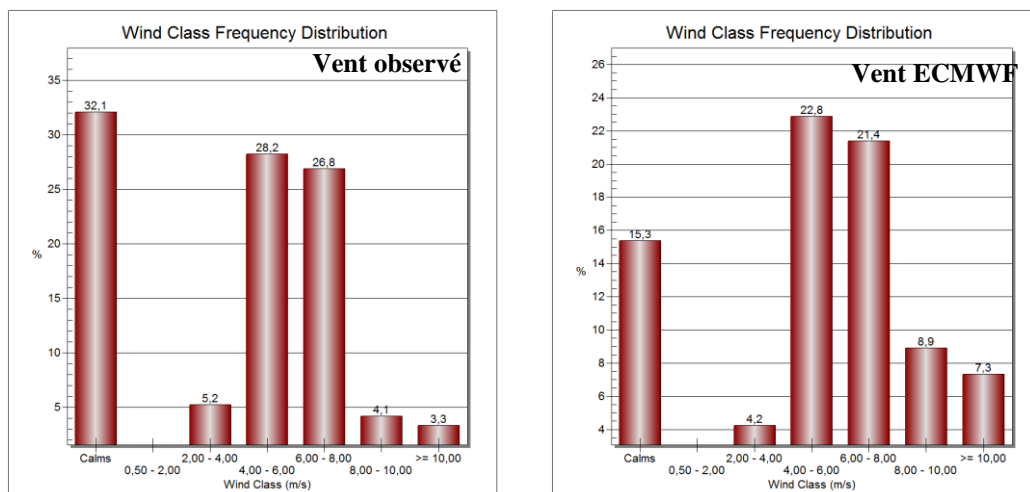


Fig IV.24. Les classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF de Hassi R'mel à 06h.

On constate d'après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.24) que la classe du vent calme est la classe la plus fréquente à 06h, car le vent est généralement se calmé au début de la journée, par contre la classe [4 , 6] est la classe la plus fréquente dans les données ECMWF à Hassi R'mel.

IV-5-5-Les roses du vent observé et ECMWF de Ghardaïa et Hassi R'mel à 12h

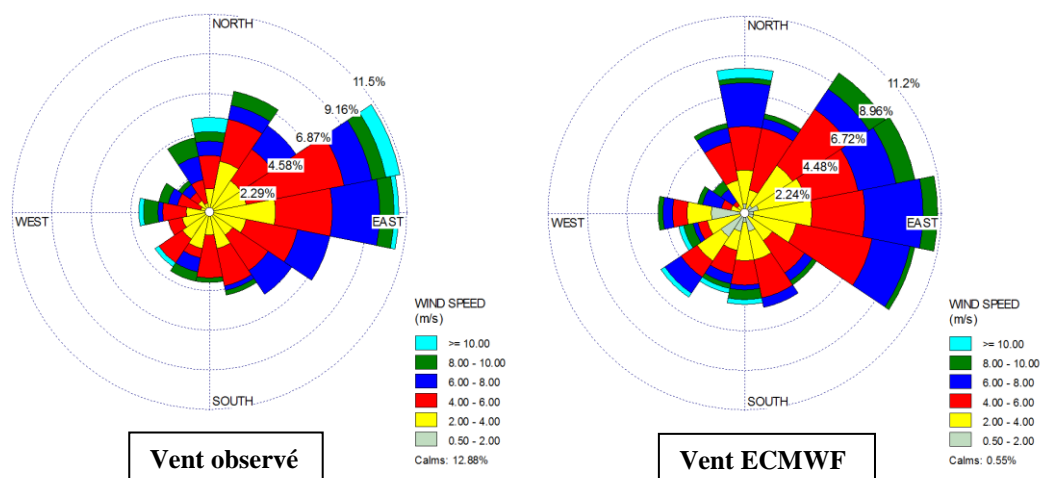


Fig IV.25. Roses du vent observé et ECMWF de Ghardaïa à 12h.

On constate d'après les deux roses du vent (Fig.IV.25) que les vents dominants qui soufflent à 12h à Ghradaia sont de secteur Est à Nord Est que soient le vent observé ou de l'ECMWF.

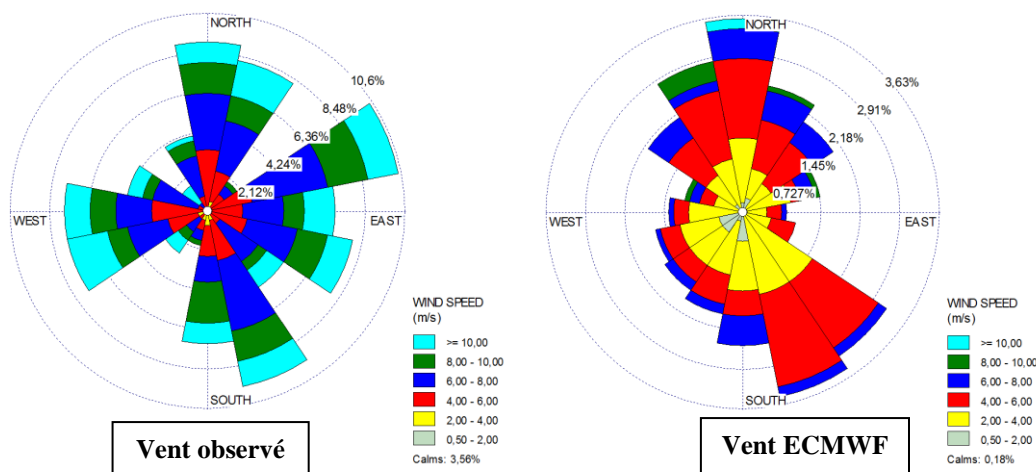


Fig IV.26. Roses du vent observé et ECMWF de Hassi R'mel à 12h.

On constate d'après les deux roses du vent (Fig.IV.26) que les vents dominants qui soufflent à 12h à Hassi R'mel sont de secteur Nord que soient pour le vent observé ou pour le vent de l'ECMWF.

IV-5-6- Les Classes des vitesses du vent de Ghardaïa et de Hassi R'mel à 12h

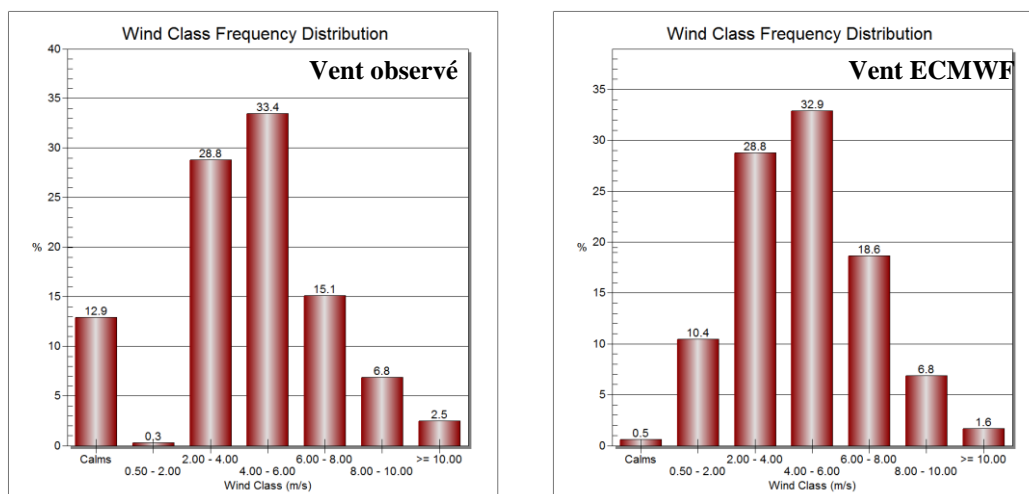


Fig IV.27. Les classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF de Ghardaïa à 12h.

On constate d'après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.27) que la classe [4 , 6] est la classe la plus fréquente à 12h dans les deux cas, car après le réchauffement du sol à 12h la turbulence débutera au niveau de la CLA.

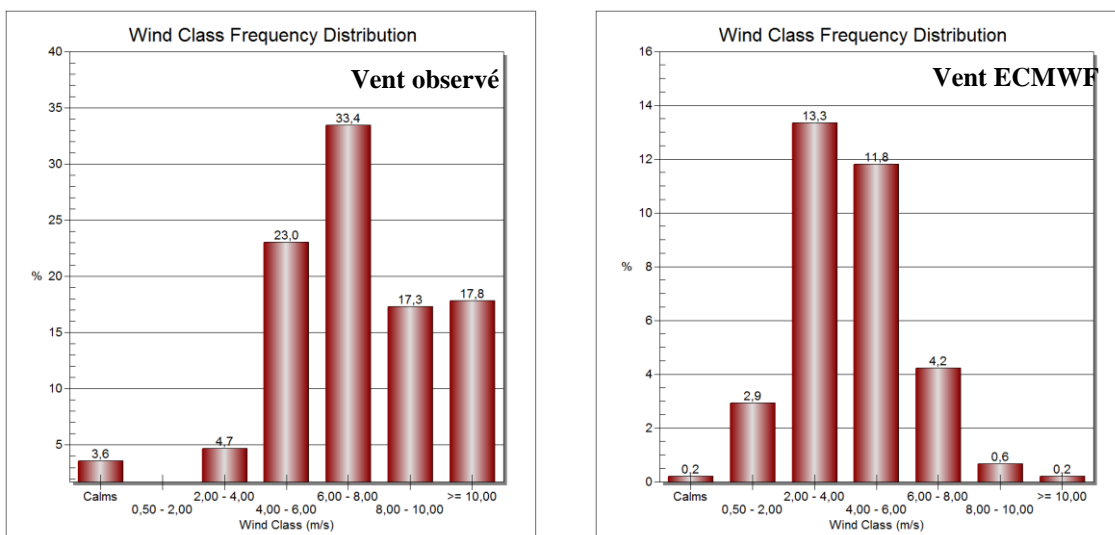


Fig IV.28. Les classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF de Hassi R'mel à 12h.

On constate d'après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.28) que la classe [4 , 6] est la classe le plus fréquente à 12h dans les deux cas, car après le réchauffement du sol à 12h la turbulence débutera au niveau de la CLA.

IV-5-7-Les roses du vent observé et ECMWF de Ghardaïa et Hassi R'mel à 18 h

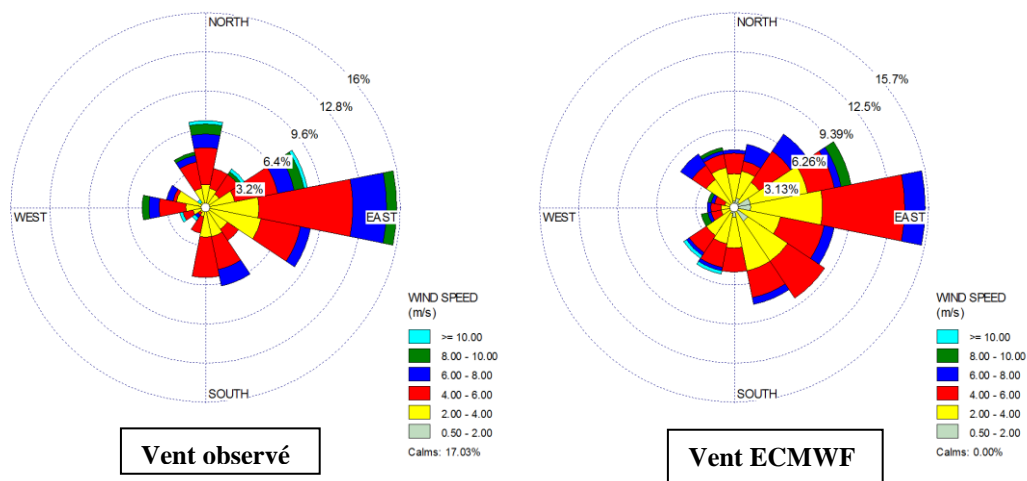


Fig IV.29. Roses du vent observé et ECMWF de Ghardaia à 18h.

On constate d'après les deux roses du vent (Fig.IV.29) que les vents dominants qui soufflent à 18h à Ghardaïa sont de secteur Est et sont reproduits d'une manière satisfaisante par les ré-analyses ECMWF.

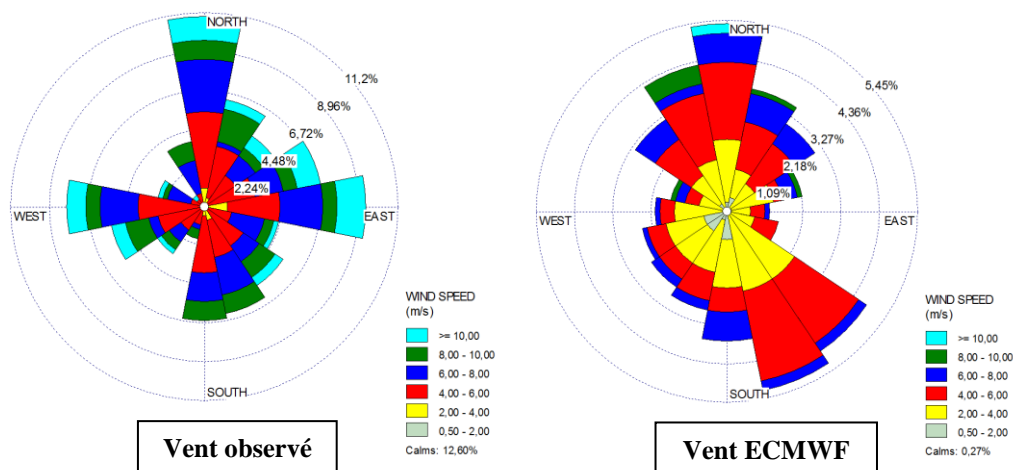


Fig IV.30. Roses du vent observé et ECMWF de Hassi R'mel à 18h.

On constate d'après les deux roses du vent (Fig.IV.30) que les vents dominants qui soufflent à 18h à Hassi R'mel sont de secteur Nord que soient pour le vent observé ou pour le vent de l'ECMWF. Cependant une composante du secteur est inexistante dans les ré-analyses ECMWF.

IV-5-8- Les Classes des vitesses du vent de Ghardaïa et de Hassi R'mel à 18h

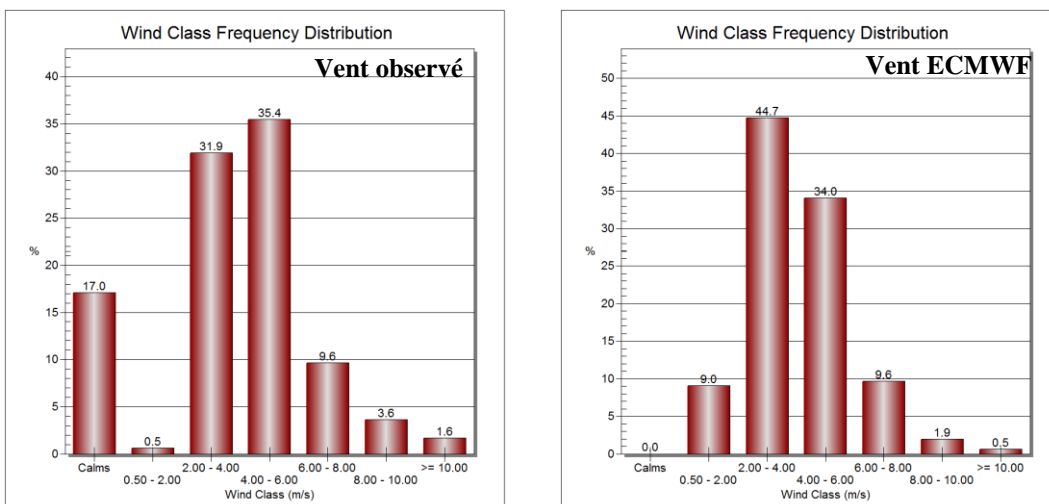


Fig IV.31. Les classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF de Ghardaia à 18h.

On constate d'après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.31) que les classes [2 , 4] et [4 , 6] sont les classes les plus fréquentes à 18h dans les deux cas, car à cette heure de la journée commence l'inversement de la température qui engendre une turbulence au niveau de la CLA.

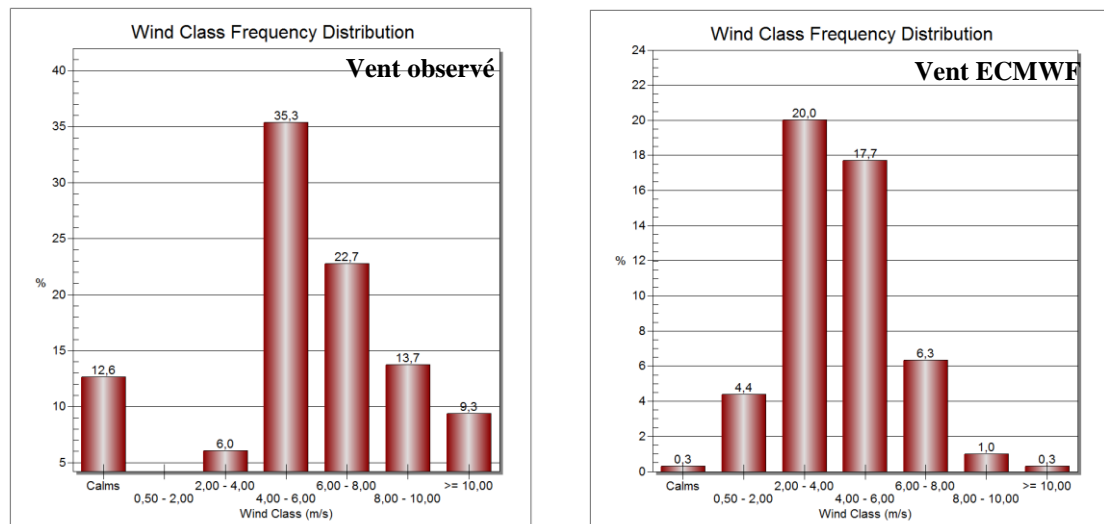


Fig IV.32. Les classes des vitesses du vent observé et de l'ECMWF de Hassi R'mel à 18h.

On constate d'après les deux graphes des classes des vitesses du vent (Fig.IV.32) que les classes [4 , 6] et [6 , 8] sont les classes les plus fréquentes à 18h dans observé et les classes les plus fréquentes dans Ecmwf sont [2 , 4] et [4 , 6] , car à cette heure de la journée commence l'inversement de la température qui engendre une turbulence au niveau de la CLA.

IV-6- Régime spatial du vent

Pour étudier le comportement des données ré- analysées et leur capacité à reproduire dans l'espace les champs de vent observés nous avons choisi deux station voisines avec une topographie différente. Le régime du vent dominant et de secteur nord à nord Est pour les deux localités .une bonne concordance est enregistrée entre magnitude du vent observé et ré-analysée malgré une accélération des vents observés qui sont sous-estimés par les ré-analyses ECMWF au niveau de Hassi R'mel due problemement à la nature du terrain environnant (topographie).On note l'apparition d'un flux dominant de sud-est pour les ré-analyses ECMWF la nuit pour les deux stations qui est inexistant dans les observations. Ceci peut être du à l'emplacement des mats devant dans un couloir d'air (corridor) ou en présence d'obstacle.

IV-7 Les tests statistiques

IV-7-1- Les formules

- La bias=SOMME $[x(ECMWF) - (OBS)] / N$

N: Nombre d'observation.

Pour le biais tri horaire N=365

Pour le biais totale N= 365*4=1460

- $RMSE = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{N} \right) \left(\sum X_{ecmwf} - \sum X_{obs} \right)^2 \right]}$

- $STD = \sqrt{\left[(RMSE)^2 - (OBS)^2 \right]}$

Sqrt=la Racine carrée

IV-7-2- Les tests statistiques de Hassi R'mel

	00h	06h	12h	18h	Globale
Biais	-0,21	-1,03	-2,06	-1,57	-0,95
RMSE	2,69	2,52	2,82	2,65	2,76
STD	2,68	2,3	1,92	2,14	2,6

Tab. IV.12 : Les tests statistiques de Hassi R'mel .

On constate d'après les tests statistiques (Tab.IV.12) que le Biais < 0, c'est qui signifié que les données de Hassi R'mel sont sous-estimées.

IV-7-3- Les tests statistiques de Ghardaïa

	00h	06h	12h	18h	Globale
Biais	1.66	1.33	0.64	0.24	1.06
RMSE	2.31	2.25	2.39	2.03	2.22
STD	1.61	1.82	2.3	2.01	2.05

Tab. IV.13 : Les tests statistiques de Ghardaia.

On constate d'après les tests statistiques (Tab.IV.13) que le Biais > 0, c'est qui signifié que les données de Ghardaïa sont surestimées.

IV-7-4- Les corrélations entre le vent observé et ECMWF à Ghardaïa (00h, 06h, 12h et 18h)

La corrélation linéaire (r) ou coefficient de Person exprime le degré de liaison entre deux variables (x et y). Elle est exprimée par la relation suivante :

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma(x)\sigma(y)}$$

Où $\text{cov}(x, y)$, désigne la covariance entre les deux variables x et y , $\sigma(x)$ et $\sigma(y)$ sont leurs écarts types.

Le coefficient de corrélation est toujours compris entre [1 et -1].

Si $r < 0$: x et y varient dans la même sens.

Si $r > 0$: x et y varient en sens inverse.

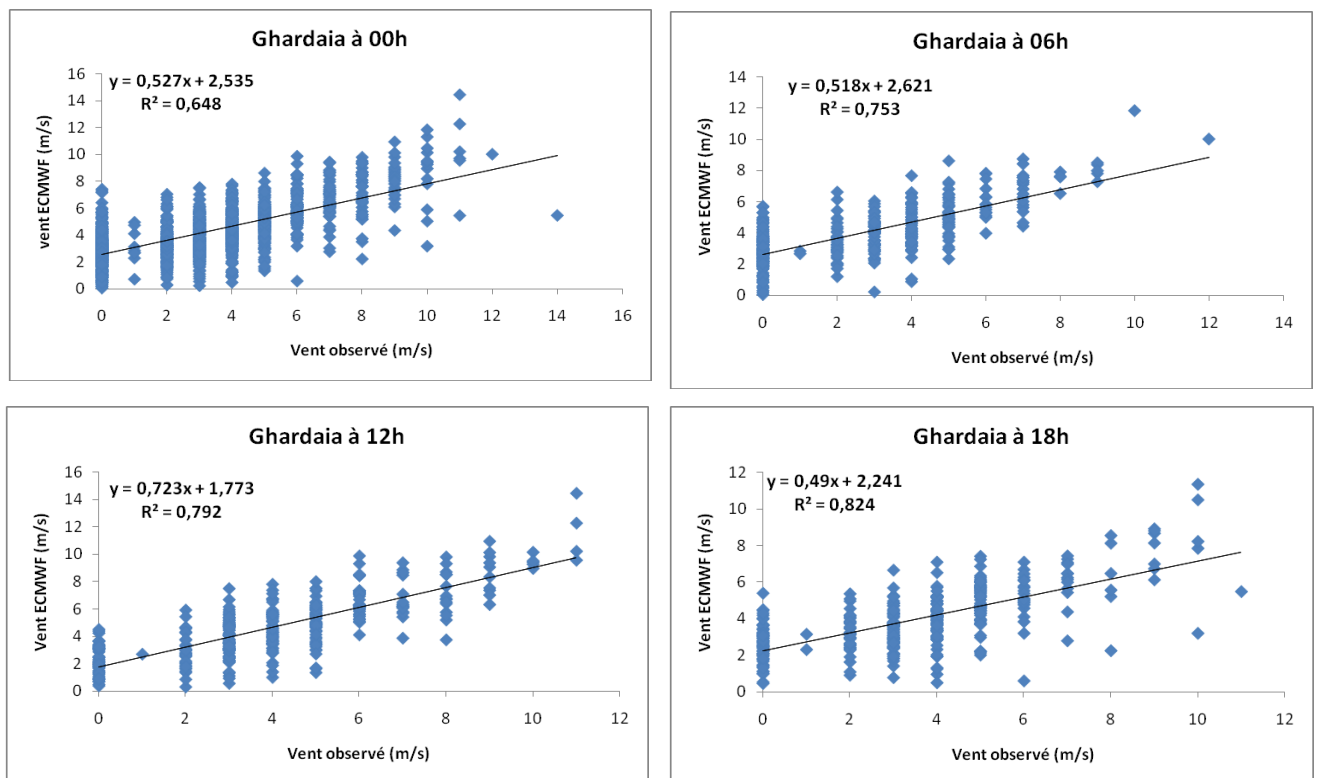


Fig.IV.33. Corrélation entre le vent observé et ECMWF à Ghardaïa (00h, 06h, 12h et 18h)

Dans la Fig. IV.33 sont reportées les valeurs du vent de ré-analysées l'ECMWF en fonction des valeurs du vent observé à Ghardaïa. Ces valeurs sont représentées se forme des nuages de points à 00h, 06h, 12h et 18h. On remarque une forte corrélation ($r=0.86$) entre les valeurs observées et ré-analysées .cette corrélation varié au cour du temps de $r=0.80$ à 00h jusqu'à $r=0.90$ à 18h.

IV-7-5- Les corrélations entre le vent observé et ECMWF à Hassi R'mel (00h, 06h, 12h et 18h)

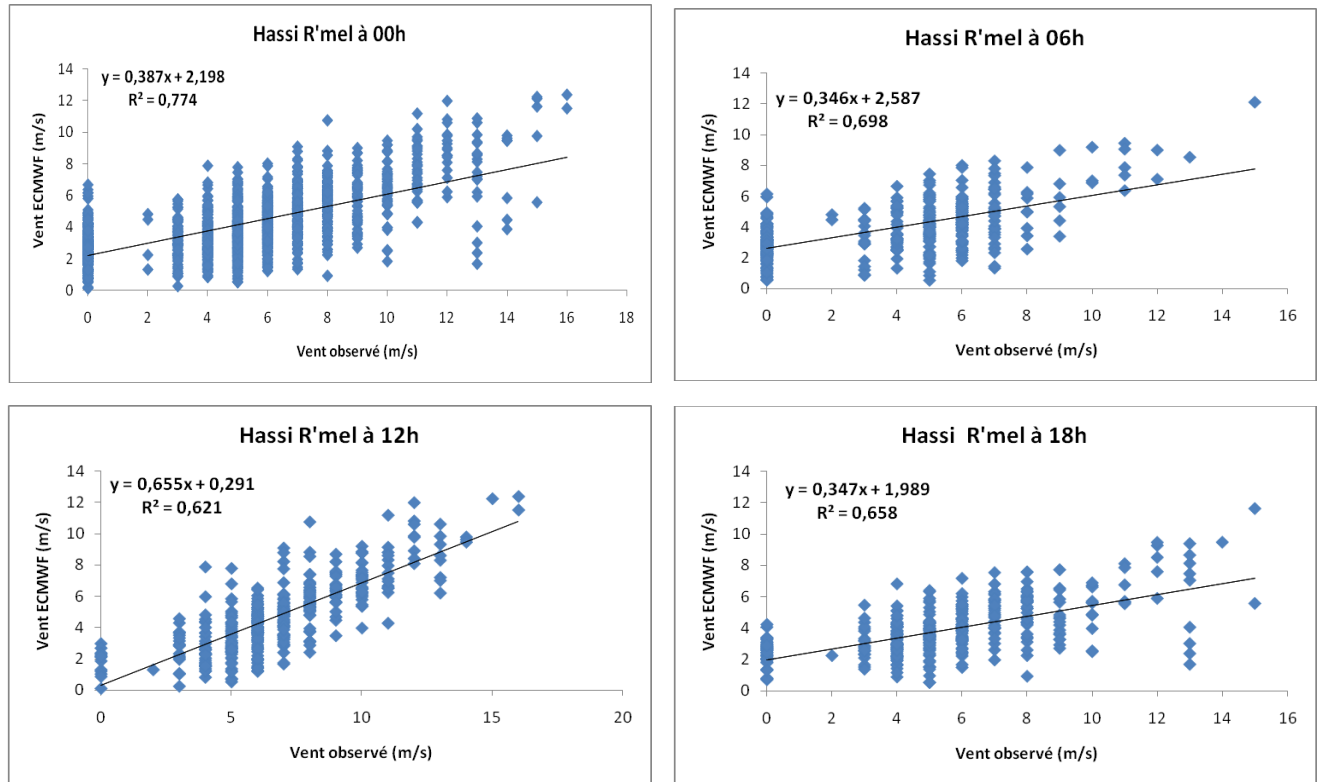


Fig.IV.34. Corrélation entre le vent observé et ECMWF à Hassi R'mel (00h, 06h, 12h et 18h)

Dans la Fig. IV.34 sont reportées les valeurs du vent de ré-analysées l'ECMWF en fonction des valeurs du vent observé à Hassi R'mel. Ces valeurs sont représentées se forme des nuages de points à 00h, 06h, 12h et 18h. On remarque une forte corrélation ($r=0.82$) entre les valeurs observées et ré-analysées .cette corrélation varié au cour du temps de $r=0.78$ à 12h jusqu'à $r=0.86$ à 00h.

Conclusion et perspective

Le vent est élément important dans la caractérisation du climat. Malheureusement il est aussi un élément dont l'étude s'avère très complexe, car plusieurs paramètres y interviennent tel que la mesure de la vitesse du vent et de sa direction, l'effet de la rugosité du sol, l'effet des obstacles, l'effet de la stabilité de l'atmosphère, etc.....

Une étude comparative entre des données ré-analysées du vent en surface à 10 m du centre européen ECMWF et les données observées dans deux stations météorologiques Ghardaïa et Hassi R'mel pour l'année 2011 a été réalisée.

L'analyse des résultats obtenus fait ressortir les conclusions suivantes :

- Globalement les données ré-analysées ECMWF reproduise le régime spatio-temporel du vent observé dans toute la région.
- Le régime annuel de Nord à Nord-est bien reproduit dans toute la région (les deux stations).
- Les classes de vitesses du vent ré-analysées le plus fréquent dans les deux stations concordent bien avec les données observées.
- La tendance mensuelle des vitesses au niveau des ré-analysées ECMWF est concordent bien avec les observations au niveau de deux stations malgré une surestimation des vitesses à Ghardaïa et sous-estimation des vitesses à Hassi R'mel.
- Par ailleurs, les tests statistiques effectués confirment les résultats obtenus auparavant à savoir une surestimation du vent à Ghardaïa (biais =1m/s) et sous-estimation du vent au niveau de Hassi R'mel (biais=-1 m/s). Cependant les ré-analysées ECMWF restent une bonne alternative pour combler les lacunes en matière d'observation vu les bonnes corrélations enregistrées dans deux régions ($r=0.86$ à Ghardaïa et $r=0.82$ à Hassi R'mel).

Finalement Il est nécessaire dans les prochaines études du vent d'élargir le domaine et la période d'étude à d'autres localités pour améliorer d'avantage la variabilité spatio-temporel du vent.

Références bibliographiques

- [1] Berrisford et al, 2011, The ERA-Interim archive Version 2.0, Era report serie,European Centre for Medium Range Weather Forecasts.
- [2] BOUDIA.S.M,2009,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 Aboubaker belkaid Tlemcen, pp20.
- [3] Denis.B et V. Parades,2007, L'énergie éolienne, Projet de machine thermiques, INSA, Lyon, pp.15.
- [4] Durisic.Z, J.Mikulovic,2012,Assessment of the wind energy resource in the South Banat region, Serbia, Renewable and Sustainable Energy Reviews 3014-3023.
- [5] Fichaux.N,2003, Evaluation Du Potentiel Eolien Offshore Et Imagerie Satellitale,Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, pp.13.
- [6] Garatt J.R., 1992. The atmospheric boundary layer. Cambridge University Press, Royaume Uni, pp. 334.
- [7] Hélène Côté, 14 septembre 2015, Que sont les ré-analyses?, Foire aux questions, Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques.
- [8] Hewitt C. N., Andrea V. Jackson, 2003, Handbook of atmospheric science: principles And applications, Wiley-Blackwell, pp.633.
- [9] Jean- Christain,2004,Les energies renouvelables, Deuxième edition réactualisée par Système Solaire, pp.41.
- [10] Kalnay.E ,mars 1996, « The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project », Bull. Amer. Meteor. Soc., American Meteorological Society, pp. 437–471.
- [11] Kasbadji Merzouk,2006, Evaluation du gisement énergétique éolien. Contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie,Thèse de doctorat Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Unité de Recherche Matériaux et Energies Renvouvelab URMER Tlemcen,pp.8.

- [12] Nigam et A. Ruiz-Barradas, 2006, « Seasonal Hydro climate Variability over North America in Global and Regional Ré-analyses and AMIP Simulations: Varied Representation », *J.Climate*, American Meteorological Society, pp. 815–837.
- [13] Paul Gipe, 2004, *Le Grand Livre de l'Eolien*, Edition Le Moniteur, pp.26.
- [14] Peter Lynch, juin 2004, *Richardson's forecast: What went wrong?* , NOAA— Une analyse du premier essai de prévision de Richardson.
- [15] Prandtl.L, August 1904, *Über die Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung*. *Verhandlgn.d. Math. Kongr. Heidelberg*, PP.485–491.
- [16] Putnam, P.C., 1948 : *Power from the wind*. Van Nostrand Co., Inc., New York, PP.224.
- [17] Rapin.M, J.M. Noël, Paris, 2010, *Energie Eolienne – Principes - Études de cas*, Dunod.
- [18] Stull.R.B, *An introduction to boundary layer meteorology*. Kluwer Academic Publishers, Pays Bas, pp. 680, ISBN 90-277-2768-6, 1988.
- [19] Trenberth.K.E, D. P. Stepaniak, J. W. Hurrell et M. Fiorino, avril 2001, « Quality of Reanalyses in the Tropics. », *J. Climate*, American Meteorological Society, pp. 1499–1510.
- [20] Triplet.J.P, G. Roche, 1977, *Météorologie générale*, seconde édition, Editions de la Météorologie Nationale, France, pp. 317.
- [21] Uppala.S, 2005, « The ERA-40 Re-Analysis », *Quarterly Journal, Roy. Meteor. Soc.* pp. 2961–3012.
- [22] WMO 2008, World Meteorological Organisation. *Guide to meteorological instruments and methods of observation.* , No. 8, 7th edition, pp15-9.
- [23] G.Mégie et V.H Peuch, Belin, 2005, « *Physique et chimie de l'atmosphère* », sous la direction de R. Delmas.
- [24] S. Malardel, Cépaduès, 2005, « *Fondamentaux de météorologie. A l'école du temps* ».
- [25] Dominique Lambert

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو التحقق من قدرة إعادة تحليل بيانات الأرصاد الجوية ECWMF للمركز الأوروبي على إعادة إنتاج سلوك الزمكان لحقل الرياح السطحية على منطقة قاحلة. لهذا يتم إعادة تحليل البيانات من الرياح على 10 م والتصديق عليها من قبل بيانات القياسات الملاحظة كل ساعة في كل من محطات غرداية وحاسي الرمل لعام 2011 من قبل الاختبارات الإحصائية التحيز bias ، RMSE و STD. النتائج التي يتم الحصول عليها تسمح لنا بملاءمة الفجوة من حيث بيانات الرياح في المناطق القاحلة.

الكلمات المفتاحية الرياح، إعادة التحليل، ECMWF، الاختبارات الإحصائية، غرداية وحاسي الرمل.

Résumé :

L'objectif de ce présent travail est l'investigation de la capacité des données météorologiques ré-analysées ECWMF du centre européen à reproduire le comportement spatio-temporel du champ de vent en surface sur une région aride. Pour cela, les données ré-analysées du vent à 10 m sont analysées et validées par les données de mesures horaires observées au niveau des deux stations de Ghardaïa et Hassi R'mel pour l'année 2011 par le biais de tests statistiques biais, RMSE et le STD. Les nous permettre de combler le manque en matière de données du vent dans les résultats obtenus vont régions arides.

Mots clés: Vent, Ré-analyse, ECMWF, Tests statistiques, Ghardaïa et Hassi R'mel.

Abstract:

The objective of this work is to investigate the capacity of ECWMF reanalysis data of the European center to reproduce the spatio-temporal behavior of the surface wind field over an arid region. For this purpose, the reanalysis 10 m wind data are analyzed and validated by the hourly measurement data observed at the two stations of Ghardaïa and Hassi R'mel for the year 2011 by applying statistical matrices bias, RMSE and The standard deviation. The results obtained will enable us to fill the gap in wind data in arid regions.

Key words: Wind, RE analysis, ECMWF, statistical tests, Ghardaïa and Hassi R'mel.