République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE MATIERE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER en PHYSIQUE ENERGETIQUE et ENERGIES RENOUVELABLES

Thème

Etude des paramètres météorologiques intervenant dans la simulation d'un parc éolien - Cas du site d'Adrar

Soutenu le : 22 / 05 / 2017

Présenté par :

- AKRABOU Omar
- AICHAOUI Belkheir

Promoteur :	Mr B. OMARI	maître assistant A	Univ. Adrar
Président :	Mr. A. NANI	maître assistant A	Univ. Adrar
Examinateur :	Mr T. BOUSSOUKAIA	maître de conférences B	Univ. Adrar
Invité :	Mr. R. MAOUEDJ	maître de recherche	URAR/Adrar

2016/2017

Remerciements

** Nous remercions tout d'abord notre **Dieu** de nous donner la santé et la patience pour réaliser le travail imposé et pour avoir terminé ce mémoire.*

** Nous avons tout à exprimer mes profondes reconnaissance à monsieur **B. OMARI** maître assistant à l'Université d'Adrar, qui a assuré la direction de ce travail afin de finaliser se mémoire, pour son suivi et ses conseils judicieux.*

** Même nous remercions Mr A. NANI, Maître assistant à l'université d'Adrar, d'avoir accepté de présider le jury. Nos vifs remerciements à Mr T. Boussoukaia, Maître de conférences à l'université d'Adrar d'avoir accepté d'examiner ce travail, et même monsieur Mr. R. MAOUEDJ.*

** A tous les profs qui ont encadrée et tous ceux qu'ont les connaissent au niveau d'université d'Adrar.*

** Un très grand et très spécial merci à nos parents, et à toutes mes familles.*

** Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

BELKHEIR ***OMAR***

Dédicace

À mes parents.

À toute mes frères et toute ma famille.

Aussi, tous les profs et les collègues d'étude et tous mes amis.

OMAR

© Ladie Lynn

Dédicace

A ma mère qui été pour mon corps mieux qu'un cœur;

A mon cher père qui à sacrifié son temps pour nous ; A ma belle grande mère ;

A mes frères : Mohamed, Aissa, Yassine;

A mes sœurs : nouer El-Houda, Assia, Rania.

A mes oncles, mes tantes ;

A toute ma famille ;

A mon collègue de travail : Omar,

A mes collègues des études ; Et à tous mes amis.

BELKHEIR

Table des matières

Liste des figures

Liste des symboles

Introduction générale 1

Chapitre I: Généralités sur les systèmes éoliens

I-1 Introduction..... 3

I-2-Historique 4

I-3-Définition de l'énergie éolienne 5

I-4-Les différents types d'éoliennes 6

I-4-1-Les éoliennes à axe horizontal 6

I-4-2- Les éoliennes à axe vertical 7

I-5-Principe de fonctionnement 8

I-5-1 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur (à axe horizontal) 8

I-5-2 -Caractéristiques technologiques des éoliennes 9

I-5-3 Bilan des forces sur une pale..... 11

I-6 -Puissance fournie par un aérogénérateur 12

I-6-1- Potentiel éolien disponible 12

I-6-2-La puissance moyenne récupérable 12

I-7- Régulation mécanique de la vitesse de l'éolienne 15

I-8- Critère de choix d'un potentiel éolien 16

I-8-1 -Le vent 17

I-9-Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne 17

I-9-1-les avantages 17

I-9-2- Les inconvénients 18

I-10-L'énergie éolienne dans le monde 19

Bibliographie..... 21

Chapitre II : Evolution de la température et de la pression sur site d'Adrar

II.1. Introduction 23

II.2. Evolution de la température dans le site d'Adrar 23

II.2.1-La température durant l'année 2014 23

II.2.2-La température durant quelques mois de l'année 2015 27

II.3. Evolution de la pression sur le site d'Adrar 29

II.3.1-La Pression durant l'année 2014 29

II.3.2-La pression durant quelques mois de l'année 2015 33

II.4. Discussion des résultats 34

II.5. Conclusion 35

Bibliographie 35

Chapitre III : Evolution de l'humidité et de la vitesse du vent sur site d'Adrar

III.1.Evolution de l'humidité dans le site d'Adrar 36

III.1.1.Introduction 36

III.1.2.Les résultats 37

III.1.3.La Discussion des résultats 41

III.2. Evolution de la vitesse du vent sur site d'Adrar 41

III.2.1.Introduction 41

III.2.2.Vitesse du vent mensuelle dans le site d'Adrar 42

III.2.2.1- Pour l'année 2013 42

III.2.2.2- Pour l'année 2014 46

III.2.2.3-Quelque mois de l'année 2015 50

III.2.3.La discussion des résultats 51

III.3.Conclusion 52

Bibliographie 52

Chapitre IV : Influence des paramètres météorologiques sur l'énergie éolienne

IV.1.Introduction 53

IV.2.Puissance éolienne du vent pour une densité constante 53

IV.3.Influence de la pression et de la température sur la puissance éolienne 53

IV.4.Influence de la pression, de la température et de l'humidité sur la puissance éolienne 54

IV.5.Résultats et Discussion 55

IV.6. Conclusion 59

Bibliographie 59

Conclusion générale 59

ANNEXES

Liste des figures :

	Chapitre I	
Figure I-1	L'utilisation de l'énergie éolienne par l'homme est ancienne. Moulins dans la région de La Mancha, Espagne.	04
Figure I-2	conversion de l'énergie cinétique du vent	05
Figure I-3	configuration à axe horizontal	06
Figure I-4	éolienne de type Darrieus et Savonius	07
Figure I-5	les composantes de l'aérogénérateur	08
Figure I-6	forces appliquées sur un élément de pale	11
Figure I-7	tube de courant autour d'une éolienne	13
Figure I-8	coefficient de puissance	14
Figure I-9	coefficient de puissance en fonction de la vitesse normalisée λ pour différents types de turbines	14
Figure I-10	diagramme de la puissance sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.	16
Figure I-11	Part de l'énergie éolienne installée dans les différents continents	20
	Chapitre II	
Figure II-1	Evolution de la température durant le mois de Janvier 2014	23
Figure II-2	Evolution de la température durant le mois de Février 2014	24
Figure II-3	Evolution de la température durant le mois de Mars 2014	24
Figure II-4	Evolution de la température durant le mois d'Avril 2014	24

Figure II-5	Evolution de la température durant le mois de Mai 2014	25
Figure II-6	Evolution de la température durant le mois de Juin 2014	25
Figure II-7	Evolution de la température durant le mois de Juillet 2014.	25
Figure II-8	Evolution de la température durant le mois d'Août 2014	26
Figure II-9	Evolution de la température durant le mois de Septembre 2014	26
Figure II-10	Evolution de la température durant le mois d'Octobre 2014	26
Figure II-11	Evolution de la température durant le mois de Novembre 2014	27
Figure II-12	Evolution de la température durant le mois de Décembre 2014	27
Figure II-13	Evolution de la température durant le mois de Janvier 2015	27
Figure II-14	Evolution de la température durant le mois de Février 2015	28
Figure II-15	Evolution de la température durant le mois de Mars 2015	28
Figure II-16	Evolution de la température durant le mois d'Avril 2015	28
Figure II-17	Variation de pression durant le mois Janvier 2014	29
Figure II-18	Variation de pression durant le mois Février 2014	29
Figure II-19	Variation de pression durant le mois Mars 2014	29
Figure II-20	Variation de pression durant le mois Avril 2014	30
Figure II-21	Variation de pression durant le mois Mai 2014	30
Figure II-22	Variation de pression durant le mois Juin 2014	30
Figure II-23	Variation de pression durant le mois Juillet 2014	31

Figure II-24	Variation de pression durant le mois Août 2014	31
Figure II-25	Variation de pression durant le mois Septembre 2014	31
Figure II-26	Variation de pression durant le mois Octobre 2014	32
Figure II-27	Variation de pression durant le mois Novembre 2014	32
Figure II-28	Variation de pression durant le mois Décembre 2014	32
Figure II-29	Variation de pression durant le mois Janvier 2015	33
Figure II-30	Variation de pression durant le mois Février 2014	33
Figure II-31	Variation de pression durant le mois Mars 2015	33
Figure II-32	Variation de pression durant le mois Avril 2015	34
	Chapitre III	
Figure III-1	Evolution de l'humidité durant le mois de Janvier 2014	37
Figure III-2	Evolution de l'humidité durant le mois de Février 2014	37
Figure III-3	Evolution de l'humidité durant le mois de Mars 2014	38
Figure III-4	Evolution de l'humidité durant le mois d'Avril 2014	38
Figure III-5	Evolution de l'humidité durant le mois de Mai 2014	38
Figure III-6	Evolution de l'humidité durant le mois de Juin 2014	39
Figure III-7	Evolution de l'humidité durant le mois de Juillet 2014	39
Figure III-8	Evolution de l'humidité durant le mois d'Août 2014	39
Figure III-9	Evolution de l'humidité durant le mois de Septembre 2014	40
Figure III-10	Evolution de l'humidité durant le mois d'Octobre 2014	40
Figure III-11	Evolution de l'humidité durant le mois de Novembre 2014	40

Figure III-12	Evolution de l'humidité durant le mois de Décembre 2014	41
Figure III-13	Variation journalière de la vitesse du vent Janvier 2013	42
Figure III-14	Variation journalière de la vitesse du vent Février 2013	42
Figure III-15	Variation journalière de la vitesse du vent Mars 2013	43
Figure III-16	Variation journalière de la vitesse du vent Avril 2013.	43
Figure III-17	Variation journalière de la vitesse du vent Mai 2013.	43
Figure III-18	Variation journalière de la vitesse du vent Juin 2013	44
Figure III-19	Variation journalière de la vitesse du vent Juillet 2013	44
Figure III-20	Variation journalière de la vitesse du vent Août 2013	44
Figure III-21	Variation journalière de la vitesse du vent Septembre 2013	45
Figure III-22	Variation journalière de la vitesse du vent Octobre 2013	45
Figure III-23	Variation journalière de la vitesse du vent Novembre 2013	45
Figure III-24	Variation journalière de la vitesse du vent Décembre 2013	46
Figure III-25	Variation journalière de la vitesse du vent Janvier 2014	46
Figure III-26	Variation journalière de la vitesse du vent Février 2014	46
Figure III-27	Variation journalière de la vitesse du vent Mars 2014	47
Figure IIi-28	Variation journalière de la vitesse du vent Avril 2014	47
Figure III-29	Variation journalière de la vitesse du vent Mai 2014	47
Figure III-30	Variation journalière de la vitesse du vent Juin 2014	48
Figure III-31	Variation journalière de la vitesse du vent Juillet 2014	48
Figure III-32	Variation journalière de la vitesse du vent Août 2014	48

Figure III-33	Variation journalière de la vitesse du vent Septembre 2014	49
Figure III-34	Variation journalière de la vitesse du vent Octobre 2014	49
Figure III-35	Variation journalière de la vitesse du vent Novembre 2014	49
Figure III-36	Variation journalière de la vitesse du vent Décembre 2014	50
Figure III-37	Variation journalière de la vitesse du vent Janvier 2015	50
Figure III-38	Variation journalière de la vitesse du vent Février 2015	50
Figure III-39	Variation journalière de la vitesse du vent Mars 2015	51
Figure III-40	Variation journalière de la vitesse du vent Avril 2015	51
	Chapitre IV	
Figure IV-1	Evolution de α_1 en fonction de T à P constante (Août)	55
Figure IV-2	Evolution de α_1 en fonctione de T à P constante (Décembre).	55
Figure IV-3	Evolution de α_1 en fonction de P à T constante (Août)	56
Figure IV-4	Evolution de α_1 en fonction de P à T constante (Décembre).	56
Figure IV-5	Evolution de α_2 en fonction de Hr à P et T constante (Décembre).	57
Figure IV-6	Evolution de α_2 en fonction de Hr à P et T constante (Décembre).	57
Figure IV-7	Evolution de α_2 en fonction de P à T constante (Août).	58

Liste des symboles :

C_L	Coefficient de portance
C_D	Coefficient de traînée
Cz	Coefficient de portance suivant le plan de rotation
Cx	Coefficient de poussée
W	Module du vent apparent
ρ	Densité d'aire
$P_{réc}$	La puissance moyenne récupérable
P_{disp}	La puissance disponible
P_{sat}	La pression de saturation
Ω	Vitesse angulaire du rotor de l'éolienne
Cp	Le coefficient de puissance
C_T	Le coefficient de couple
λ	La vitesse relative
Pn	Puissance nominale
Vn	Vitesse de vent nominale
Vm	Vitesse d'arrêt de la machine
Vd	Vitesse de démarrage
P	La pression atmosphérique
Ps	La puissance éolienne de l'air sec
Rs	la constante spécifique de l'air sec

α_1 (P,T)	Coefficient traduisant l'influence de la pression et de la température sur la puissance éolienne.
H_r	Humidité relative
ρ_0	Masse volumique de l'aire sec
T	Température
$P_h(P,T,H_r)$	Puissance éolienne de vent humide
α_2 (P,T,H_r)	Coefficient traduisant l'influence de l'humidité, de la pression et de la température sur la puissance éolienne

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La consommation énergétique mondiale évolue rapidement dans toutes les régions du monde. Cette évolution va continuer à cause de l'augmentation de la population mondiale. Les sources d'énergies existantes n'arrivent plus à satisfaire la demande et de plus elles diminuent de jour en jour. Ainsi, les énergies renouvelables sont celles qui vont s'imposer bientôt à cause de la facilité de leurs exploitations.

Elles sont devenues une forme d'énergie indispensable par leur souplesse, la simplicité d'utilisation et la multiplicité des domaines d'activités où elles sont appelées à jouer un rôle.

Ces modes de production ainsi que les moyens de distribution associés sont influencés par plusieurs paramètres tels que: la pression atmosphérique, l'humidité relative, la température, la vitesse du vent... [1, 2, 3].

La maîtrise de ces énergies devient une nécessité. Ceci amène beaucoup de chercheurs à réfléchir sur l'amélioration de ces énergies renouvelables.

L'une d'elles est l'énergie éolienne qui utilise la force du vent. Le vent est un phénomène aérodynamique par nature très complexe. Par suite de la variabilité des très nombreux paramètres qui le gouvernent, sa vitesse horizontale instantanée présente un caractère spatio-temporel fluctuant qui justifie des considérations spectrales. Une approche simple qui est valable pour les zones climatiques sahariennes.

L'objectif de ce travail, réalisé à Adrar, au grand sud d'Algérie, est de voir l'impact des paramètres météorologiques que sont : la pression atmosphérique, l'humidité relative de l'air et la température sur le potentiel énergétique éolien disponible sur le site ainsi que leurs influences sur la puissance énergétique délivrée par le système éolien étudié dans le site.

Notre manuscrit sera réparti en quatre chapitres :

Après une introduction générale, le premier chapitre sera consacré à des généralités sur l'énergie éolienne et son développement depuis sa naissance.

Dans le deuxième et le troisième chapitre on va présenter l'évolution, sur site d'Adrar, des différents paramètres météorologiques intervenant dans les études sur le choix des sites d'implantation des parcs éoliens.

Le dernier chapitre sera consacré à l'étude et la simulation de l'influence des paramètres étudiées précédemment sur la puissance éolienne délivrée sur le site d'étude.

On terminera notre travail par une conclusion générale.

[1] M.M. Ayiagnigni Gbambié, 'Analyse Statistique de Données de Vent Côtier au Nord du Golfe de Guinée', Rapport de Master, CIPMA/FAST/UAC/2012, pp 1-43.

[2] S.M. El Moustapha, M.L. Ndiaye, P.A. Ndiaye, A.K.O. Mahmoud et I. Youm, 'Influence des Paramètres Météorologiques sur la Production d'un Aérogénérateur: Application sur le Littoral Sahélien', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°1, pp. 43 – 54, 2014.

[3] A.M. Houekpohéha, B. Kounouhéwa, B.N. Tokpohozin et N. Awanou, 'Estimation de la Puissance Energétique Eolienne à Partir de la Distribution de Weibull sur la Côte Béninoise à Cotonou dans le Golfe de Guinée', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°3, pp. 489 – 495, 2014.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES SYSTEMES EOLIENS

Chapitre I: Généralités sur les systèmes éoliens

I-1 Introduction:

Depuis l'utilisation du moulin à vent, la technologie des capteurs éoliens n'a cessé d'évoluer. C'est au début des années quarante que de vrais prototypes d'éoliennes à pales profilées ont été utilisés avec succès pour générer de l'électricité. Plusieurs technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal). L'énergie éolienne est une ressource d'origine solaire, provient du déplacement des masse d'air qui est du indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autre une différence de pression est crée et la masse d'air est en perpétuel déplacement. Environ 0,25% du rayonnement solaire total est converti en énergie éolienne. L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). L'énergie éolienne est devenue aujourd'hui une réalité. Elle est en plein développement en terme de puissance installée dans le monde .Plusieurs facteurs ont contribué et contribuent encore à son essor :

- L'énergie éolienne est propre : les éoliennes n'engendrent aucune pollution. Elle ne rejette aucune substance dangereuse dans l'environnement et n'engendre aucun déchet. L'utilisation d'une turbine de 1000 kW, dans des conditions normales, évite un rejet annuel de 2000 tonnes de dioxyde de carbone émis par d'autres sources de production d'électricité, comme par exemple les centrales électriques à charbon.
- L'énergie éolienne est abondante : le vent est inépuisable, Il constitue donc une véritable ressource renouvelable.
- L'énergie éolienne est prometteuse : l'énergie éolienne est actuellement la moins chère de toutes les énergies renouvelables existantes. Une étude faite en 2003 sur l'état de l'art de l'éolien montre que le coût à cette époque du kilowattheure (kWh) d'origine éolien était de 3.79 cent €/kWh [1]. Le développement de l'éolien permettra de réduire encore ce coût. Si les objectifs sont atteints, le prix diminuerait à 3.03 cent €/kWh en 2010, et à 2.45 cent €/kWh en 2020.
-L'énergie éolienne est la source d'énergie renouvelable la plus fiable : une éolienne a un taux de disponibilité matérielle de plus de 98%.

Le Tableau I-1 présente l'évolution durant les dernières années de la puissance éolienne installée dans les principaux pays. [2]

Tableau I-1 : puissance installée d'origine éolienne dans les principaux pays [2]

Pays	2000 (MW)	2002 (MW)	2004 (MW)
Allemagne	5430	12001	16629
USA	2550	4708	6740
Espagne	2250	4144	8263
Danemark	2140	2889	3117
Inde	1167	1702	3000
Italie	350	785	1125
Pays-Bas	449	677	1078
Grande-Bretagne	391	562	888
Chine	302	399	764
France	69	153	416

I-2-Historique:

Figure I-1:L'utilisation de l'énergie éolienne par l'homme est ancienne. Moulins dans la région de La Mancha, Espagne.

Pendant des siècles, l'énergie éolienne a été utilisée pour fournir un travail mécanique. L'exemple le plus connu est le moulin à vent utilisé par le meunier pour transformer le blé en

farine, on peut aussi citer les nombreux moulins à vent servant à l'assèchement des polders en Hollande.

Par la suite, pendant plusieurs décennies, l'énergie éolienne a servi à produire de l'énergie électrique dans des endroits reculés et donc non-connectés à un réseau électrique. Des installations sans stockage d'énergie impliquaient que le besoin en énergie et la présence d'énergie éolienne soient simultanés. La maîtrise du stockage d'énergie par batteries a permis de stocker cette énergie et ainsi de l'utiliser sans présence de vent, ce type d'installation ne concernant que des besoins domestiques, non appliqués à l'industrie.

Depuis les années 1990, l'amélioration technologique des éoliennes a permis de construire des aérogénérateurs de plus de 5 MW [3] et le développement d'éoliennes de 10 MW est en cours. Ces unités se sont démocratisées et on en retrouve aujourd'hui dans plusieurs pays. Ces éoliennes servent aujourd'hui à produire du courant alternatif pour les réseaux électriques, au même titre qu'un réacteur nucléaire, un barrage hydro-électrique ou une centrale thermique au charbon. Cependant, les puissances générées et les impacts sur l'environnement ne sont pas les mêmes.

I-3-Définition de l'énergie éolienne :

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elles sont généralement utilisés pour produire de l'électricité et entre dans la catégorie des énergies renouvelables.

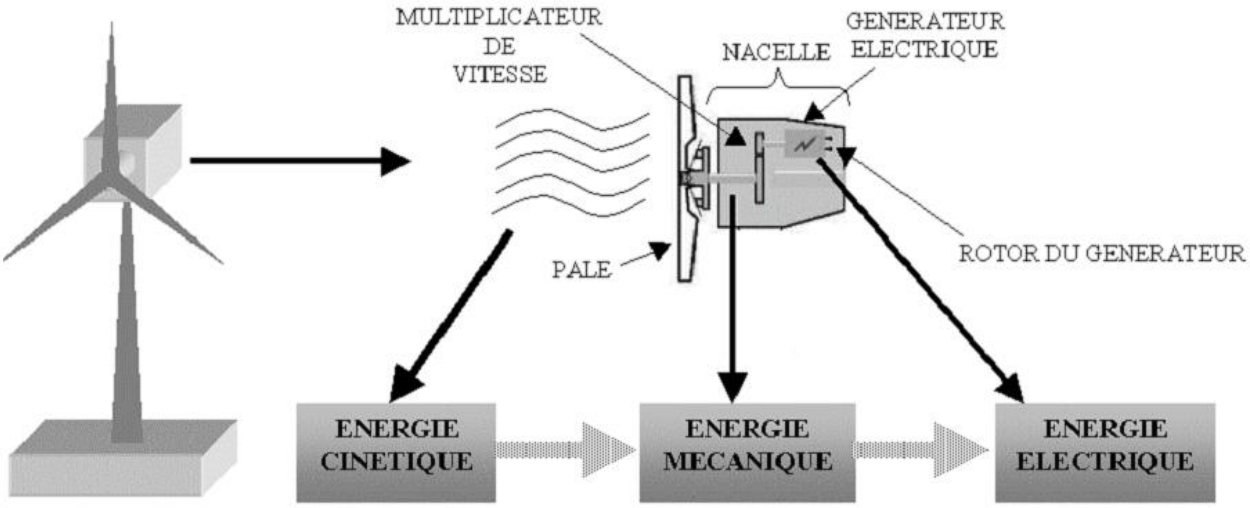

Figure I-2 : conversion de l'énergie cinétique du vent

I-4-Les différents types d'éoliennes :

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal [4]:

I-4-1-Les éoliennes à axe horizontal

Ce sont les machines les plus répandues actuellement du fait de :

-Leur rendement est supérieur à celui de toutes les autres machines. Elles sont appelées éoliennes à axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallèle à la direction de vent. Elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales, ou des hélices multi-pales pour le pompage de l'eau.

-Elles ont un rendement élevé.

-Les éoliennes à axe horizontal (ou à hélice) sont de conception simple. Sur base la du nombre de pales que compte l'hélice, on peut distinguer deux groupes:

- les éoliennes à rotation lente "multi-pales"

Elles sont, depuis longtemps, relativement répandues dans les campagnes, et servent quasi exclusivement au pompage de l'eau.

- Aérogénérateurs

Les éoliennes à rotation rapide, bi- ou tripales en général, constituent actuellement la catégorie des éoliennes en vogue, et sont essentiellement affectées à la production d'électricité, d'où leur nom le plus courant "**d'aérogénérateurs**".

Parmi les machines à axe horizontal parallèle à la direction du vent, il faut encore différencier l'aérogénérateur dont l'hélice est en amont de machine par apport au vent « *hélice au vent* »et celle dont l'hélice est en aval de la machine par rapport au vent « *hélice sous le vent* »

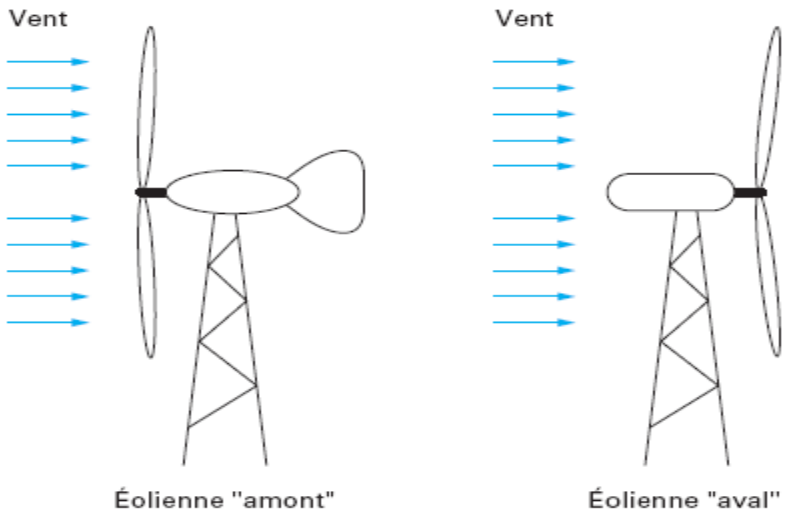

Figure I-3 : configuration à axe horizontal [4]

I-4-2- Les éoliennes à axe vertical [4]

Pour ces capteurs, l'axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la direction du vent, et sont les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc elles sont facilement accessibles. Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation. Deux d'entre elles sont particulièrement remarquables : Savonius et Darrieus.

L'éolienne Savonius comporte principalement deux demi cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Cette machine présente deux avantages:

- Elle est simple à fabriquer
- Elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s

L'éolienne inventée par le Français Darrieus est un rotor dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs. Cette machine est bien adaptée à la fourniture d'électricité. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer seule. Ce type de machine, qui peut offrir les puissances les plus fortes n'a pas connu le développement technologique qu'il méritait à cause de la fragilité du mécanisme encore mal maîtrisée. Toutefois, cela devrait pouvoir être résolu si des efforts supplémentaires étaient faits dans la recherche sur ce sujet.

Éolienne de type Darrieus.

Éolienne de type Savonius.

Figure I-4 : éolienne de type Darrieus et Savonius [4]

I-5-Principe de fonctionnement :

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes:

- Au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite.
- Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au réseau électrique. [5]

I-5-1 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur (à axe horizontal) [6]:

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou utilisée par des charges isolées.

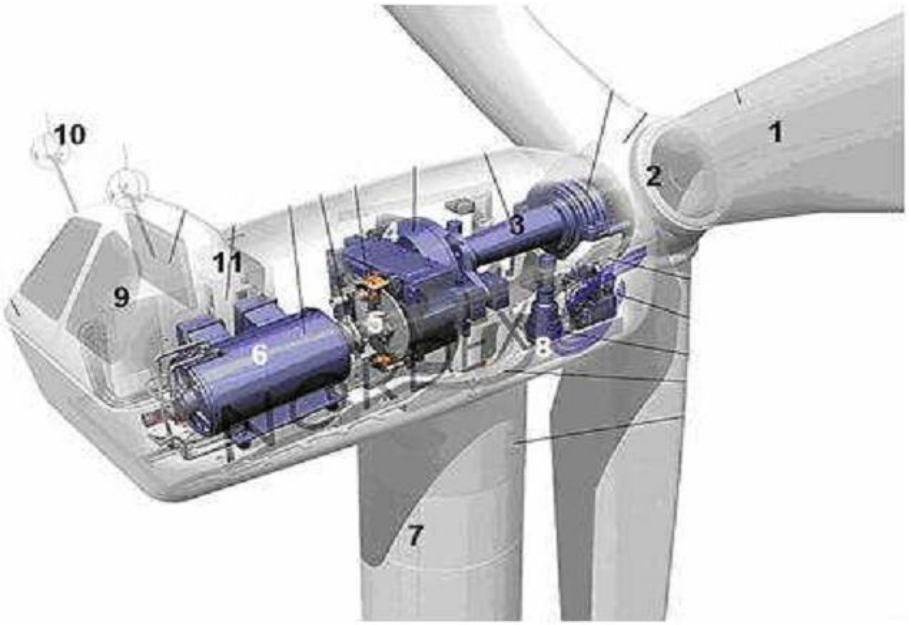

Figure I-5 : les composantes de l'aérogénérateur

1. **Les pales** : sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor
2. **Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.
3. **L'arbre primaire** (ou arbre lent) : relie les pales au multiplicateur.

4. **Le multiplicateur** : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.

5. **L'arbre secondaire** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.

6. **Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.

7. **Le mât** : c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.

8. **Le système d'orientation de la nacelle** : c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.

9. **Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.

10. **Les outils de mesure du vent** : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.

11. **Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.

12. Au pied du mât se trouve un **transformateur**.

I-5-2 -Caractéristiques technologiques des éoliennes:

1 -**Le supportage**:

Les pylônes peuvent être réalisés en acier ou en béton armé. Ils peuvent être autoporteurs et auto résistants ou haubanés. Si le haubanage permet de réduire les dimensions du mât, par contre il pénalise l'emprise au sol. Pour limiter l'occupation au sol, le supportage de plusieurs éoliennes par une seule structure est envisagé ; dans ce cas, les pylônes constitués de structures métalliques en treillis sont intéressants. Actuellement les mats en caisson, souvent en acier et fortement ancrés au sol, sont très répandus pour les éoliennes de forte puissance. [7]

2-**Les pales : [8]**

Les pales sont une partie très importante des éoliennes. De leur nature dépendront le bon fonctionnement et la durée de vie de la machine ainsi que le rendement du moteur éolien. Plusieurs éléments caractérisent ces pales :

- la longueur
- la largeur

- le profil
- les matériaux
- le nombre

Parmi ces éléments, certains sont déterminés par les hypothèses de calcul, puissance et couple et d'autres sont choisis en fonction de critères tel que : coûts, résistance au climat ...

Longueur :

-Le diamètre de l'hélice est fonction de la puissance désirée. La détermination de ce diamètre fixe aussi la fréquence de rotation maximum, que l'hélice ne devra pas dépasser pour limiter les contraintes en bout de pales dues à la force centrifuge. Il est essentiel de prendre en compte le travail en fatigue des pales et les risques de vibrations, surtout pour les très longues pales.

Largeur :

-La largeur des pales intervient pour le couple de démarrage qui sera d'autant meilleur que la pale sera plus large. Mais pour obtenir des vitesses de rotation élevées, on préférera des pales fines et légères. Le résultat sera donc un compromis.

Le profil

Il est choisi en fonction du couple désiré.

Pour la plupart des aérogénérateurs de moyenne et de faible puissance, les pales ne sont pas vrillées. Par contre, pour la plupart des machines de grande puissance (>= 100 kW), elles le sont, c'est-à-dire qu'elles prennent la forme d'une hélice.

Les caractéristiques des différents profils sont déterminées en soufflerie. Ils ont en général été étudiés pour l'aviation (ailes ou hélices).

Les matériaux

-Les matériaux utilisés pour la réalisation des pales sont variés et ont bénéficié de nombreux progrès, particulièrement ceux dus aux pales d'hélicoptère.

Contrairement à ce que l'on croit fréquemment, ce n'est pas dans le domaine de l'aérodynamique que réside la difficulté mais bien dans celui de la construction et de la résistance des matériaux. En effet, c'est dans le mode de réalisation des pales qu'il y a le plus à faire pour augmenter la sécurité de marche.

Les matériaux utilisés pour la réalisation des pales sont donc essentiels et doivent répondre à plusieurs exigences : ils doivent être assez légers, résistants à la fatigue mécanique, à l'érosion et à la corrosion, et de mise en œuvre ou d'usinage simple.

On rencontre plusieurs types de matériaux :

- **le bois** : il est simple, léger, facile à travailler et il résiste bien à la fatigue mais il est sensible à l'érosion, peut se déformer et est réservé pour des pales assez petites.

- **le lamellé-collé** : c'est un matériau composite constitué d'un empilement de lamelles de bois collées ensemble. Il est possible de réaliser des pales jusqu'à 5 à 6 m de longueur ayant une bonne tenue en fatigue.
- **les alliages d'aluminium** : pour des pales allant principalement jusqu'à 20 m de longueur.
- **les matériaux composites** : leur intérêt est de permettre la réalisation de toutes les formes et dimensions, ainsi que d'obtenir les caractéristiques mécaniques exactes recherchées : pale vrillée, corde évolutive, changement de profil.

I-5-3 Bilan des forces sur une pale

L'action du vent relatif sur un profil aérodynamique engendre sur la section de pale de largeur dr et de longueur de corde *l* une distance r de l'axe de rotation une force résultante *Fd*

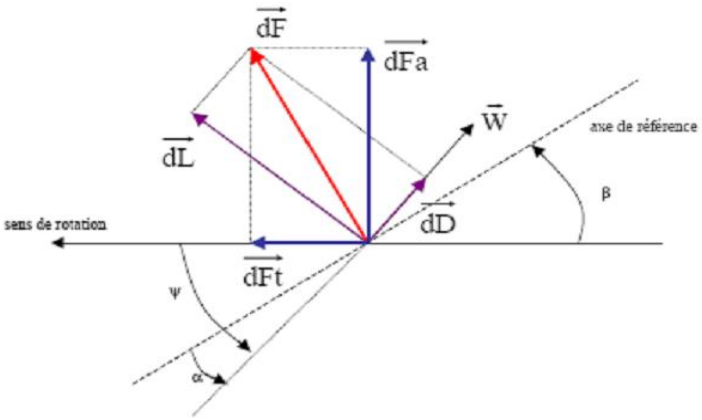

Figure I-6: forces appliquées sur un élément de pale [2]

On peut décomposer la force résultante Fd de la manière suivante :

- la portance *dL*, normale à la direction du vent apparent.
- La force de *dD*, parallèle à la direction du vent.

On peut aussi la décomposer d'une autre manière :

La pousse axiale dF_a, perpendiculaire au plan de rotation.

La pousse tangentielle dF_t, dans la direction de rotation

Les modules des forces dD, dL s'expriment en fonction de deux coefficient, le coefficient de portance C_L et le coefficient de traînée C_D.

La force de portance: $L=\frac{1}{2}\rho W^2 dAC_L$ **(I-1)**

La force de traînée: $D=\frac{1}{2}\rho W^2 dAC_D$ **(I-2)**

La poussée axiale: $F_t=\frac{1}{2} C_Z \rho W^2 S$ **(I-3)**

La poussée de rotation: $F_a=\frac{1}{2} C_X \rho W^2 S$ **(I-4)**

Avec

dA= l(r).dr. surface du tronçon de pale

l (r) : longueur de la corde à la distance r de l'axe de rotation

C_L : coefficient de portance (sans dimension)

C_D : coefficient de traînée (sans dimension)

Cz: coefficient de portance suivant le plan de rotation

Cx: coefficient de poussée

W: module du vent apparent.

Ces coefficients C_L et C_D dépendent du profil de la pale et de l'angle d'incidence α.

Dans l'analyse du fonctionnement des turbines éoliennes on utilise le diagramme du rapport Cx/Cz en fonction de l'angle d'incidence α. Ce rapport reflète le rendement de conversion de l'énergie éolienne.

I-6 -Puissance fournie par un aérogénérateur :

I-6-1- Potentiel éolien disponible :

L'énergie cinétique d'une masse d'air m qui se déplace avec la vitesse V, est:

$$Ec = \frac{1}{2} m V^2 \qquad \textbf{(I-5)}$$

Si cette énergie pouvait être complètement récupérée à l'aide d'un dispositif ayant la surface A ($A = \pi R^2$), situé perpendiculairement à la direction de la vitesse du vent, Le potentiel éolien moyen disponible sur un site est donnée par:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \qquad \text{Avec} \qquad m = \rho S V \qquad \textbf{(I-6)}$$

ρ: densité d'air.

I-6-2-La puissance moyenne récupérable : [9]

En réalité, le dispositif de conversion (turbine éolienne) extrait une puissance $P_{réc}$ inférieure à la puissance disponible P_{disp}.

Considérons le système éolien à axe horizontal représenté sur la Figure (I-7) sur lequel on a représenté la vitesse du vent V1 en amont de l'aérogénérateur et la vitesse V2 en aval.

En supposant que la vitesse du vent traversant le rotor est égale à la moyenne entre la vitesse du vent non perturbé à l'avant de l'éolienne V1 et la vitesse du vent après passage à travers le rotor V2.

Soit (V1+V2) /2 est la masse d'air en mouvement de densité ρ traversant la surface S des pales en une seconde est :

$$m = \frac{\rho S(V1 + V2)}{2} \quad \textbf{(I-7)}$$

La puissance P_m alors extraite s'exprime par la moitié du produit de la masse et de la diminution de la vitesse du vent (seconde loi de newton) :

$$P_m = \frac{m(V1^2 - V2^2)}{2} \quad \textbf{(I-8)}$$

Soit en remplaceront m par son expression dans (1-8)

$$P_m = \frac{\rho S(V1 + V2)({V_1}^2 - {V_2}^2)}{4} \quad \textbf{(I-9)}$$

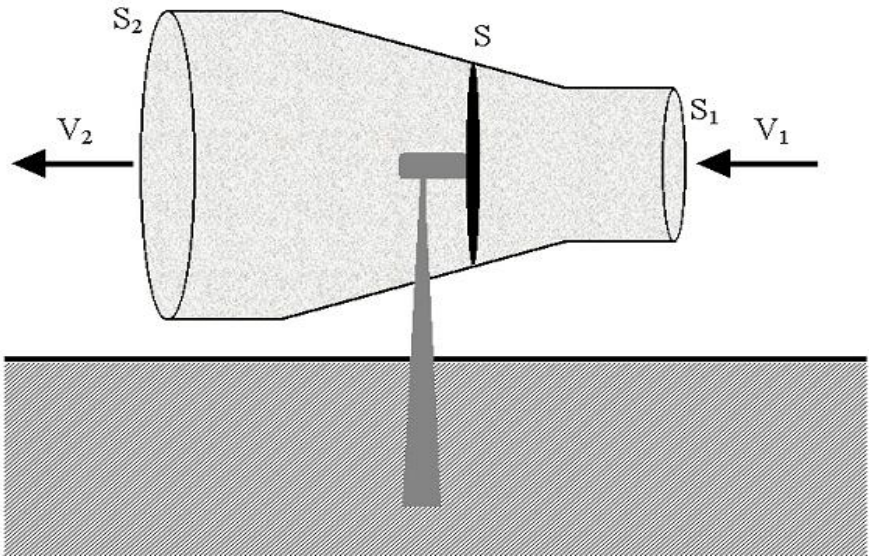

Figure I-7: tube de courant autour d'une éolienne.

Un vent théoriquement non perturbé traverserait cette même surface S sans diminution de vitesse, soit à la vitesse V1, la puissance P_{mt} correspondante serait alors :

$$P_{mt} = \frac{\rho S V_1^3}{2} \quad \textbf{(I-10)}$$

Le ratio entre la puissance extraite du vent et la puissance totale théoriquement disponible est alors:

$$\frac{P_m}{P_{mt}} = \frac{(1 + (\frac{V_1}{V_2}))(1 - (\frac{V_1}{V_2})^2)}{2} \quad \textbf{(I-11)}$$

Si on représente la caractéristique correspondante à l'équation ci-dessus (Figure I-8), on s'aperçoit que le ratio P_m /P_{mt} appelé aussi coefficient Cp présente un maxima de 16/27soit 0.59. C'est cette limite théorique appelée limite de Betz qui fixe la puissance maximale extractible pour une vitesse de vent donnée.

$$P_{réc} = \frac{1}{2} C_P \rho A V^3 \quad \textbf{(I-12)}$$

En prend en considération la limite de Betz et en remplaçant la densité de l'air par sa valeur moyenne, la moyenne maximale récupérable par unité de surface est donnée par [10] :

$$P_{réc} = 0.37\, V^3 \quad \textbf{(I-13)}$$

Cette limite n'est en réalité jamais atteinte et chaque éolienne est définie par son propre coefficient de puissance exprimé en fonction de la vitesse relative λ représentant le rapport entre la vitesse de l'extrémité des pales de l'éolienne et la vitesse du vent

$$\lambda = \frac{R\Omega}{V} \quad \textbf{(I-14)}$$

Ω: Vitesse angulaire du rotor de l'éolienne

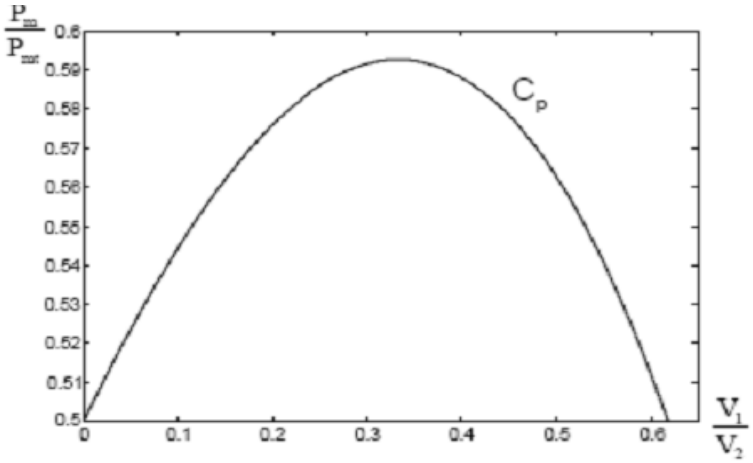

Figure I-8: coefficient de puissance

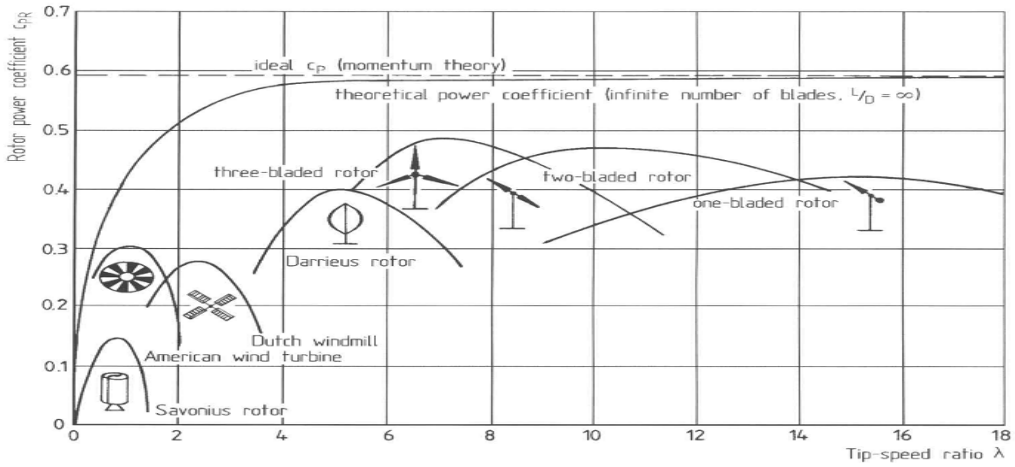

Figure I-9 : coefficient de puissance en fonction de la vitesse normalisée λ pour différents types de turbines

Des courbes typiques pour différents aérogénérateurs sont pressentes sur la figure (I-9) .En générale dans un premier temps, le coefficient de puissance augmente avec la vitesse normalisée, atteignant un maximum pour une certaine valeur de λ puis diminue même avec l'augmentation de la vitesse normalisée.

Ces variations de Cp (λ), dépendant de plusieurs propriétés aérodynamiques, mais essentiellement de plusieurs éléments dans la conception du rotor, notamment, dans le nombre de pales utilisées.

Nous définissons le couple sur l'arbre T de la manière suivante :

$$T = \frac{P}{\Omega} = \frac{1}{2}\frac{C_P}{\lambda}\ \rho\ \pi\ R^3\ V^2 \qquad \textbf{(I-15)}$$

Le coefficient de couple C_T relié au coefficient de puissance par la relation suivant :

$$C_P(\lambda) = \lambda C_T(\lambda) \qquad \textbf{(I-16)}$$

Le coefficient C_T est, comme le coefficient Cp, fonction de la vitesse du vent et de la vitesse angulaire du rotor de l'éolienne Ω. [11]

I-7- Régulation mécanique de la vitesse de l'éolienne :

Une turbine éolienne est dimensionnée pour développer une puissance nominale Pn à partir d'une vitesse de vent nominale Vn. Pour des vitesses de vents supérieures à Vn, la turbine éolienne doit modifier ses paramètres aérodynamiques afin d'éviter les surcharges mécaniques (turbines, mat et structure), de sorte que sa vitesse de rotation reste constante [12]

D'après l'équation (I-10), on peut voir que la puissance produite est indéfiniment croissante en fonction de la vitesse du vent, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Les dispositifs de sécurité de la machine éolienne font en sorte à avoir l'expression de la puissance répartie sur différentes gammes de vitesses du vent. Où :

Vd : est la vitesse de démarrage, à partir de laquelle l'éolien commence à fournit de l'énergie

Vn : la vitesse nominale,

Vm : la vitesse d'arrêt de la machine pour laquelle la turbine ne convertit plus l'énergie éolienne, pour les raisons de surette de fonctionnement.

Les vitesses Vn, Vd et Vm définissent quatre zones sur le diagramme de la puissance utile en fonction de la vitesse du vent : [12]

- **la zone 1** : où P = 0 (la turbine ne fonctionne pas).
- **la zone 2** : dans laquelle la puissance fournie sur l'arbre dépend de la vitesse du vent Vd.
- **la zone 3** : où généralement la vitesse de rotation est maintenue constante par un dispositif de régulation et où la puissance P turbine fournie reste sensiblement égale à Pn.

- **la zone 4** : dans laquelle le système de sûreté du fonctionnement arrête la rotation et le transfert de l'énergie.

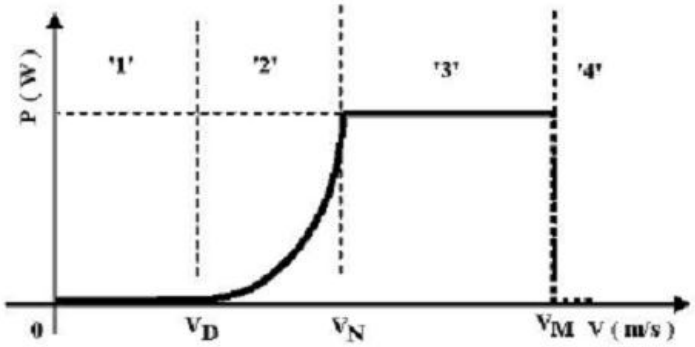

Figure I-10: diagramme de la puissance sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.

La plupart des grandes turbines éoliennes utilisent deux principes de contrôle aérodynamique pour limiter la puissance extraite à la valeur de la puissance nominale de la génératrice : [11]

Système « pitch » ou « à pas ou calage variable » qui permet d'ajuster la portance des pales à la vitesse du vent, principalement pour maintenir une puissance sensiblement constante dans la zone 3 de vitesses.

Système « stall » ou à « décrochage aérodynamique », le plus robuste car c'est la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse de vent, mais la courbe de puissance maximale n'est pas plate et chute plus vite. Il s'agit donc d'une solution passive et robuste (pas besoin de système d'orientation des pales).

D'autres systèmes de régulation, dans les petites éoliennes notamment, sont exploités :

- basculement (relèvement) de l'axe, normalement horizontal
- pas variable par la pression du vent (modèle Air Wind : les pales en fibre, se déforment et provoquent un décrochage).
- déviation par rapport à l'axe du vent. La dérive se trouve légèrement décalée par rapport à l'axe de rotation vertical (qui permet normalement à la turbine d'être face au vent) et crée une force de déviation qui régule la puissance aérodynamique (la turbine reçoit un vent de travers).

I-8- Critère de choix d'un potentiel éolien :

L'énergie cinétique de vent constitue une ressource énergétique inépuisable mais fluctuante. Pour toute installation d'une éolienne dans un endroit, il faut d'abord faire une étude des caractéristiques des sites :

-Quantifier la ressource éolienne sur les sites d'application.

-Estimer la puissance moyenne annuelle disponible sur ces sites.

I-8-1 -Le vent :

Le vent est généralement appliqué aux déplacements naturels horizontaux de l'atmosphère (mouvement d'air). Les mouvements de direction verticale sont appelés des courants. 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. Quand les températures de régions voisines deviennent inégales, l'air le plus chaud tend à s'écouler par-dessus l'air le plus froid (le plus lourd). La direction des vents générés de cette façon est généralement grandement modifiée par la force de Coriolis résultant de la rotation de la terre [13].

I-9-Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne :

La croissance de l'énergie éolienne est évidemment liée aux avantages de l'utilisation de ce type d'énergie. Cette source d'énergie a également des désavantages qu'il faut étudier, afin que ceux-ci ne deviennent pas un frein à son développement.

I-9-1-les avantages :

L'énergie éolienne, propre, fiable, économique [14], et écologique, c'est une énergie qui respecte l'environnement [15].

- Bien que ne pouvoir envisager de remplacer totalement les sources traditionnelles d'énergie, l'énergie éolienne peut toutefois proposer une alternative intéressante et renouvelable. Elle s'inscrit parfaitement dans l'effort global de réductions des émissions de CO_2, …etc. [16].
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable [17].
- Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO_2 rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique [16].
- Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de très loin le plus fort taux de croissance [18].

- L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie à risque comme l'énergie nucléaire et ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs [19].
- L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées, contrairement aux procédés continus de la plupart des centrales thermiques et des centrales nucléaires. Ceux-ci fournissent de l'énergie même lorsque que l'on n'en a pas besoin, entraînant ainsi d'importantes pertes et par conséquent un mauvais rendement énergétique [19].
- Les parcs éoliens se démontent très facilement et ne laissent pas de trace [1].
- C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie. Ainsi les pertes en lignes dues aux longs transports d'énergie sont moindres. Cette source d'énergie peut de plus stimuler l'économie locale, notamment dans les zones rurales [1].
- La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelles [20].
- C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables [21], selon l'article [22] le coût de l'éolienne à diminuer presque 90% depuis le début des années 80. Le coût de l'énergie éolienne continue de diminuer grâce aux percées technologiques, à l'accroissement du niveau de production et à l'utilisation de grandes turbines [20].
- Cette source d'énergie est également très intéressante pour les pays en voie de développement. Elle répond au besoin urgent d'énergie qu'ont ces pays pour se développer. L'installation d'un parc ou d'une turbine éolienne est relativement simple. Le coût d'investissement nécessaire est faible par rapport à des énergies plus traditionnelles, ce type d'énergie est facilement intégré dans un système électrique existant déjà [19].
- L'énergie éolienne se révèle une excellente ressource d'appoint d'autres énergies, notamment durant les pics de consommation, en hiver par exemple [1].

I-9-2- Les inconvénients :

Mêmes s'ils ne sont pas nombreux, l'éolien a quelques désavantages :

- L'impact visuel : Ça reste néanmoins un thème subjectif [19]. Des images de synthèse sont élaborées pour montrer l'impact visuel. Dans la plus grande majorité des cas, les

enquêtes réalisées montrent une réelle acceptation des populations voisines ou visitant un site éolien [16].

- Les bruits mécaniques ou aérodynamiques ont été réduits par l'utilisation de nouveaux profils [19], extrémités de pale, mécanismes de transmission etc. et ne sont plus une gêne, même proche des machines (50-60 dB équivalent à une conversation). Une distance d'environ huit fois le diamètre permet de ne plus distinguer aucun bruit lié à cette activité (< 40 dB). De plus, il faut souligner que le bruit naturel du vent, pour des vitesses supérieures à 8 m/s, a tendance à masquer le bruit rayonné par l'éolienne [16].
- Les éoliennes peuvent nuire à la migration des oiseaux en étant un obstacle mortel. En effet, les pales en rotation sont difficilement visibles par mauvais temps ou la nuit. Les oiseaux peuvent alors entrer en collision avec celles-ci. Plus le parc éolien est dense plus ce risque est grand. Des lumières sur les pales peuvent réduire ce danger. Cependant, aucune étude sérieuse ne semble actuellement avoir démontré la réalité du danger pour les oiseaux [1].
- La source d'énergie éolienne étant stochastique [21], la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. La qualité de la puissance produite n'est donc pas toujours très bonne. Jusqu'à présent, le pourcentage de ce type d'énergie dans le réseau était faible, mais avec le développement de l'éolien, notamment dans les régions à fort potentiel de vent, ce pourcentage n'est plus négligeable. Ainsi, l'influence de la qualité de la puissance produite par les aérogénérateurs augmente et par suit, les contraintes des gérants du réseau électrique sont de plus en plus strictes.
- Les systèmes éoliens coûtent généralement plus cher à l'achat que les systèmes utilisant des sources d'énergie classiques, comme les groupes électrogènes à essence, mais à long terme, ils constituent une source d'énergie économique et ils demandent peu d'entretien [6].

Selon l'article de [18], il a fallu plusieurs décennies pour réaliser des éoliennes silencieuses, esthétiques et résistantes aux conditions météorologiques très capricieuses.

I-10-L'énergie éolienne dans le monde :

L'énergie éolienne représente une ressource énorme. Plus de 159 GW éoliens étaient installés dans le monde fin 2009 et qui contribuent à hauteur de 340 TWh/an à la production mondiale d'électricité, l'équivalent de la demande totale en électricité de l'Italie, septième

économie mondiale, et égale 2 % de la consommation électrique mondiale. Dans certains pays et certaines régions, l'éolien est devenu une des principales sources d'électricité, les parts les plus élevées étant: Danemark (20 %), Portugal (15 %), Espagne (14 %) et Allemagne (9 %).

En matière d'installation, l'Europe représente plus de 47% de la capacité éolienne totale installée dans le monde. En Afrique, l'ensemble des éoliennes installées en 2009 représente 770 MW (0.5 % de la capacité éolienne mondiale totale) avec seulement 0,5 MW installée en Algérie en 2009 (81ème position). La figure (I-11) montre la part de l'énergie éolienne installée dans les différents continents [23].

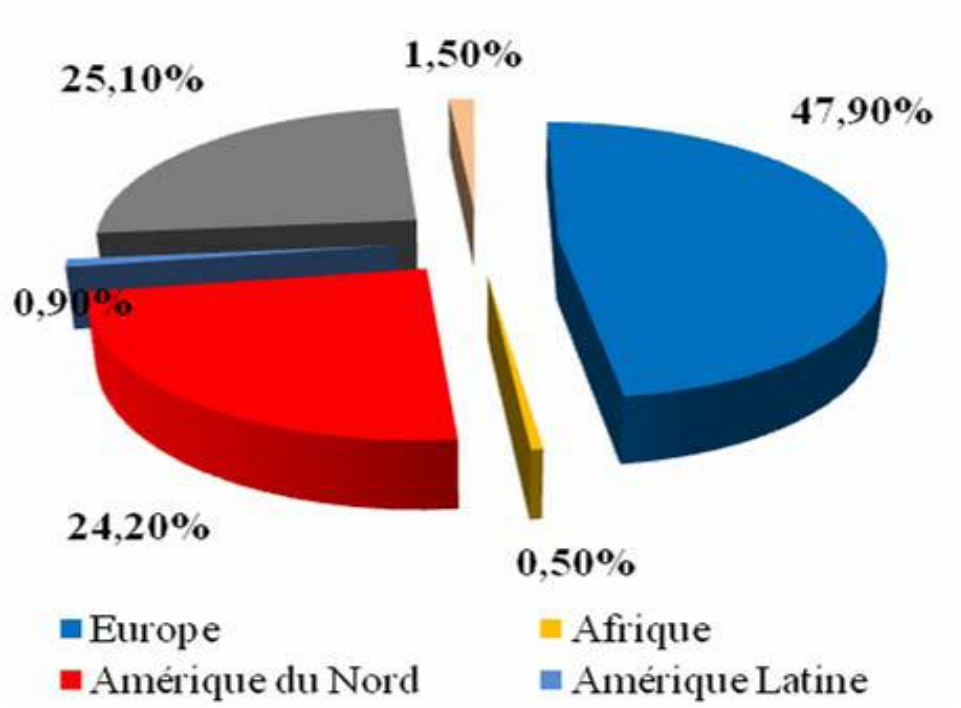

Figure I-11 : Part de l'énergie éolienne installée dans les différents continents [23].

Bibliographie:

[1] www.energies-renouvelables.org

[2] Nicolas LAVERDURE « Sur l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faibles ou insulaires » thèse de doctorat de L'INPG Spécialité Génie Electrique Institut national polytechnique de décembre 2005

[3] Gamme de la société REpower [archive] [archive], sur le site repower.fr

[4] Energie éolienne, Théorie, conception et calcul pratique des installations, Désiré Le Gourières, Edition EYROLLES, 1980.

[5] N. Laverdure, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme, "Technologie des systèmes éoliens – intégration dans les réseaux électriques", la Revue 3EL, no. 39, 2004

[6] http://oooxygene.alwaysdata.net/eolienne.html

[7] C.Boris et G. Christophe « Energie éolienne, fonctionnement, contraintes et perspective sue l'avenir http://membres.lycos.fr/tipemaster/TIPE/Eole.html

[8] C. Benoudjit « étude pour la conception d'un banc d'essais pour énergie éolienne » : thèse de magistère de l'université de Batna, juin 2004

[9] Frédéric POITIERS, « Etude et commande de génératrices asynchrone à double alimentation reliée au réseau »thèse de doctorat de l'université de Nantes, 2003

[10] N. KASBADJI MERZOUK « Evaluation du Gisement énergétique éolien contribution à la détermination du profile vertical de la vitesse de vent en Algérie» thèse de doctorat de l'université de Tlemcen, 2006

[11] L. KHTTACHE «Etude et commande d'un système Eolien à base d'une Machine Electrique Double Alimentée »Thèse de magister université de Batna ,2007

[12] O. GERGAUD « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur » thèse de doctorat de l'école Normale supérieur de CACHAN, 2002

[13] encyclopédie encarta 2008

[14] T. Grignoux, R. Gibert, P. Neau, C. Buthion, « Eoliennes en milieu urbain -État de l'art », janvier 2006, pp. 1-129.

[15] J. Chen, C. Nayar, L. XU, « Design and FE analysis of an outer-rotor PM generator for directly coupled wind turbine applications », proceeding of the IEEE industry applications conference, New York, USA, 1998, vol 1, pp. 387-394.

[16] S El Aimani, « Modélisation des différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension », thèse de doctorat, l'université des sciences et technologies de Lille (USTL).

[17] R. Michaux, P. Letellier, « Les machines discoïdes à champs axial dans les systèmes de production électrique », revue de l'électricité et de l'électronique, N° 3, mars 1997, pp. 37-42.
[18] Bernard Multon, Gael Robin, Marie Ruellan, Hamid Ben Ahmed, « 3ème situation énergétique mondiale à l'aube du millénaire. Perspectives offertes par les ressources renouvelables », revue 3Ei No36 mars 2004, pp. 1-14.
[19] H. Ben Ahmed, « Généralités sur l'énergie éolienne et convertisseurs associés et convertisseurs associés », séminaire électrotechnique de l'académie de Rennes, 9 mars 2004
[20] J.W. Smith, J.A. Taylor, D. L. Books, R.C. Dugan, « Interconnection studies for wind generation », conference papers IEEE2004, paper N° 04 C3, pp. C3-1.C3-8.
[21] R. Ramakumar, Albrecht Naeter, « Role of renewable energy in the development and electrification of remote and rural areas », IEEE – PES general meeting Denver, Colorado, USA, June 6 à12, 2004.
[22] R. Ramakumar, P. Chiradeja, « Distributed generation and renewable energy systems 3», 2002. 37th intersociety energy conversion engineering conference, IECEC 2002 paper N° 20027, pp. 716-724.
[23] World Wind Energy Association WWEA. Rapport Mondial 2009 sur l'Energie Eolienne. Date de publication : Mars 2010.

CHAPITRE II

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE ET DE LA PRESSION SUR SITE D'ADRAR

Chapitre II : Evolution de la température et de la pression sur site d'Adrar

II.1. Introduction:

L'énergie éolienne ainsi que les moyens de distribution associés sont influencés par plusieurs paramètres tels que: la pression atmosphérique, l'humidité relative, la température, ... [1, 2, 3]

L'énergie éolienne utilise la force du vent. Le vent est un phénomène aérodynamique par nature très complexe. Les paramètres météorologiques jouent un role très important dans les études des parcs éoliens. Dans ce chapitre on va étudier l'évolution de la température et la pression sur le site d'Adrar au grand sud de l'Algérie afin de pouvoir réaliser une étude pricise pour une éventuelle installation d'une ferme éolienne dans ce site.

II.2. Evolution de la température dans le site d'Adrar :

II.2.1-La température durant l'année 2014 :

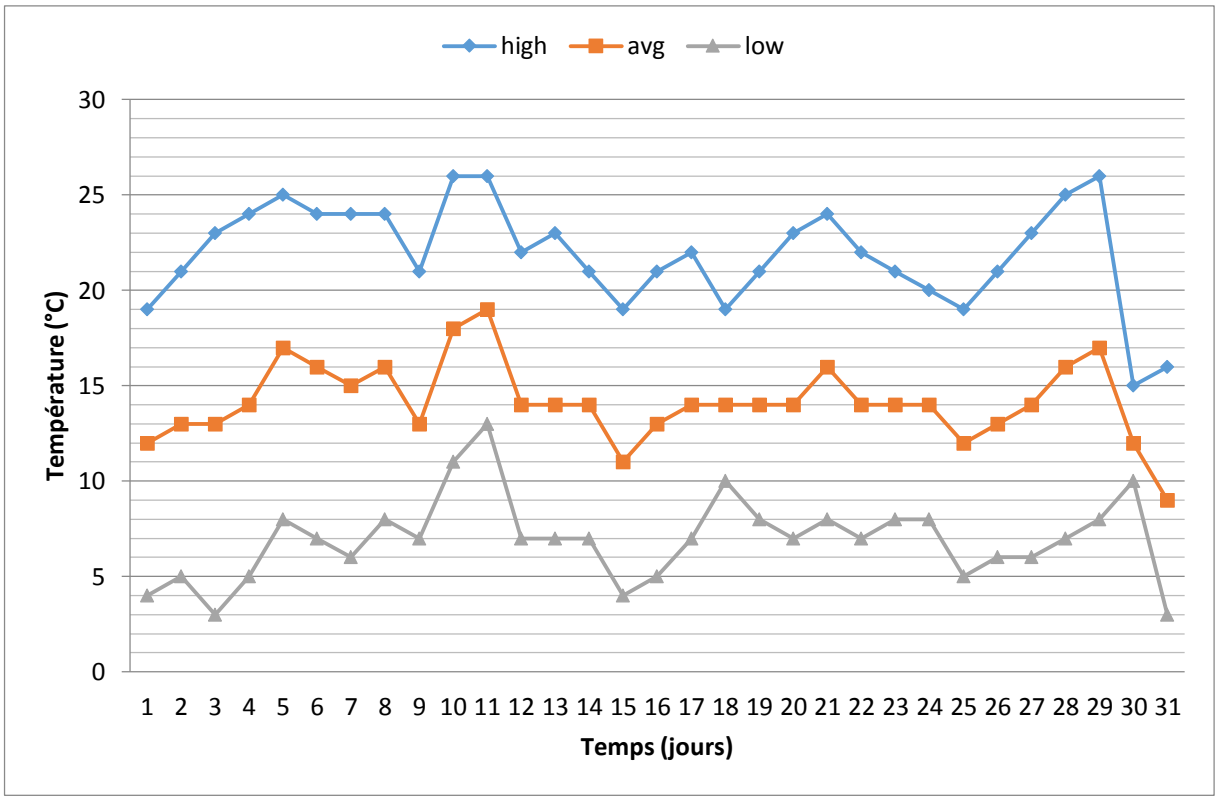

Figure II-1: Evolution de la température durant le mois de **Janvier** 2014.

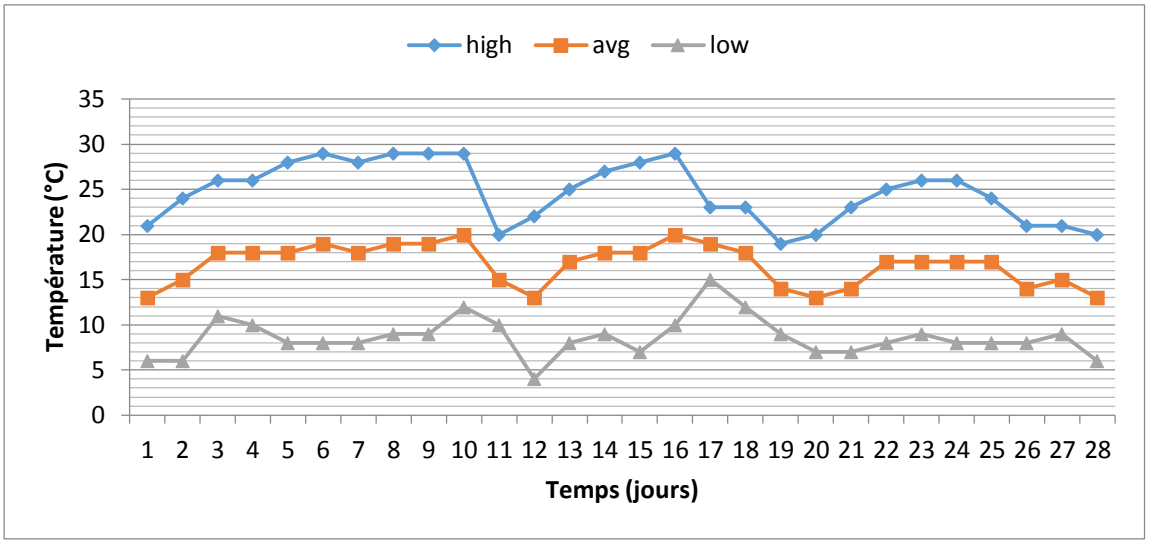

Figure II-2: Evolution de la température durant le mois de **Février** 2014.

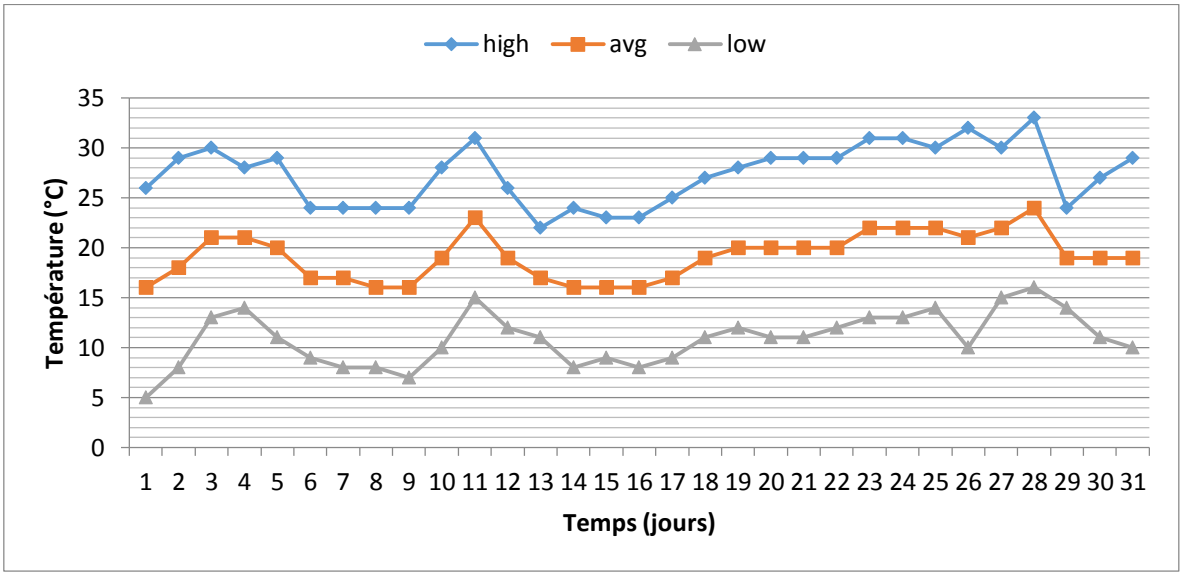

Figure II-3: Evolution de la température durant le mois de **Mars** 2014.

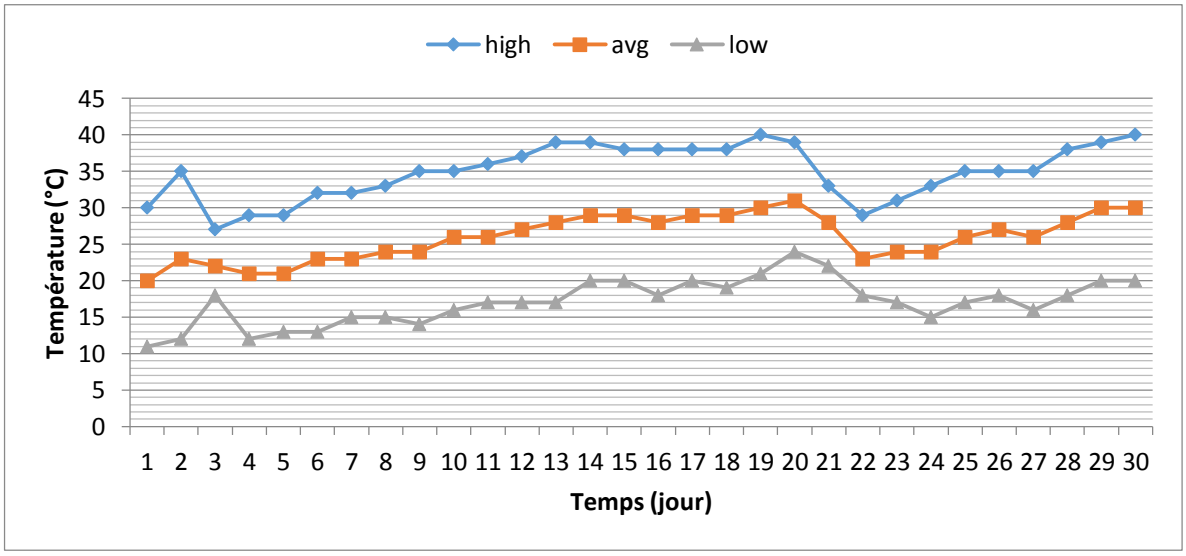

Figure II-4: Evolution de la température durant le mois de **Avril** 2014.

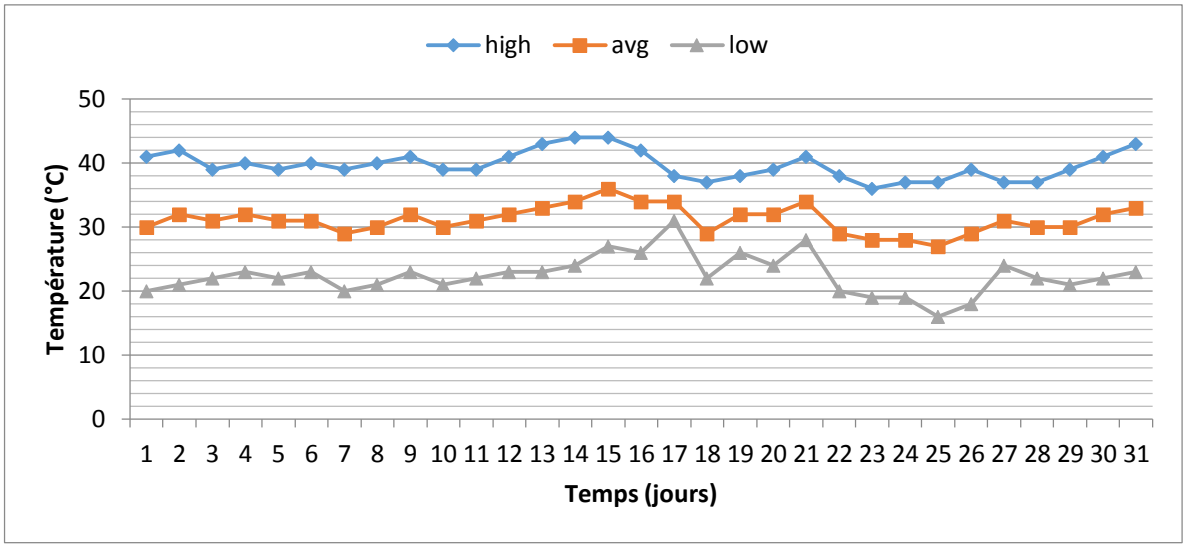

Figure II-5: Evolution de la température durant le mois de **Mai** 2014.

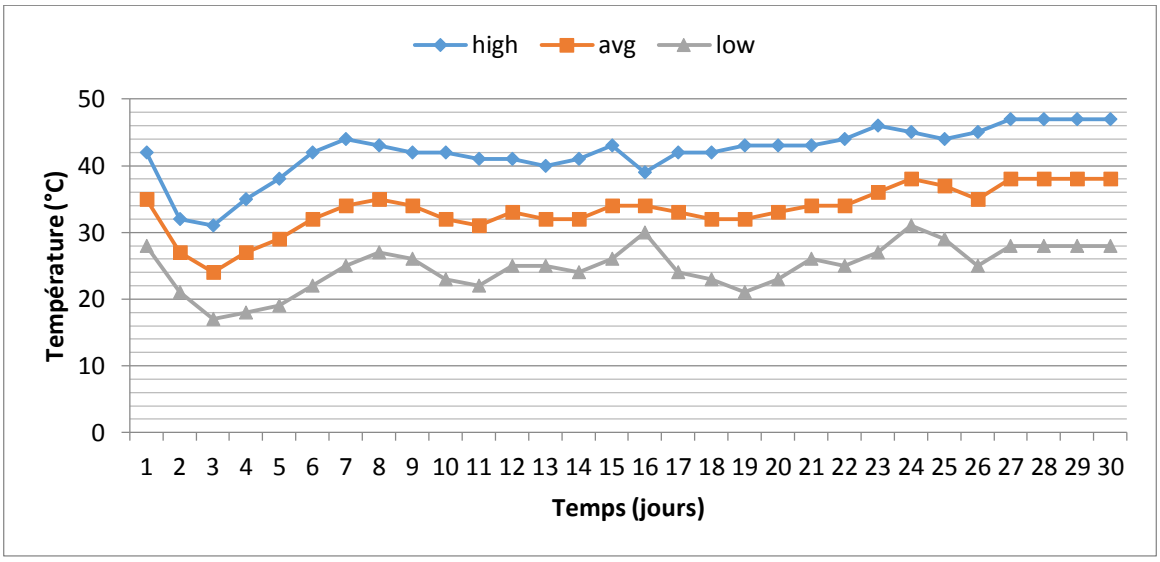

Figure II-6: Evolution de la température durant le mois de **Juin** 2014.

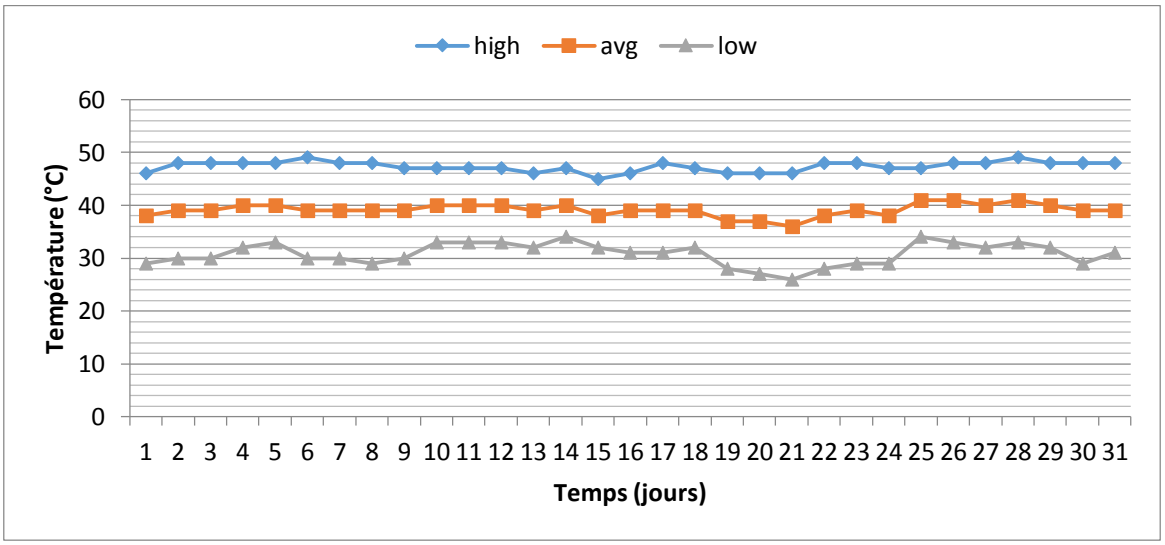

Figure II-7: Evolution de la température durant le mois de **Juillet** 2014.

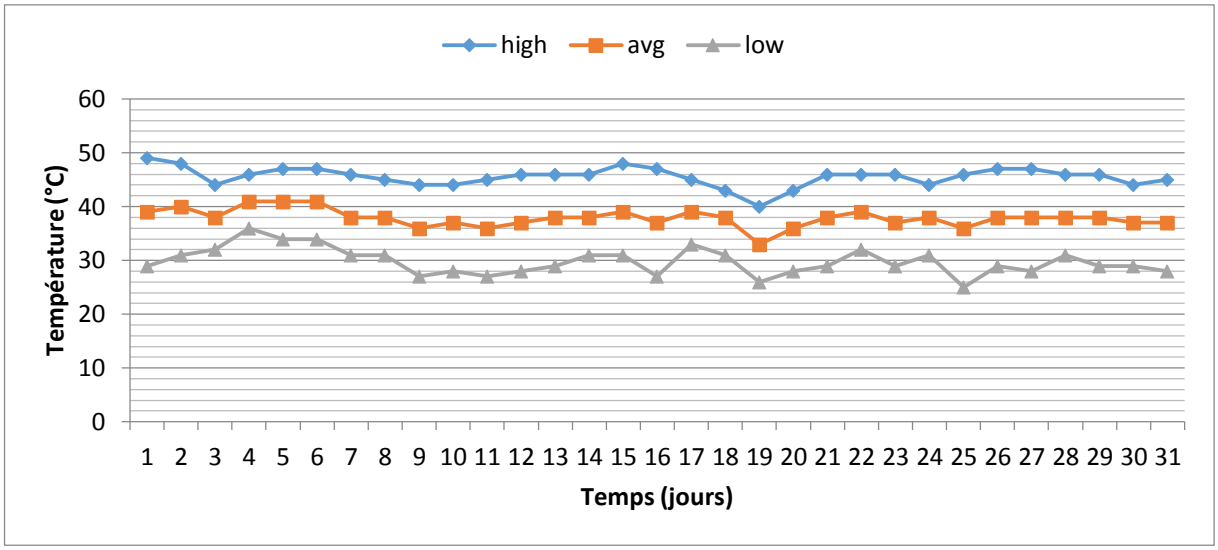

Figure II-8: Evolution de la température durant le mois de **Août** 2014.

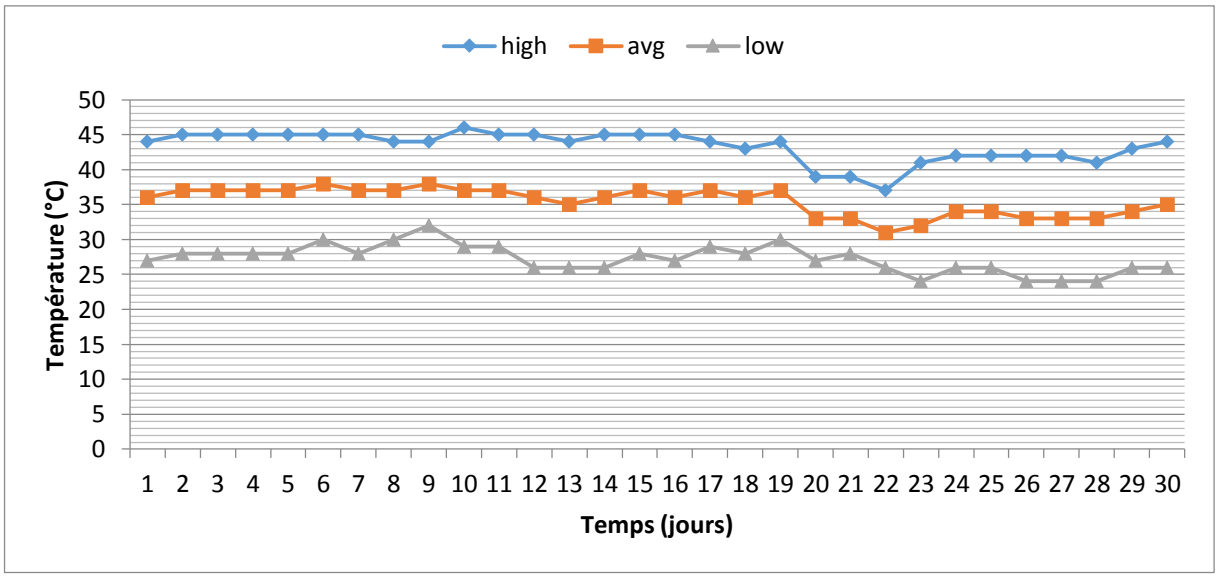

Figure II-9: Evolution de la température durant le mois de **September** 2014.

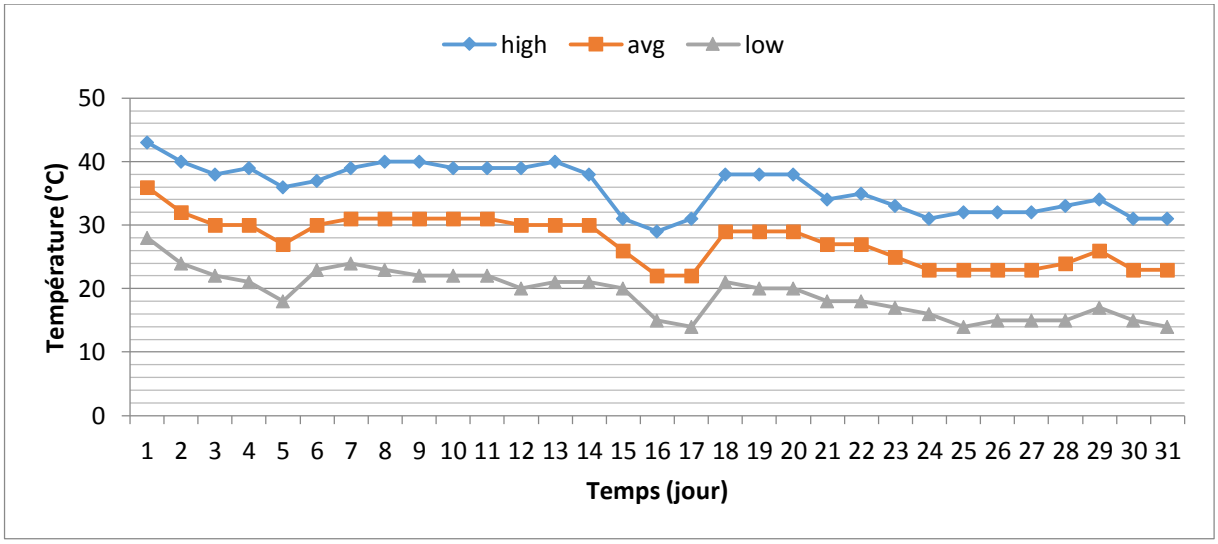

Figure II-10: Evolution de la température durant le mois d'**October** 2014.

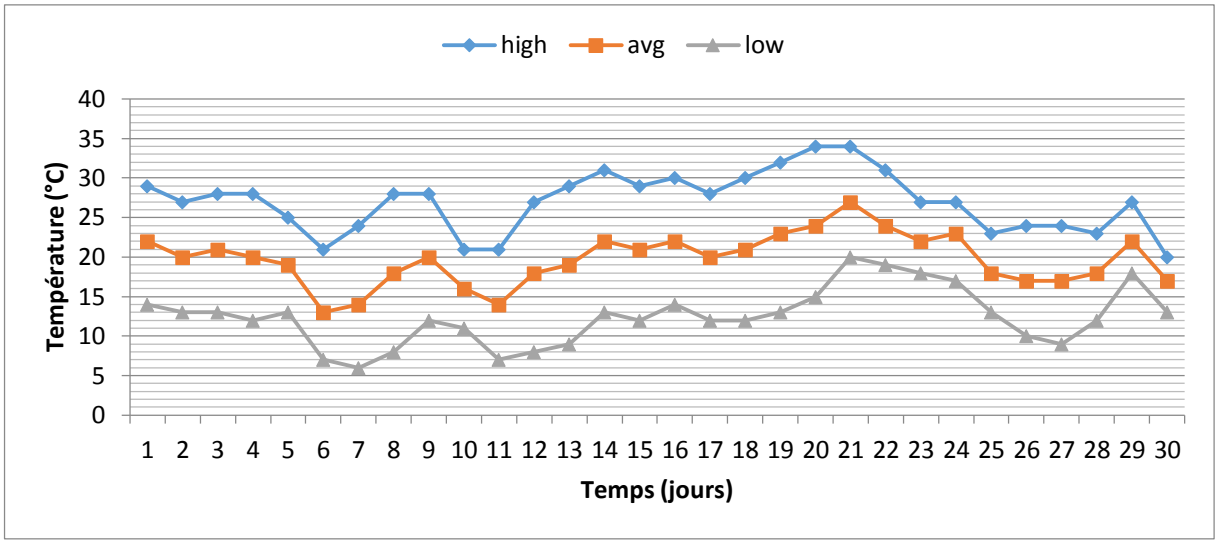

Figure II-11: Evolution de la température durant le mois de **Novembre** 2014.

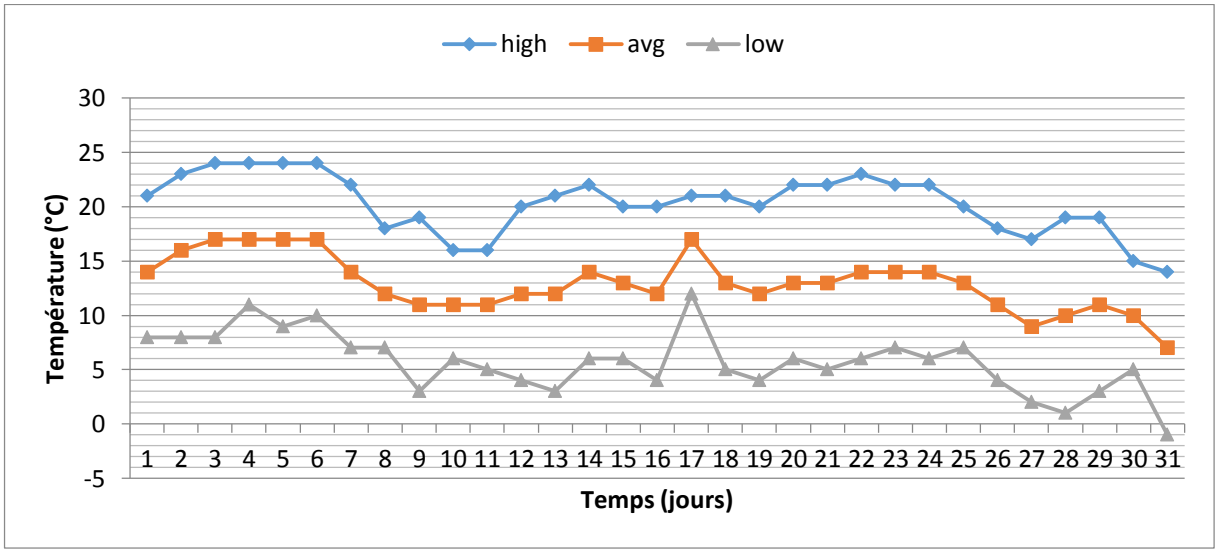

Figure II-12: Evolution de la température durant le mois de **Décembre** 2014.

II.2.2-La température durant quelques mois de l'année 2015 :

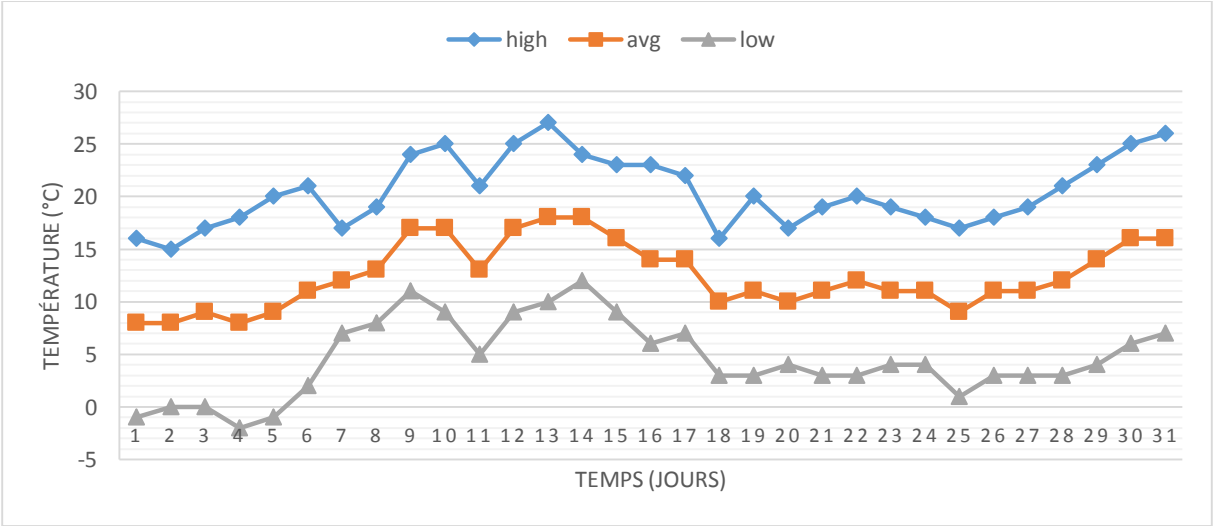

Figure II-13: Evolution de la température durant le mois de **Janvie** 2015.

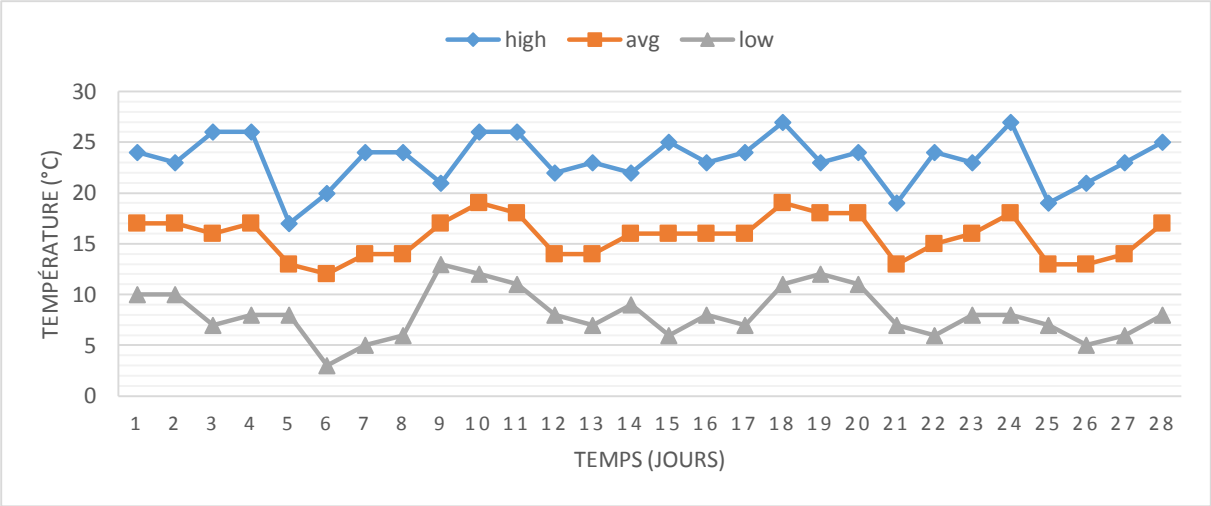

Figure II-14: Evolution de la température durant le mois de **Février** 2015.

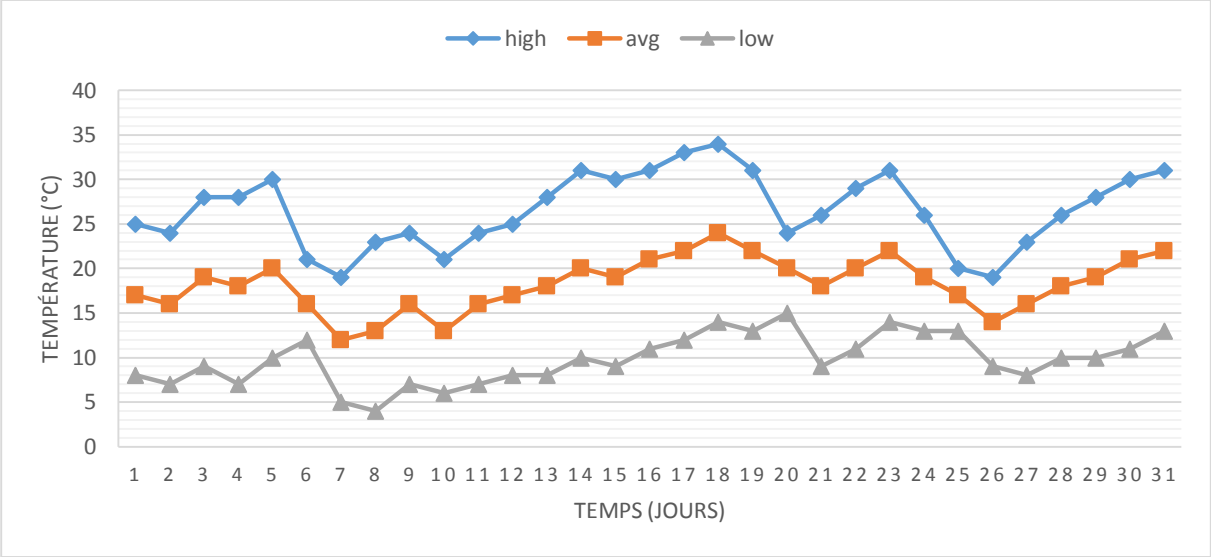

Figure II-15: Evolution de la température durant le mois de **Mars** 2015.

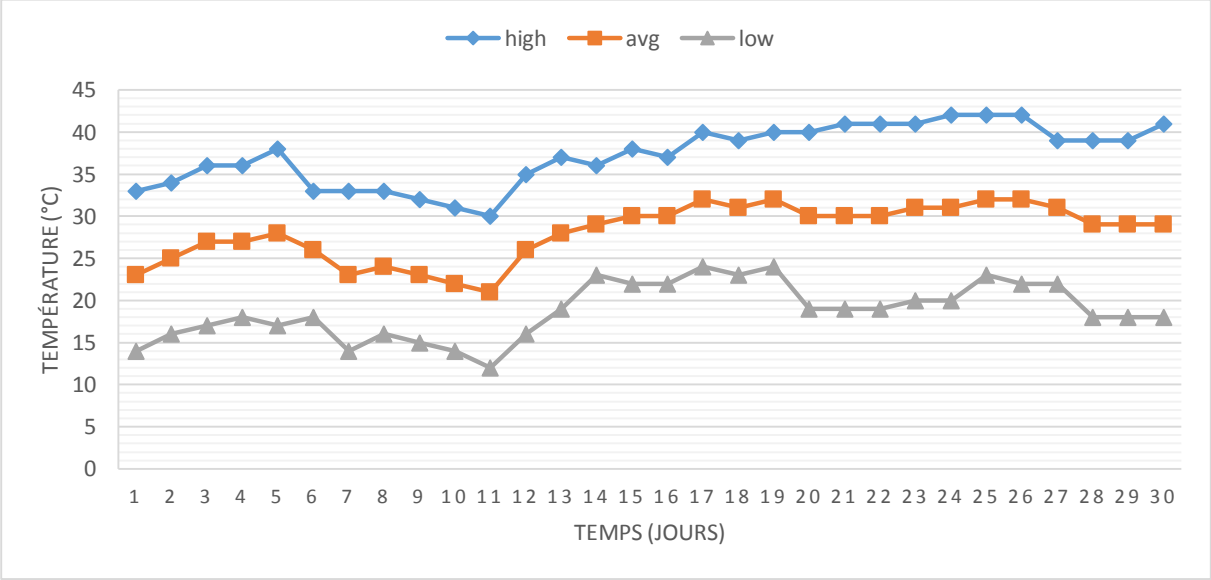

Figure II-16: Evolution de la température durant le mois de **Avril** 2015.

II.3. Evolution de la pression sur le site d'Adrar :

II.3.1-La Pression durant l'année 2014 :

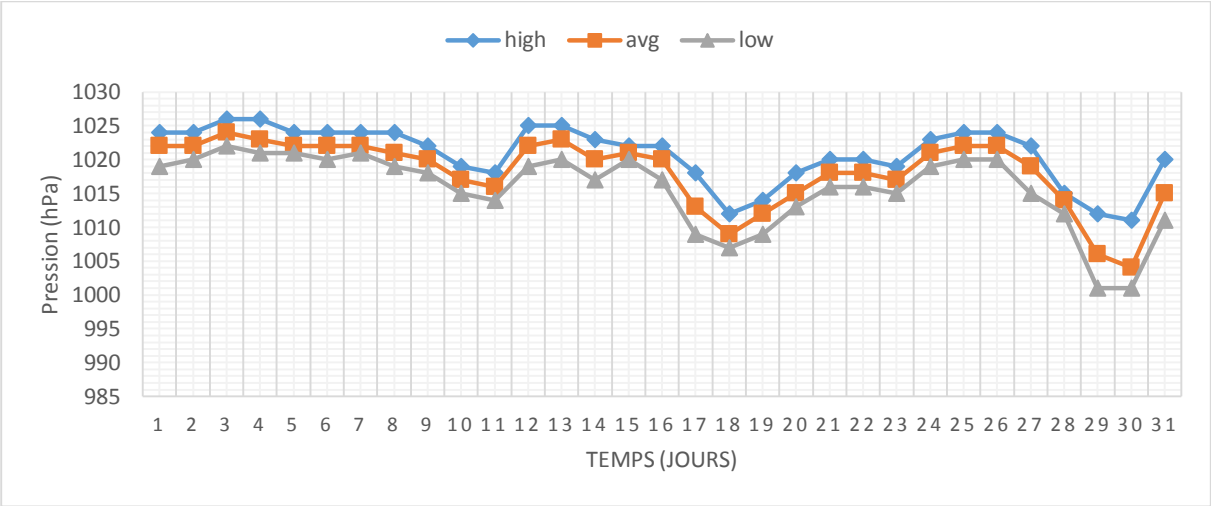

Figure II-17: Variation de la pression durant le mois **Janvier 2014.**

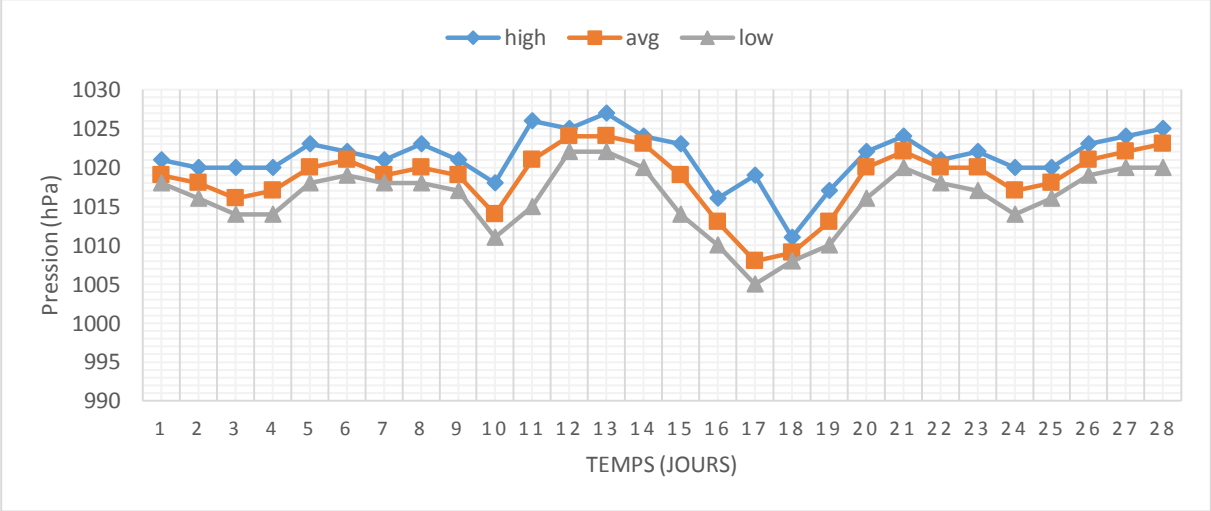

Figure II-18: Variation de la pression durant le mois **Février 2014.**

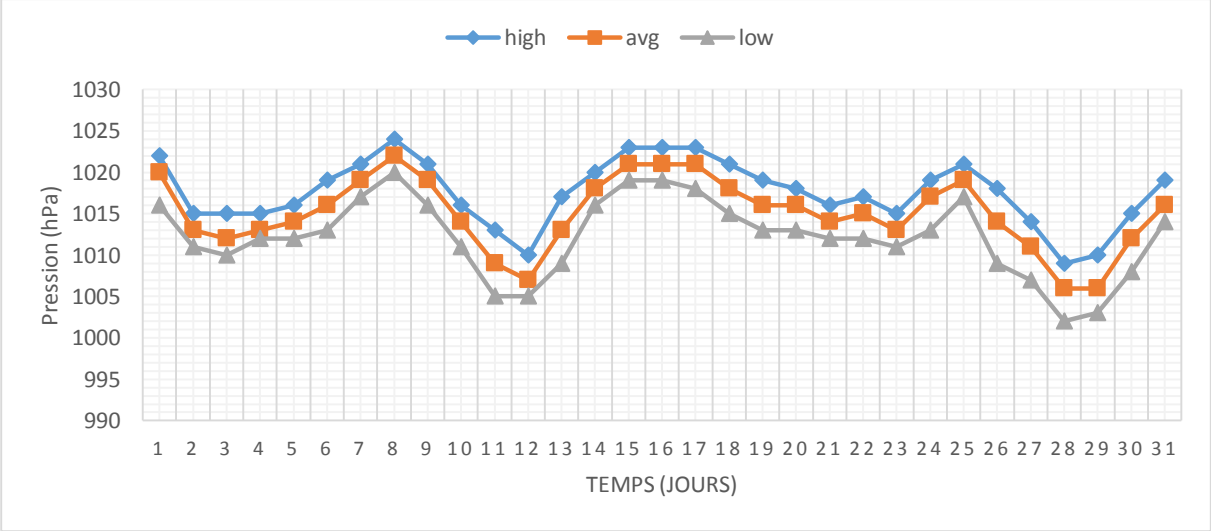

Figure II-19: Variation de la pression durant le mois **Mars 2014.**

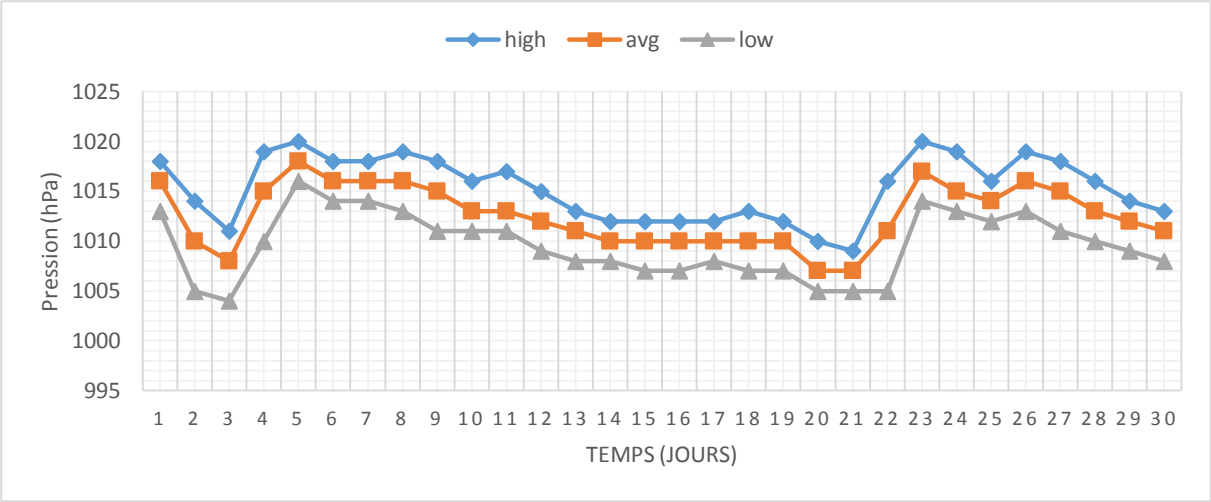

Figure II-20: Variation de la pression durant le mois **Avril 2014.**

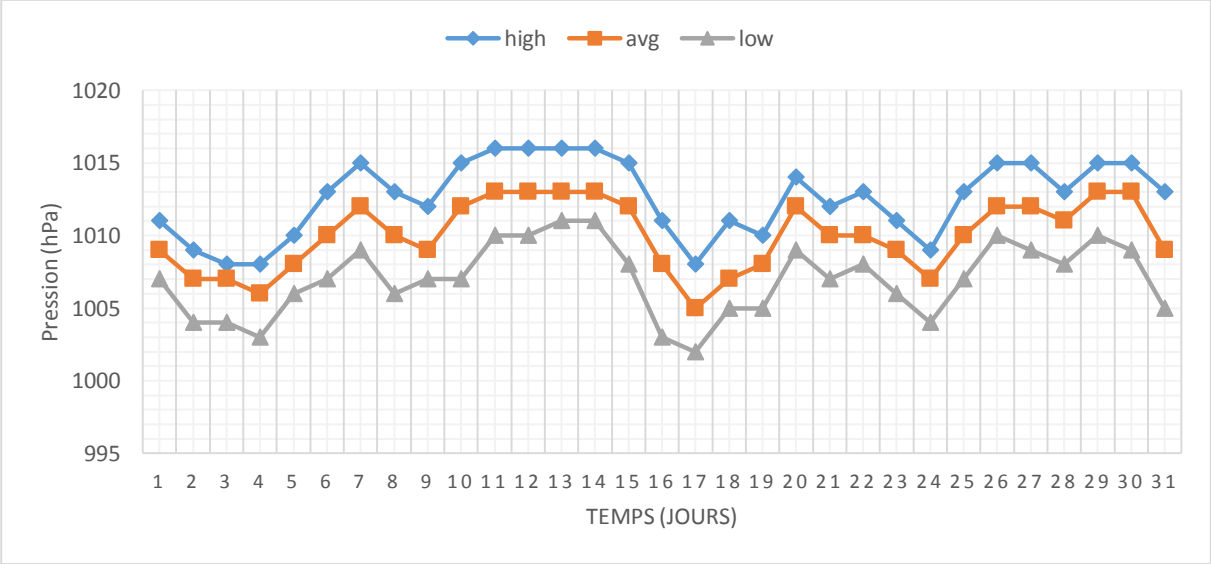

Figure II-21: Variation de la pression durant le mois **Mai 2014.**

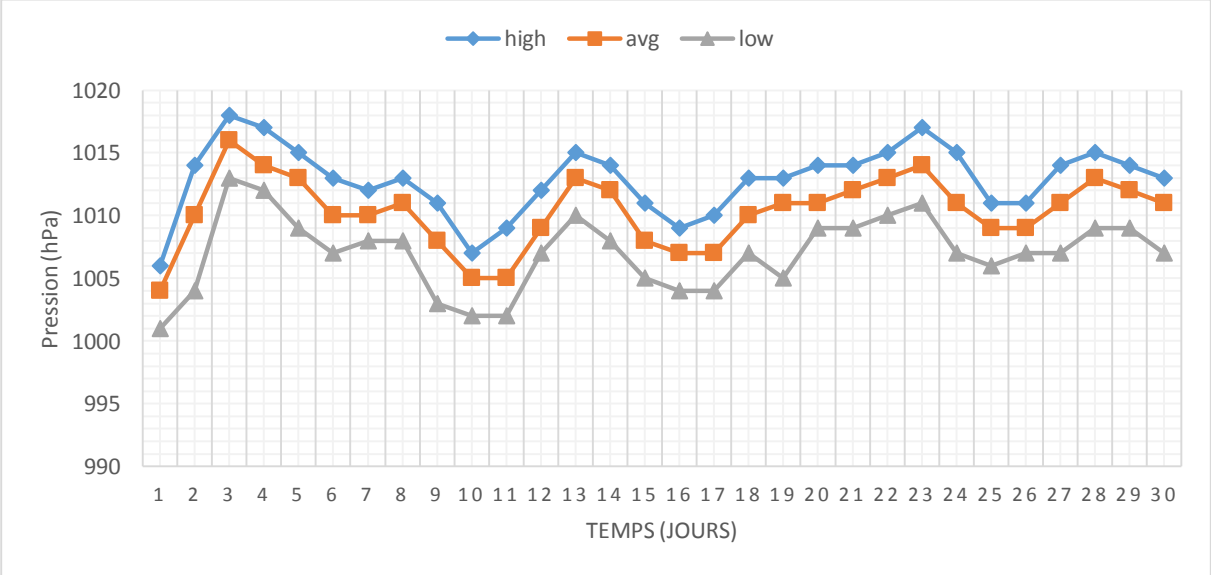

Figure II-22: Variation de la pression durant le mois **Juin 2014.**

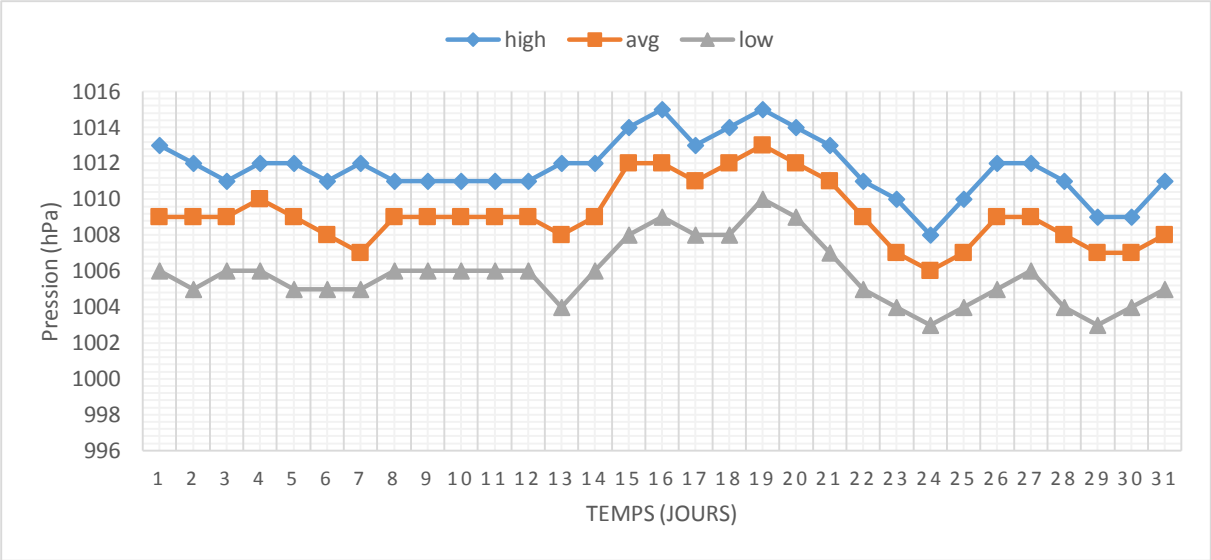

Figure II-23: Variation de la pression durant le mois **Juillet 2014.**

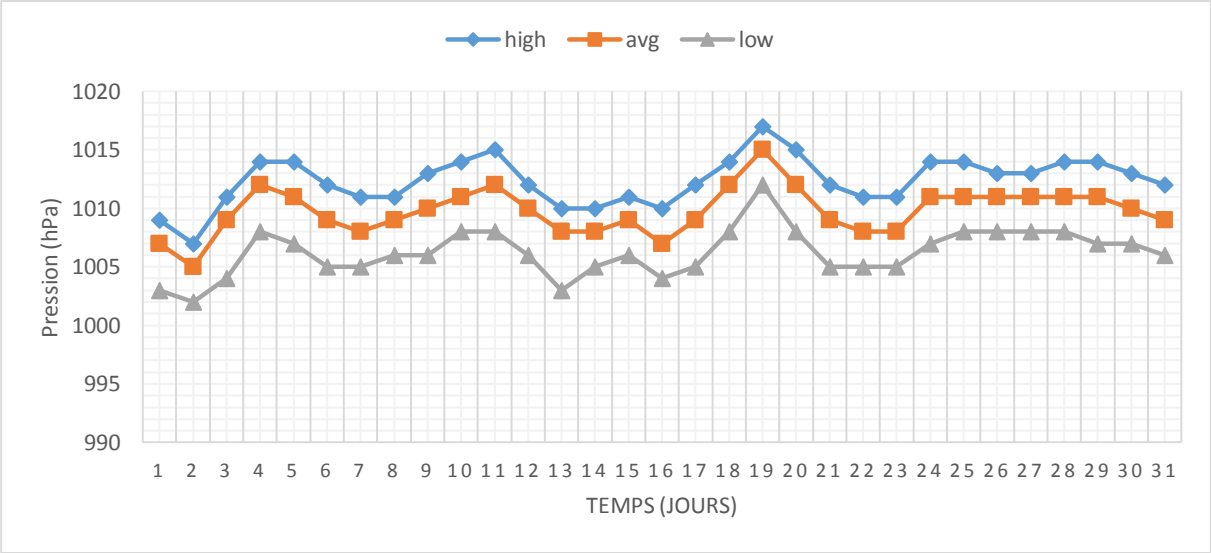

Figure II-24: Variation de la pression durant le mois **Août 2014.**

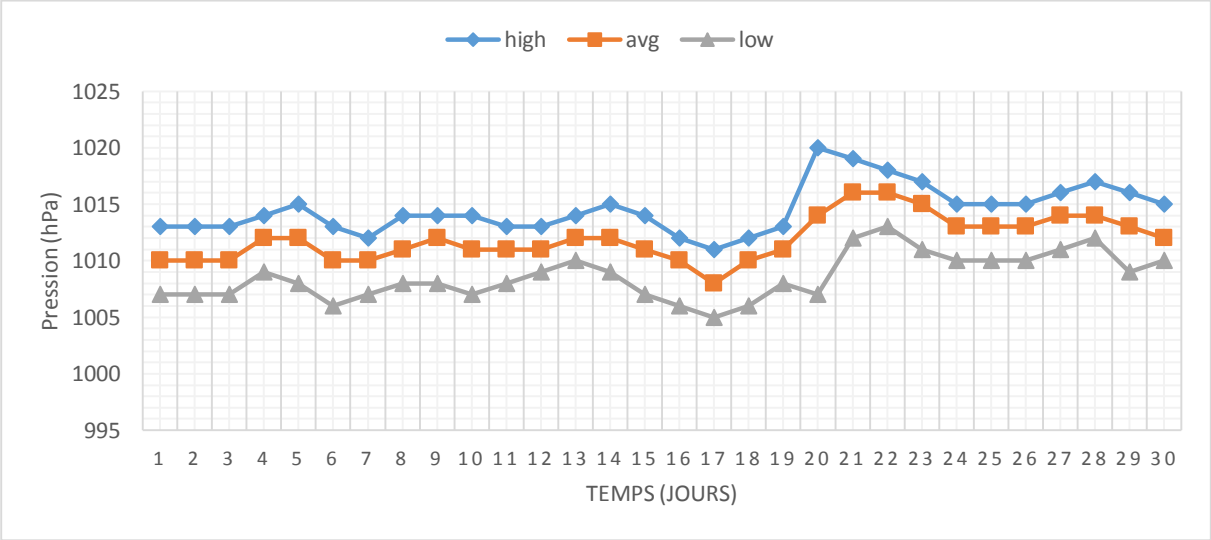

Figure II-25: Variation de la pression pendant le mois **Septembre2014.**

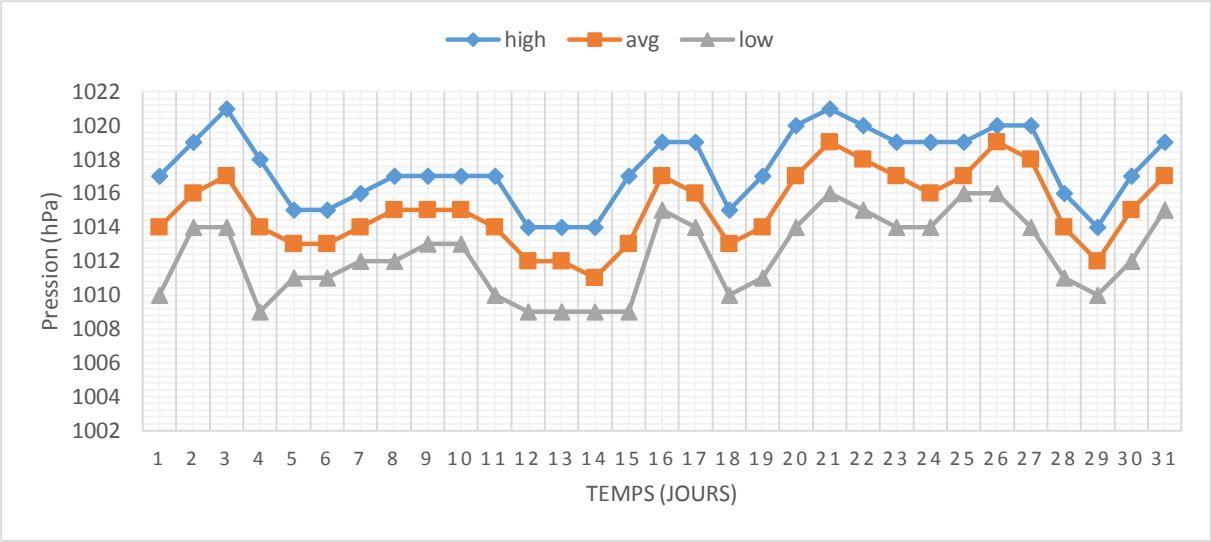

Figure II-26: Variation de la pression pendant le mois **Octobre 2014.**

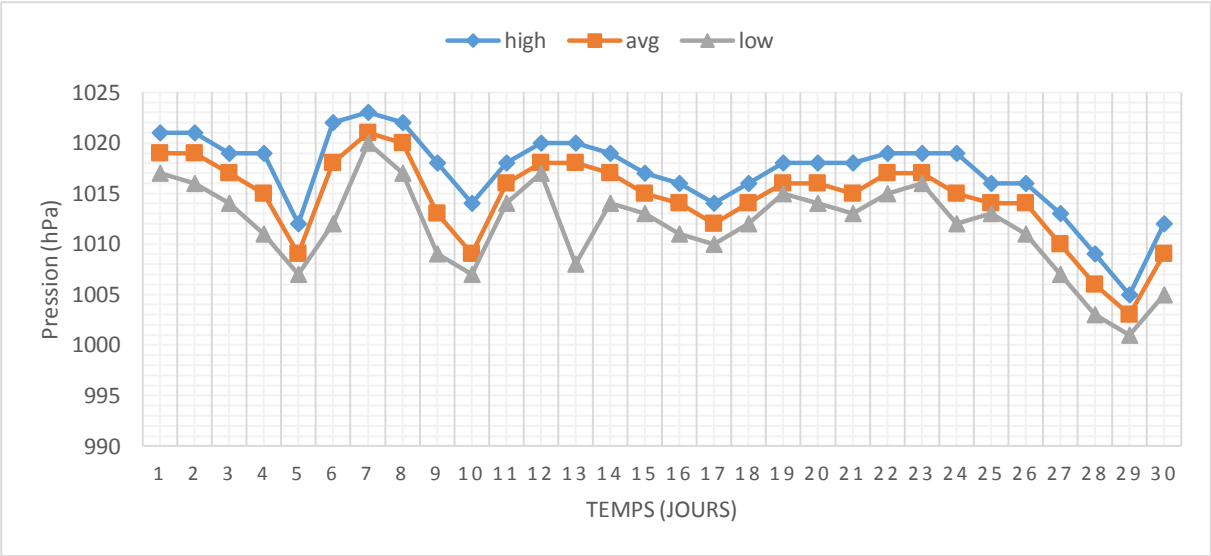

Figure II-27: Variation de la pression pendant le mois **Novembre 2014.**

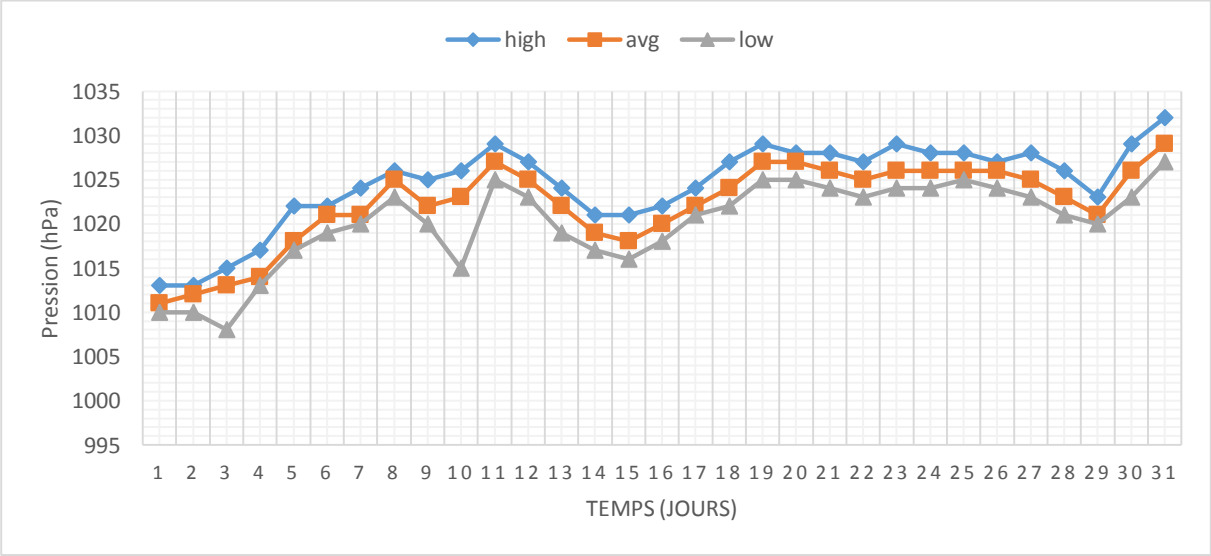

Figure II-28: Variation de la pression pendant le mois **Décembre 2014.**

II.3.2-La pression durant quelques mois de l'année 2015 :

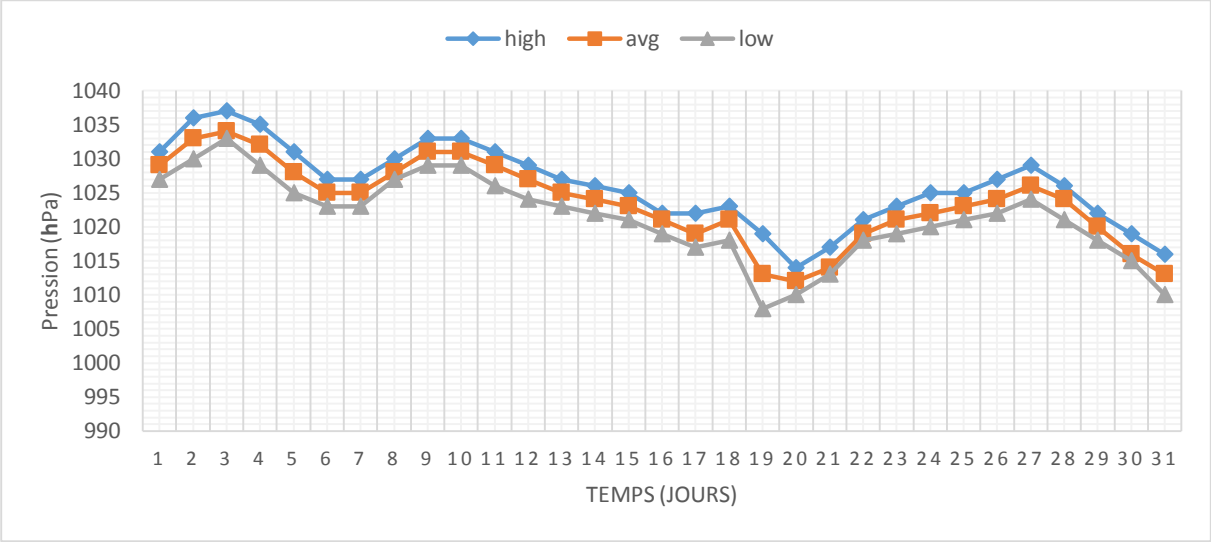

Figure II-29: Variation de la pression pendant le mois **Janvier 2015.**

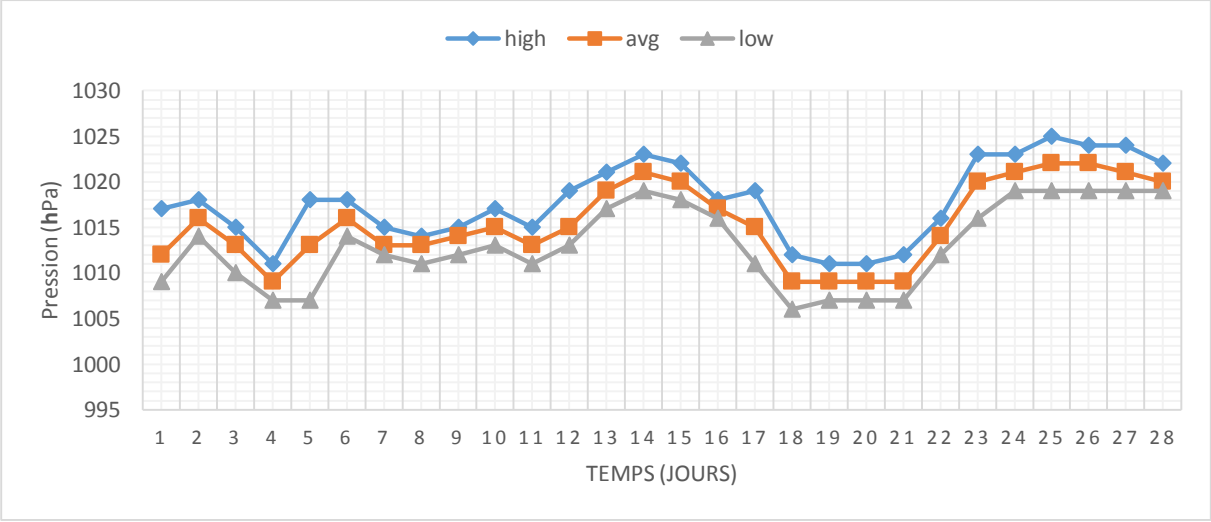

Figure II-30: Variation de la pression pendant le mois **Février 2015.**

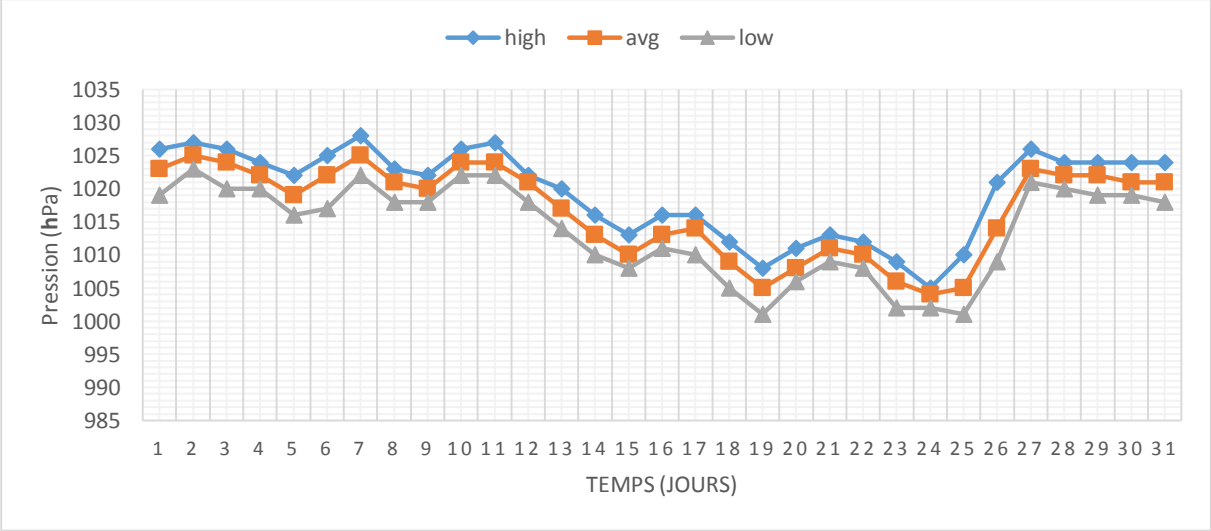

Figure II-31: Variation de la pression pendant le mois **Mars 2015.**

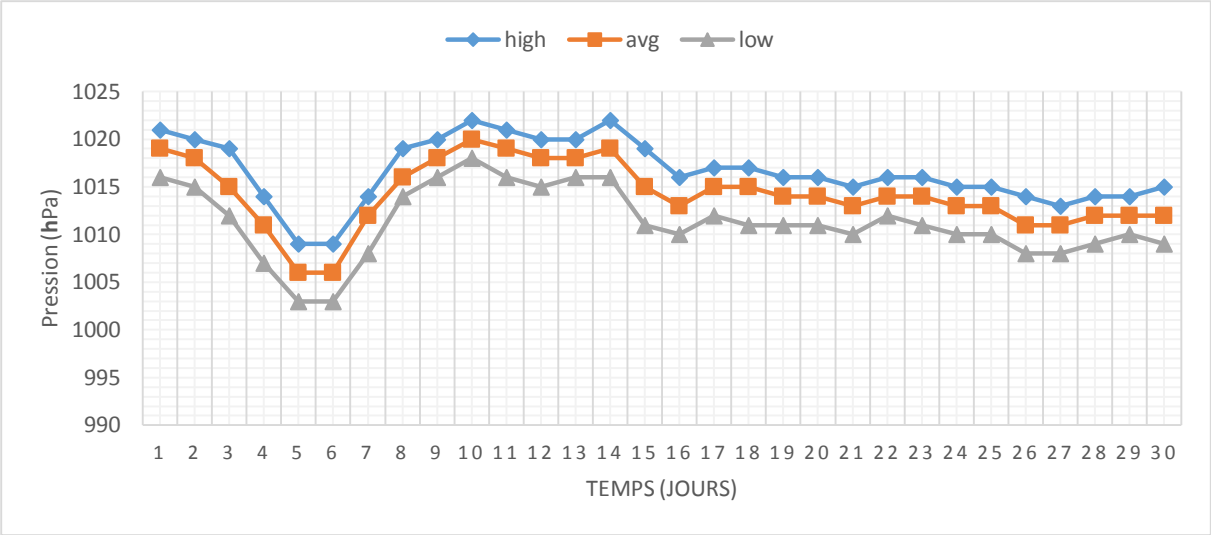

Figure II-32: Variation de la pression pendant le mois **Avril 2015.**

II.4. Discussion des résultats:

Les courbes des figures II-1 au II-16 qui traduisent l'évolution de la température dans la zone d'Adrar, montrent que la température,

- Au cours de la période de mesures varie considérablement au cours de l'année.
- Elle retrouve ses valeurs maximales pour les mois d'été, tandis que ses valeurs minimales sont observées pour les mois d'hiver.
- Elle oscille entre 30 et 50°C dans les mois de Juin, Juillet, Août et septembre tandis que dans les mois d'Octobre, Novembre et Décembre, elle varie entre 20 et 35°C.

Ces résultats montrent que la température varie en général entre 20 et 50 °C environ au cours de cette campagne de mesures dans la zone d'Adrar.

Les variations des courbes de la figure II-17 au II-32 révèlent que la pression atmosphérique dans la zone d'Adrar,

- Varie de façon légère au cours de l'année.
- Retrouve ses valeurs minimales aux mois d'été, tandis que ses valeurs maximales apparaissent aux mois d'hiver.
- Oscille entre 1010 et 1015 hPa au cours des mois de Juin, Juillet, Août et Septembre 2014, tandis qu'elle varie entre 1015 et 1030 hPa au cours des mois d'Octobre, Novembre et Décembre.

Ces résultats montrent qu'au cours de chaque mois, la pression atmosphérique dans Adrar varie de façon régulière au cours de chaque journée entre 1015 et 1025 hPa. Elle est faible dans le troisième trimestre de l'année d'étude et forte dans le dernier.

II.5. Conclusion :

La température et la pression jouent un rôle important dans les études éoliennes vues leurs influences considérables sur le mouvement d'air et par conséquent la vitesse du vent sur les sites d'implantation des parcs éoliens à travers le monde. Néanmoins, les hautes températures qui caractérisent le site d'Adrar à des effets indésirable sur le fonctionnement des aérogénérateurs qui nécessite des études judicieuses dans la partie électrique des éoliennes.

Bibliographie :

[1] S.M. El Moustapha, M.L. Ndiaye, P.A. Ndiaye, A.K.O. Mahmoud et I. Youm, 'Influence des Paramètres Météorologiques sur la Production d'un Aérogénérateur: Application sur le Littoral Sahélien', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°1, pp. 43 – 54, 2014.

[2] M.M. Ayiagnigni Gbambié, 'Analyse Statistique de Données de Vent Côtier au Nord du Golfe de Guinée', Rapport de Master, CIPMA/FAST/UAC/2012, pp 1-43.

[3] A.M. Houekpohéha, B. Kounouhéwa, B.N. Tokpohozin et N. Awanou, 'Estimation de la Puissance Energétique Eolienne à Partir de la Distribution de Weibull sur la Côte Béninoise à Cotonou dans le Golfe de Guinée', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°3, pp. 489 – 495, 2014.

CHAPITRE III

EVOLUTION DE L'HUMIDITE ET DE LA VITESSE DU VENT SUR SITE D'ADRAR

Chapitre III : Evolution de l'humidité et de la vitesse du vent sur site d'Adrar

III.1.Evolution de l'humidité dans le site d'Adrar :

III.1.1.Introduction:

L'air qui nous entoure renferme toujours une proportion d'eau sous forme de vapeur ; on qualifie cet air "d'air humide". En météorologie, il est important de connaître le taux d'humidité dans l'air ; il nous renseigne sur la possibilité de formation de nuages et de précipitations. [1]

L'humidité c'est la quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans l'air. Il existe trois types d'humidité :

- **L'humidité absolue** qui correspond à la quantité de vapeur d'eau en grammes contenue dans un volume d'un mètre cube d'air. La quantité de vapeur d'eau que peut contenir l'air est limitée. L'humidité absolue de saturation correspond à la quantité de vapeur d'eau maximale que peut contenir un mètre cube d'air, sans condensation. [1]

La forme fondamentale de l'humidité absolue est :

$$\textbf{Humidité absolue } \left({}^{\mathbf{g}}/_{\mathbf{m^3}}\right) = \frac{\textbf{Masse de vapeur d'eau (g)}}{\textbf{Volume de l'air (m}^{\mathbf{3}}\textbf{)}} \qquad \textbf{(III-1)}$$

L'humidité absolue est une donnée assez peu employée par les météorologistes, car elle ne caractérise pas suffisamment un état particulier d'une masse d'air atmosphérique. [2]

- **L'humidité spécifique** : c'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau et le volume d'air humide dans lequel cette quantité de vapeur d'eau est contenue [2].

$$\textbf{Humidité spécifique} = \frac{\textbf{Masse de vapeur d'eau(g)}}{\textbf{Masse totale de l'airhumide (g)}} \qquad \textbf{(III-2)}$$

L'humidité spécifique se conserve lors d'un changement d'altitude ou de température de la masse d'air, tant qu'il n'y a ni condensation ni évaporation. La raison est qu'un kilogramme d'air ou de vapeur reste un kilogramme, indépendamment de la pression ou de la température de l'air. Ainsi lorsque l'on donne l'humidité spécifique, l'altitude de la parcelle d'air n'a pas d'importance. Ceci reste valable tant que la quantité de vapeur reste constante, il ne doit donc pas y avoir de changement d'état physique [1].

- **L'humidité relative** : c'est le rapport de la quantité d'eau présente dans l'air sur la quantité d'eau maximale. L'humidité relative, exprimée le plus souvent en pourcentage (%) [3]. Lorsque l'humidité relative atteint 100 %, on dit qu'il y a saturation ou que l'air est saturé en vapeur d'eau. L'humidité relative se mesure avec **un hygromètre** ou **un psychromètre**

$$H_r = \left[{}^{P_V}/_{P_S}\right].100\% \qquad \textbf{(III-3)}$$

Hr : l'humidité relative.

P_v : pression de la vapeur d'eau.

$P_s(T)$: pression de la vapeur d'eau saturée.

L'humidité relative varie en fonction de la température. Elle baisse lorsque la température s'élève et augmente lorsque la température baisse [3].

III.1.2.Les résultats :

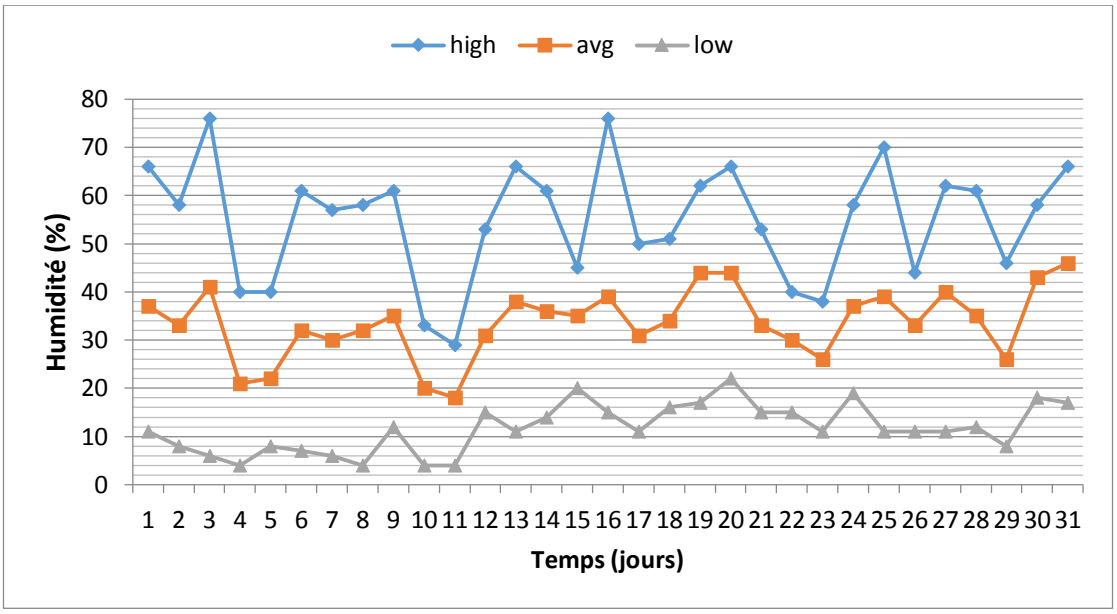

Figure III-1: Evolution de l'humidité durant le mois de **Janvier** 2014.

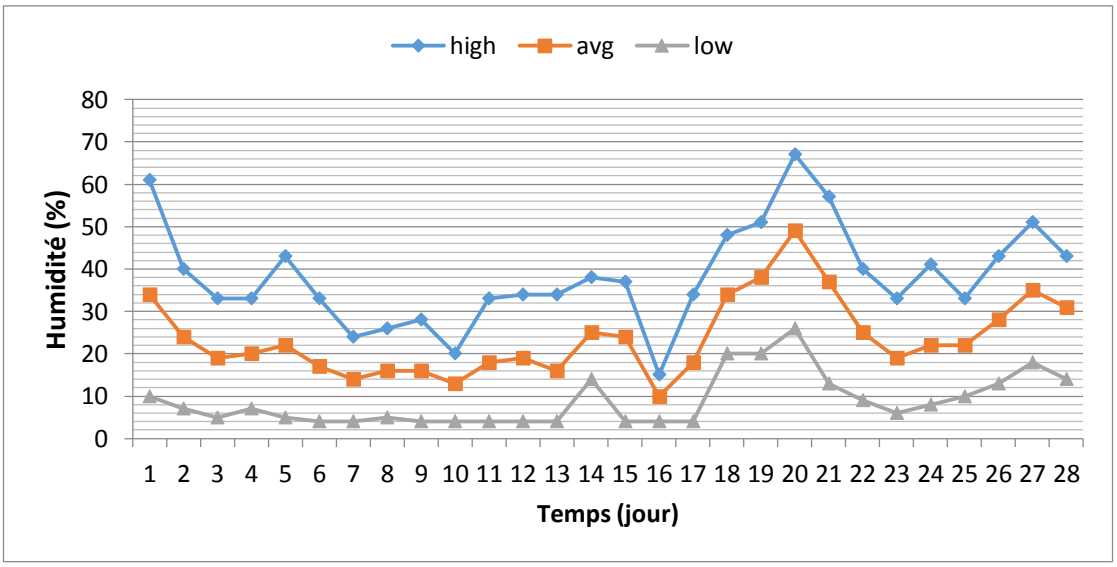

Figure III-2: Evolution de l'humidité durant le mois de **Février** 2014.

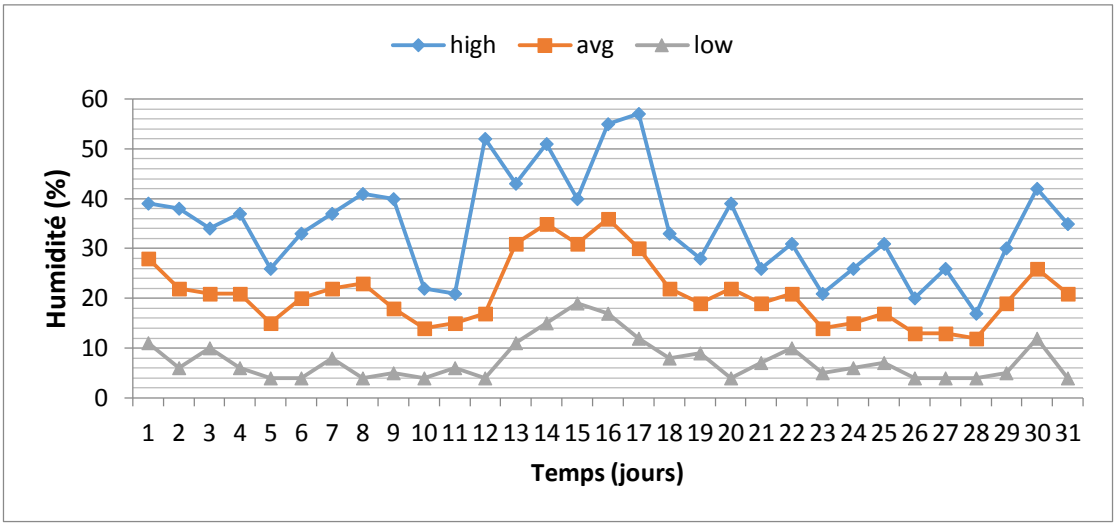

Figure III-3: Evolution de l'humidité durant le mois de **Mars** 2014.

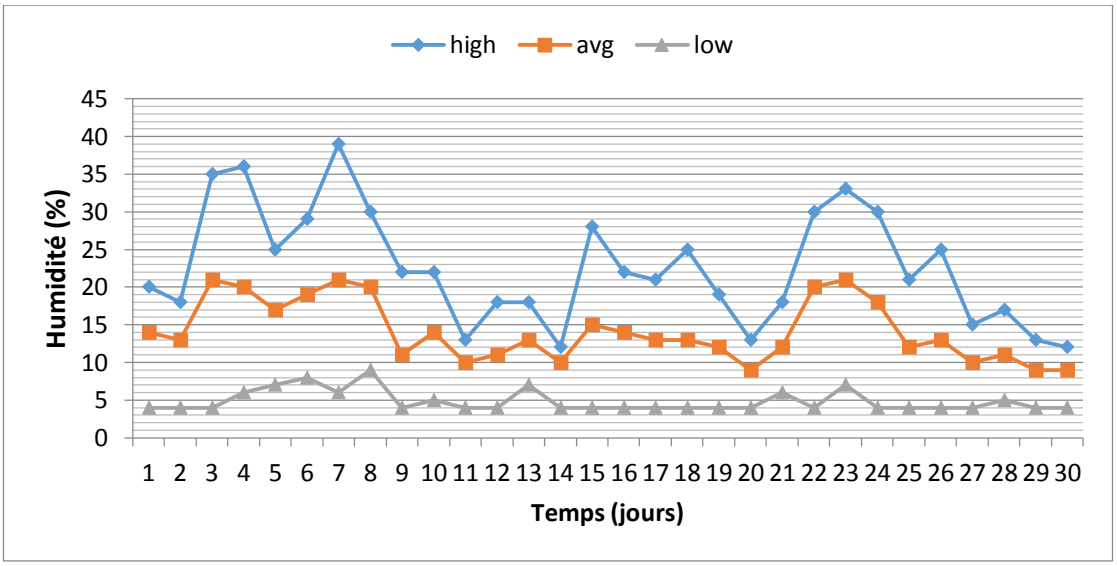

Figure III-4: Evolution de l'humidité durant le mois de **Avril** 2014.

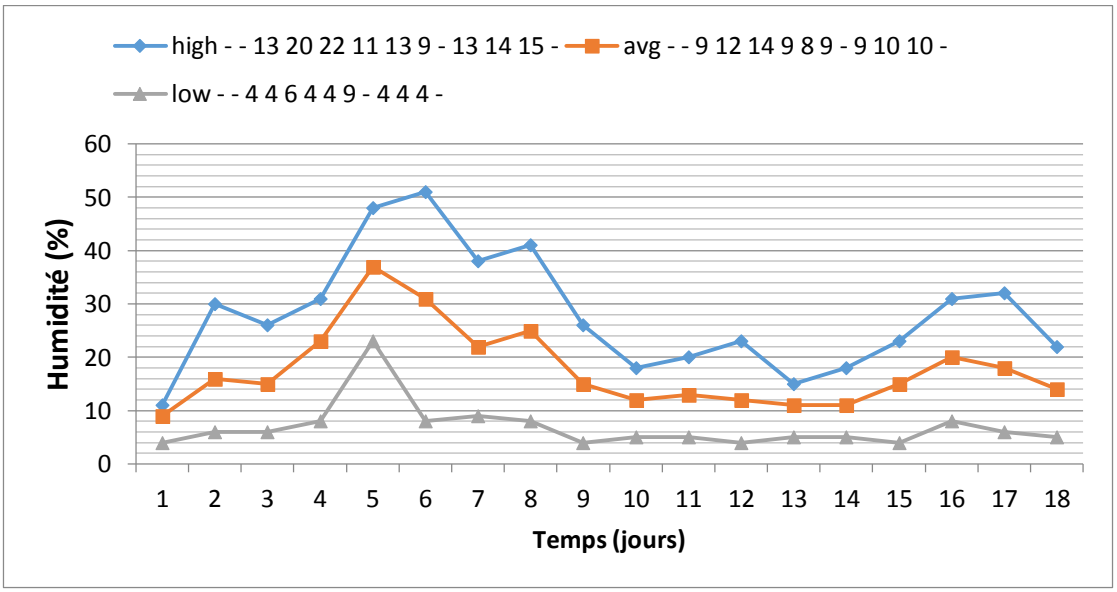

Figure III-5: Evolution de l'humidité durant le mois de **Mai** 2014.

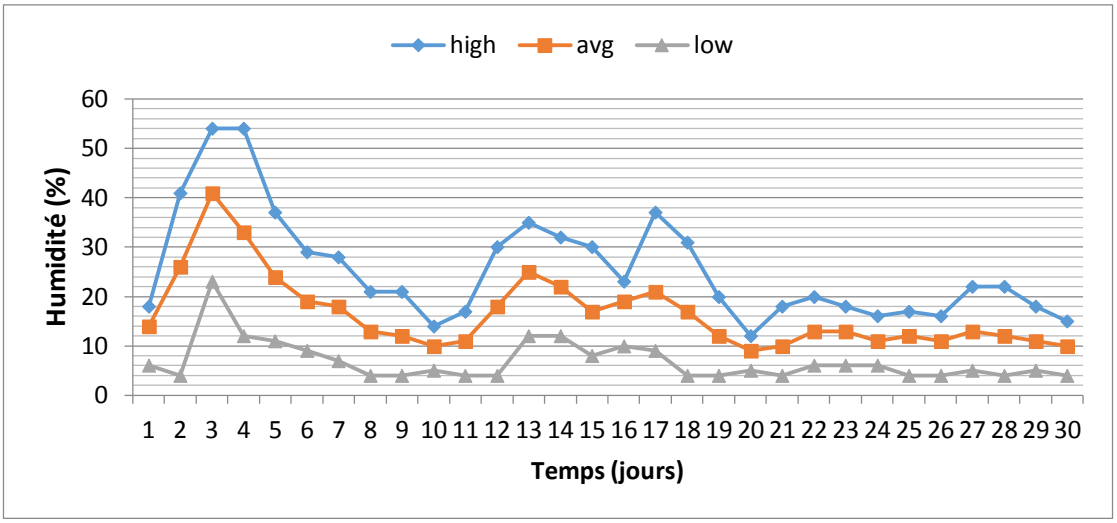

Figure III-6: Evolution de l'humidité durant le mois de **Juin** 2014.

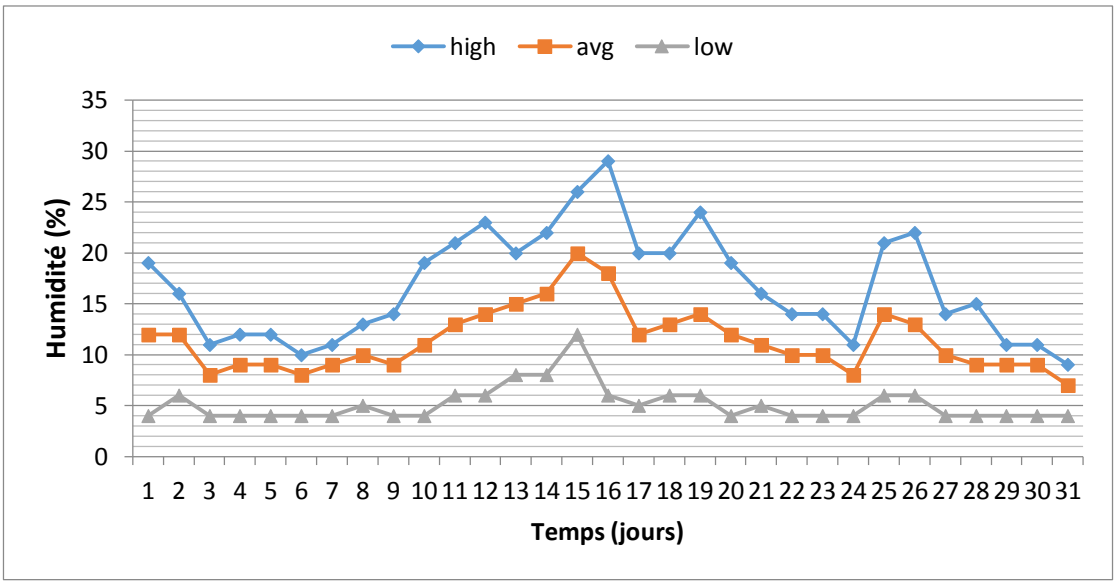

Figure III-7: Evolution de l'humidité durant le mois de **Juillet** 2014.

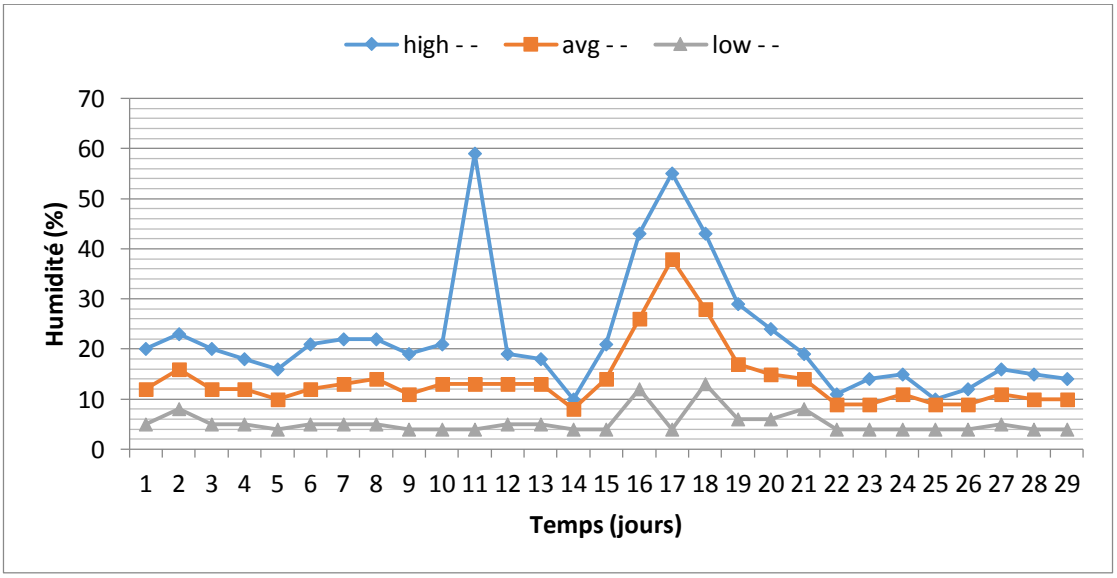

Figure III-8: Evolution de l'humidité durant le mois de **Août** 2014.

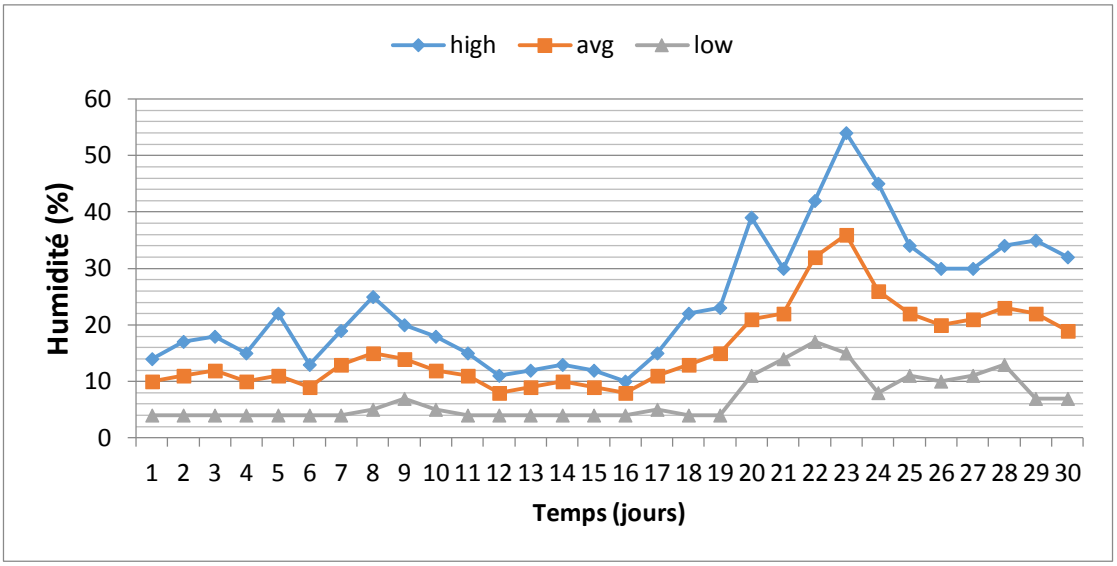

Figure III-9: Evolution de l'humidité durant le mois de **Septembre** 2014.

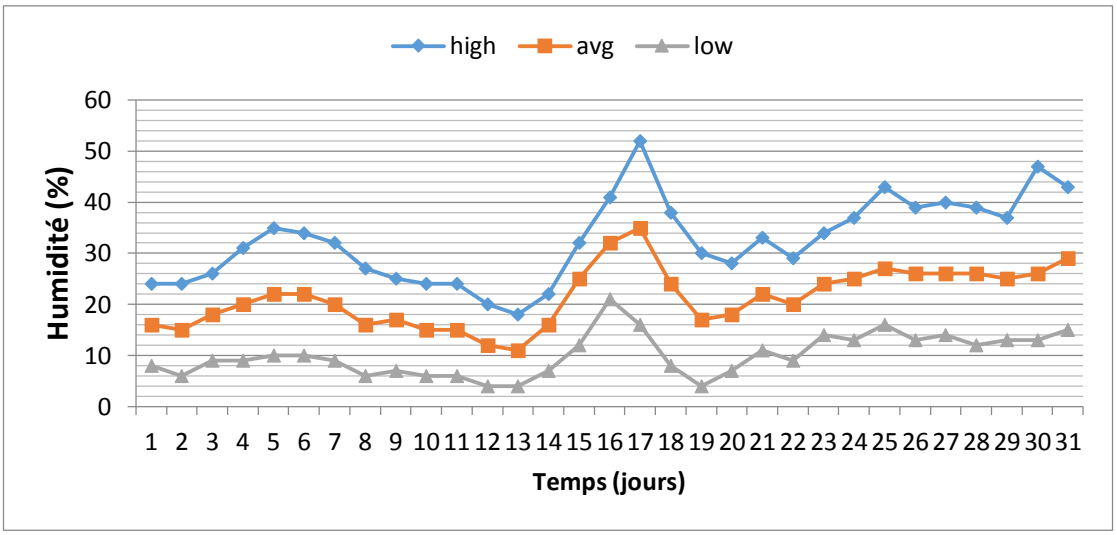

Figure III-10: Evolution de l'humidité durant le mois d'**Octobre** 2014.

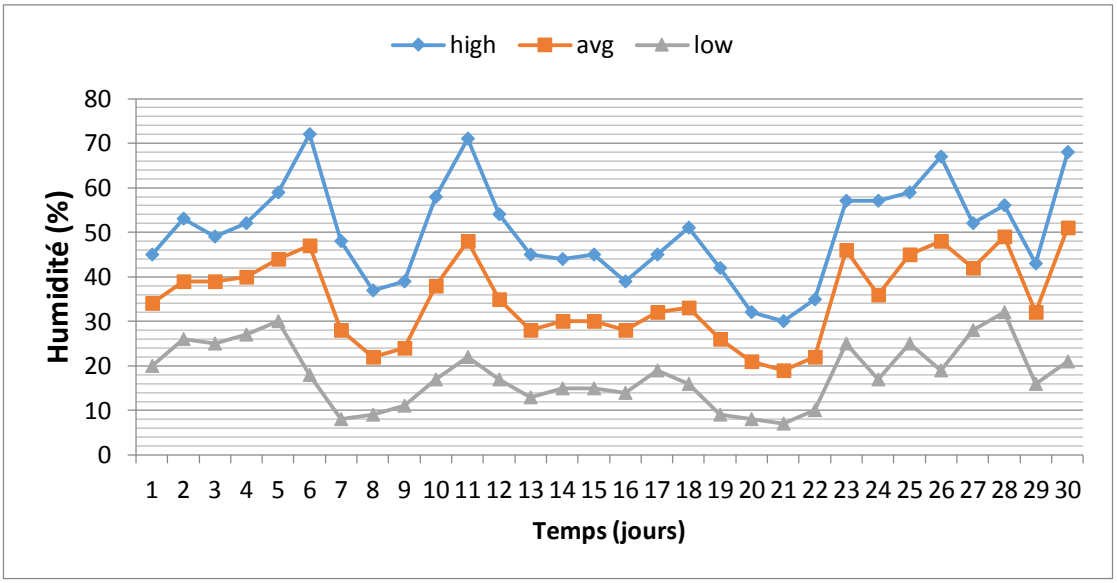

Figure III-11: Evolution de l'humidité durant le mois de **Novembre** 2014.

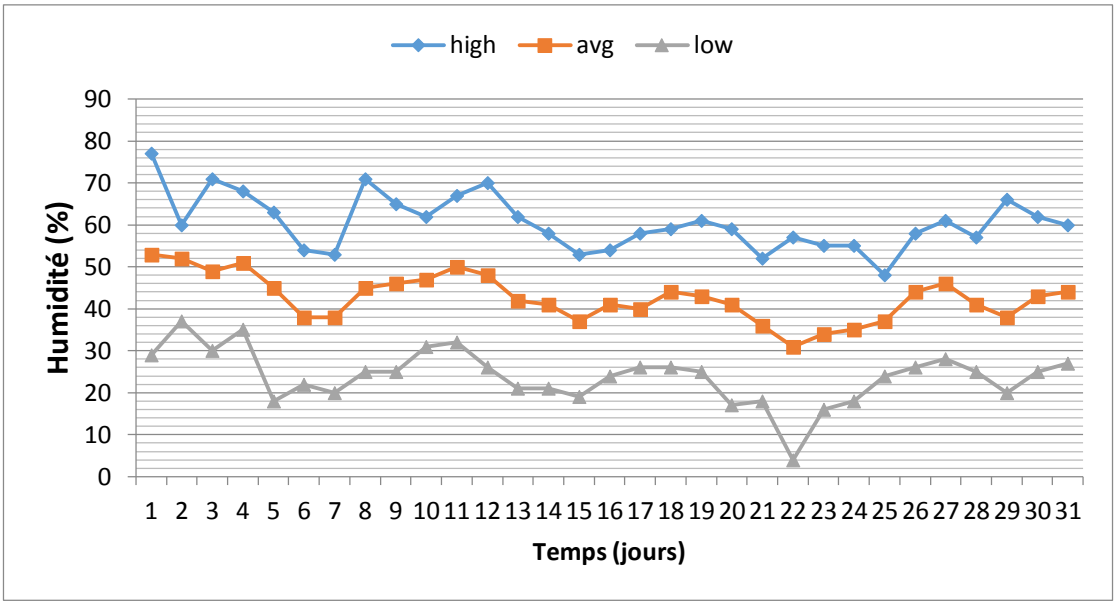

Figure III-12: Evolution de l'humidité durant le mois de **Décembre** 2014.

III.1.3.La Discussion des résultats :

Les courbes des figures III-1 au III-12 qui traduisent l'évolution de l'humidité relative durant l'année 2014, révèlent que,

- L'humidité relative, au cours de la période de mesures, varie de façon alternative au cours de chaque mois.
- Elle retrouve ses valeurs maximales aux mois d'hiver et ses valeurs minimales aux mois d'été.
- Elle oscille entre 15 et 35 % dans les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre.
- Dans les mois d'Octobre et de Novembre 2014, elle varie entre 35 et 70 %.
- Elle est très instable dans le mois de Décembre et plus forte dans les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre.

Ces résultats montrent que l'humidité relative varie en générale entre 15 et 70 % au cours de cette campagne de mesure dans la zone d'Adrar.

III.2. Evolution de la vitesse du vent sur site d'Adrar :

III.2.1.Introduction:

La température et la pression atmosphérique ont une influence directe sur la densité de l'air. Cela influe sur la vitesse du vent et par conséquent sur la production éolienne d'un éventuel parc. [4]

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 (**tout simplement pour mesurer la vitesse du vent**)**, la **girouette (**qui est mesuré la direction du vent**)** 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 [4].

III.2.2.Vitesse du vent mensuelle dans le site d'Adrar :

III.2.2.1- Pour l'année 2013 :

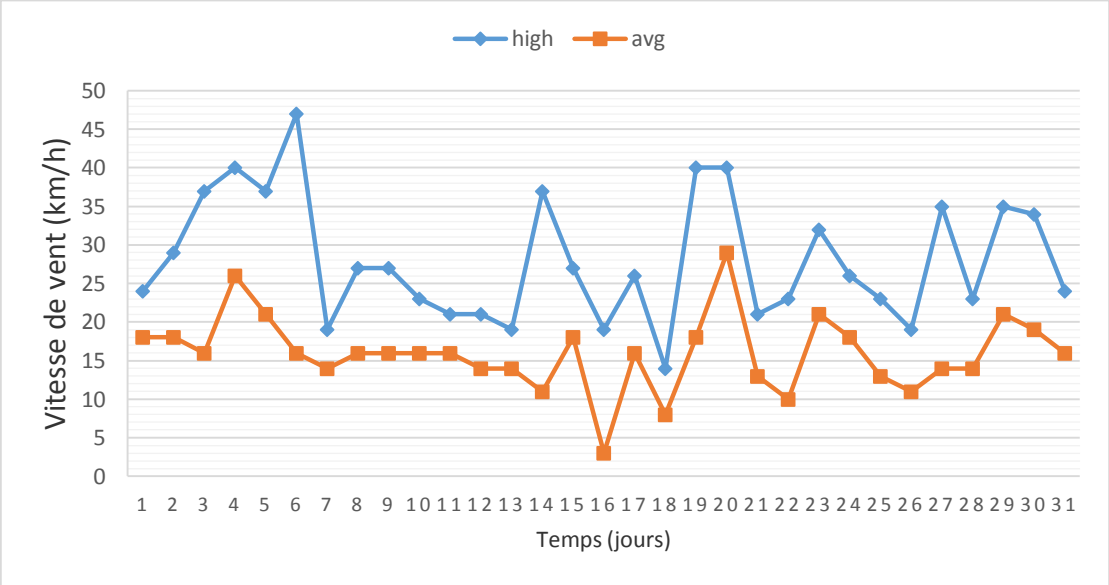

Figure III-13:Variation journalière de la Vitesse du vent (**Janvier** 2013).

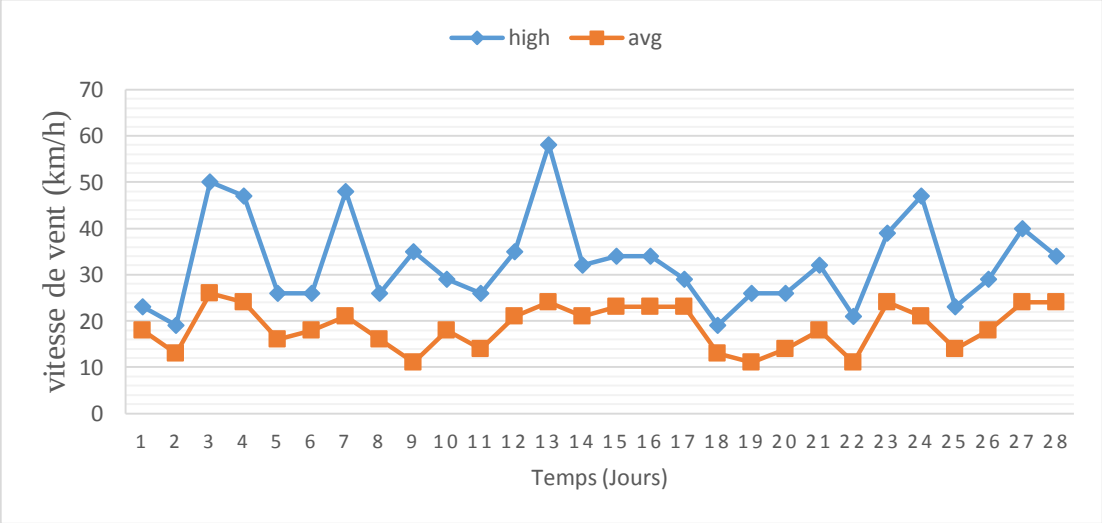

Figure III-14: Variation journalière de la vitesse du vent (**Février** 2013).

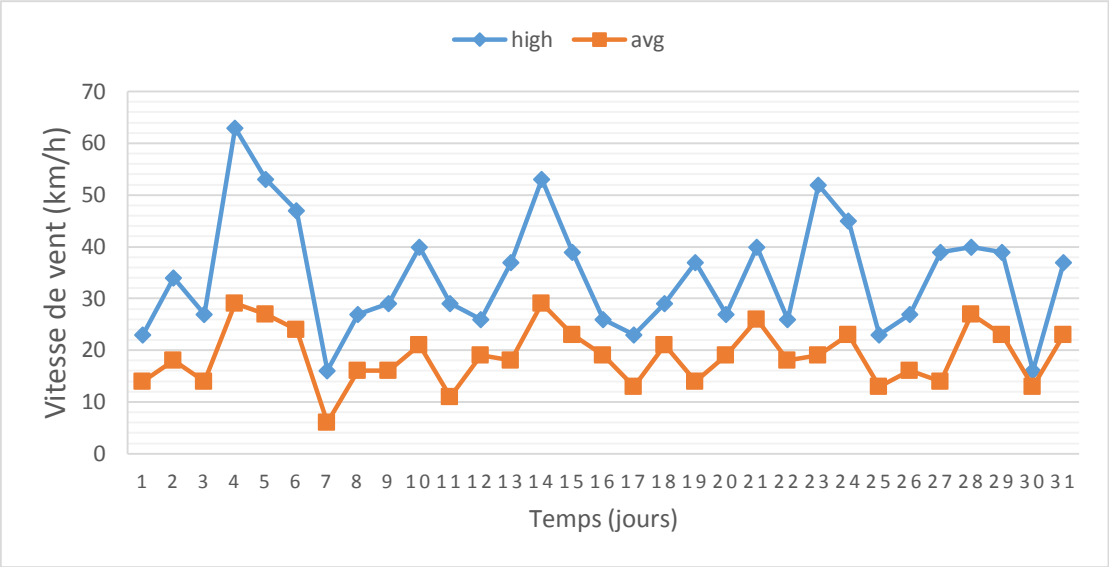

Figure III-15: Variation journalière de la vitesse du vent (**Mars** 2013).

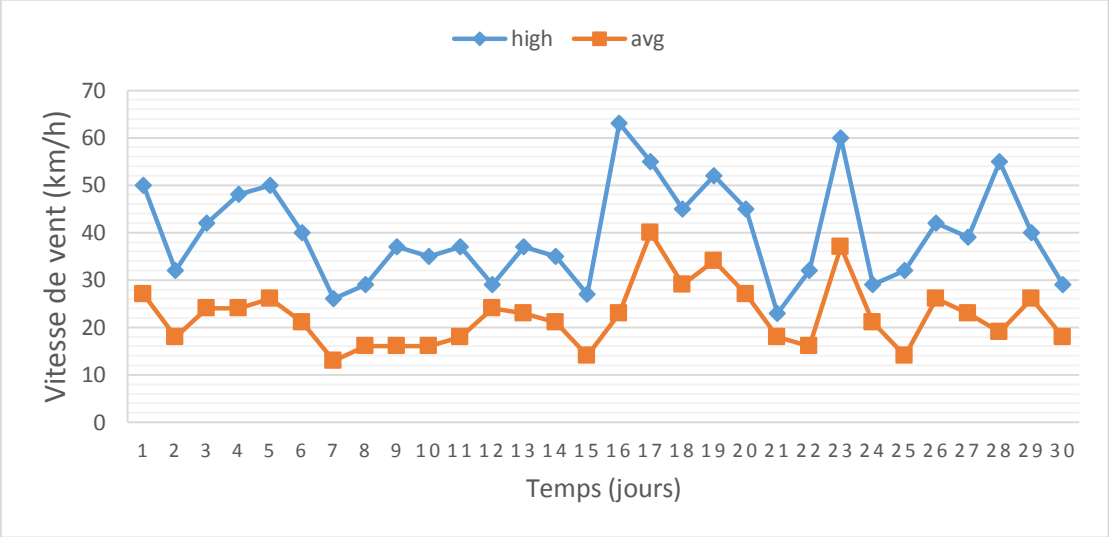

Figure III-16: Variation journalière de la vitesse du vent (**Avril** 2013).

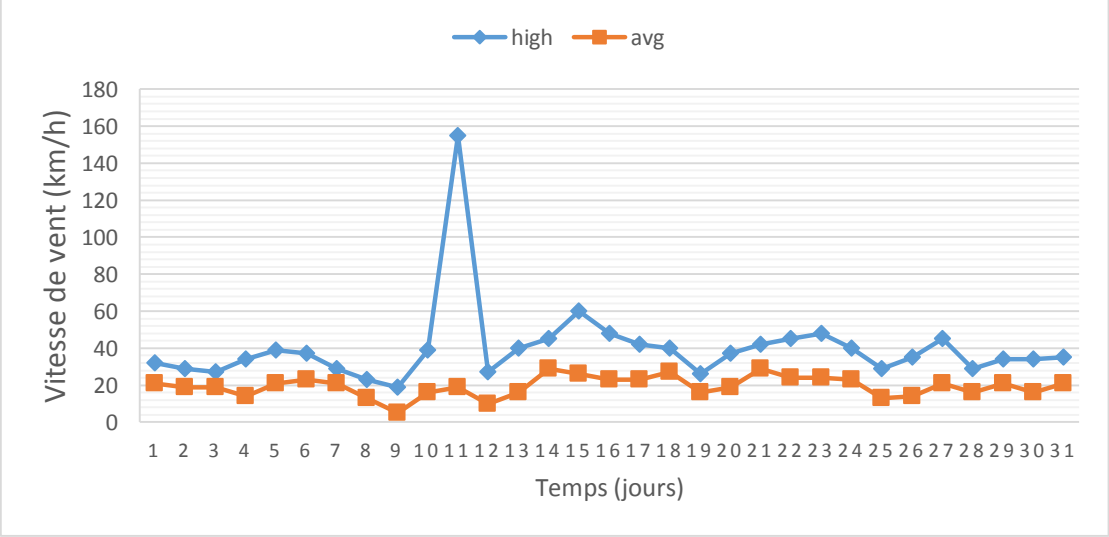

Figure III-17: Variation journalière de la vitesse du vent (**Mai** 2013).

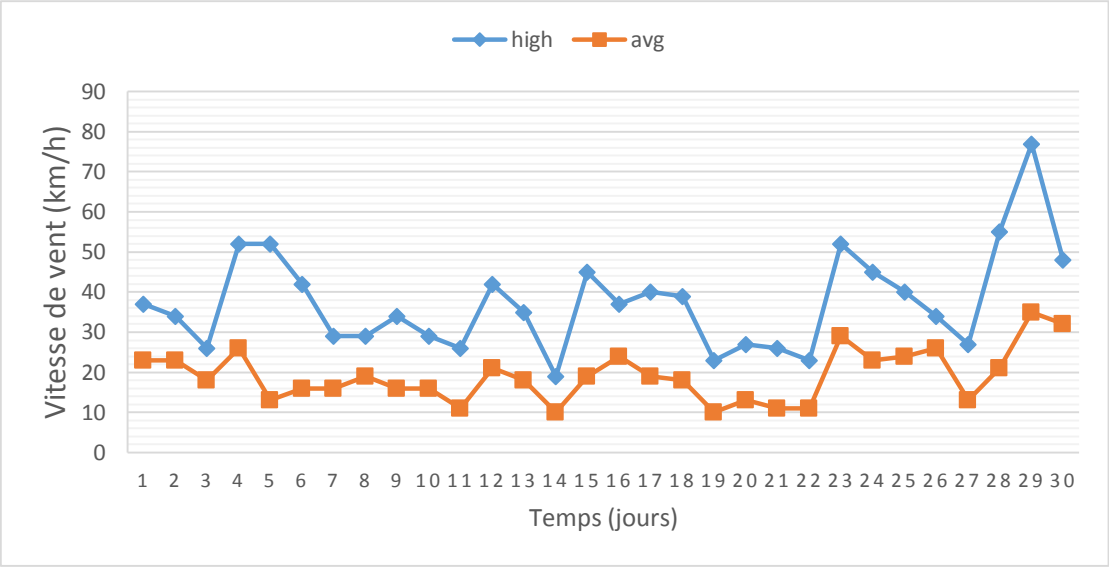

Figure III-18: Variation journalière de la vitesse du vent (**Juin** 2013).

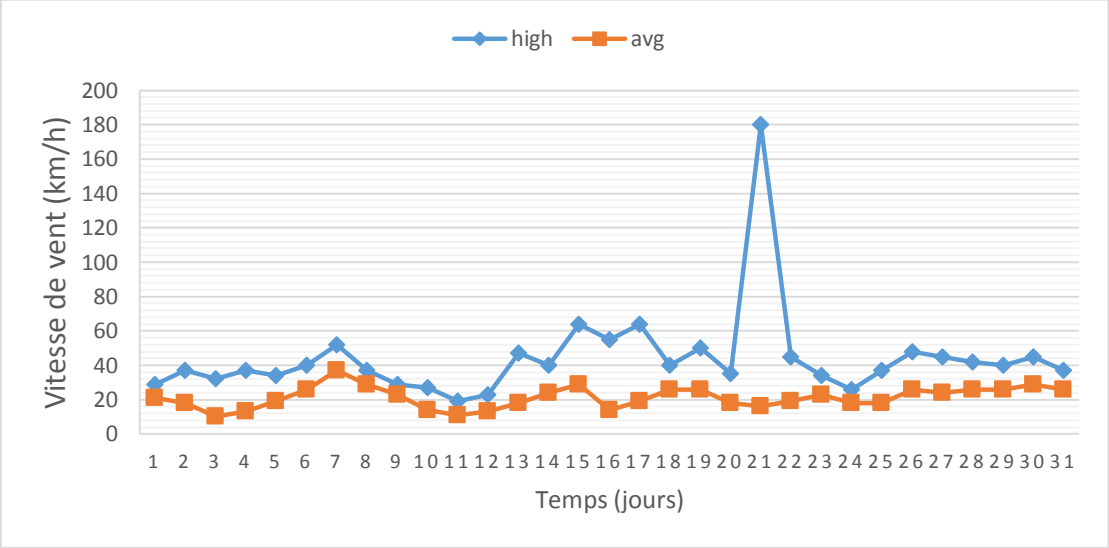

Figure III-19: Variation journalière de la vitesse du vent (**Juillet** 2013).

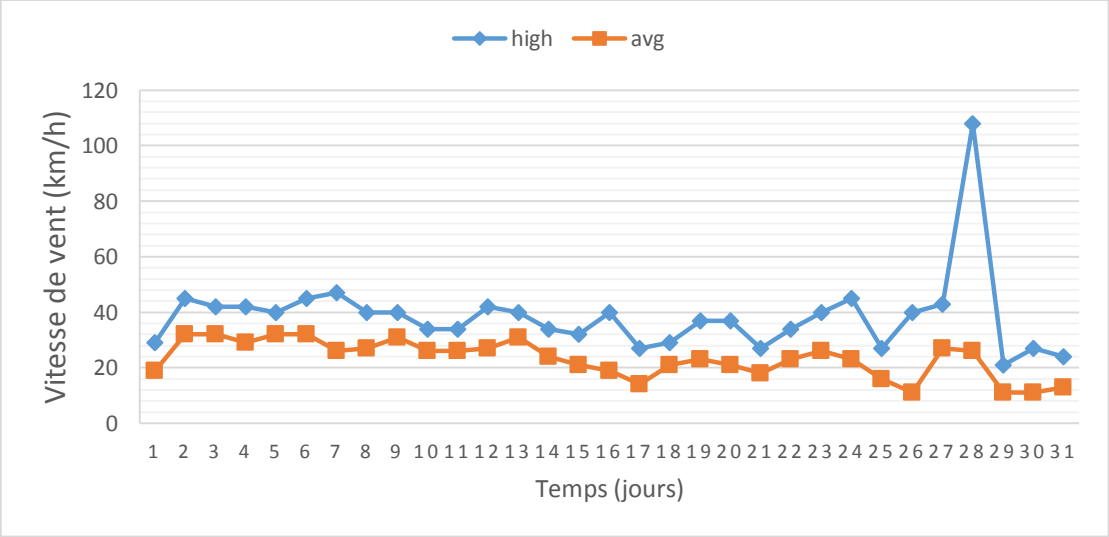

Figure III-20: Variation journalière de la vitesse du vent (**Août** 2013).

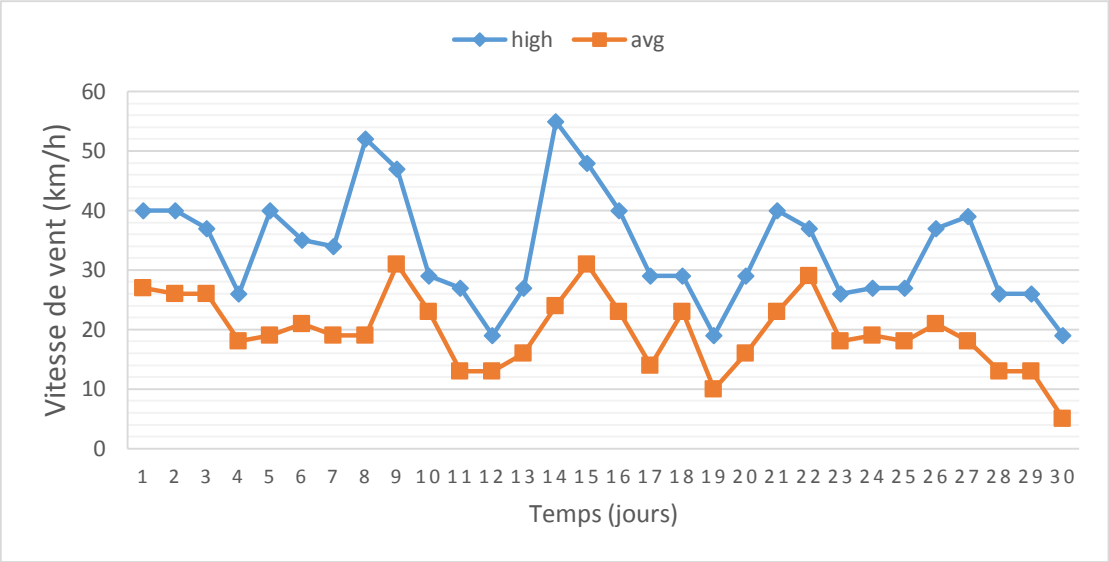

Figure III-21: Variation journalière de la vitesse du vent (**Septembre** 2013).

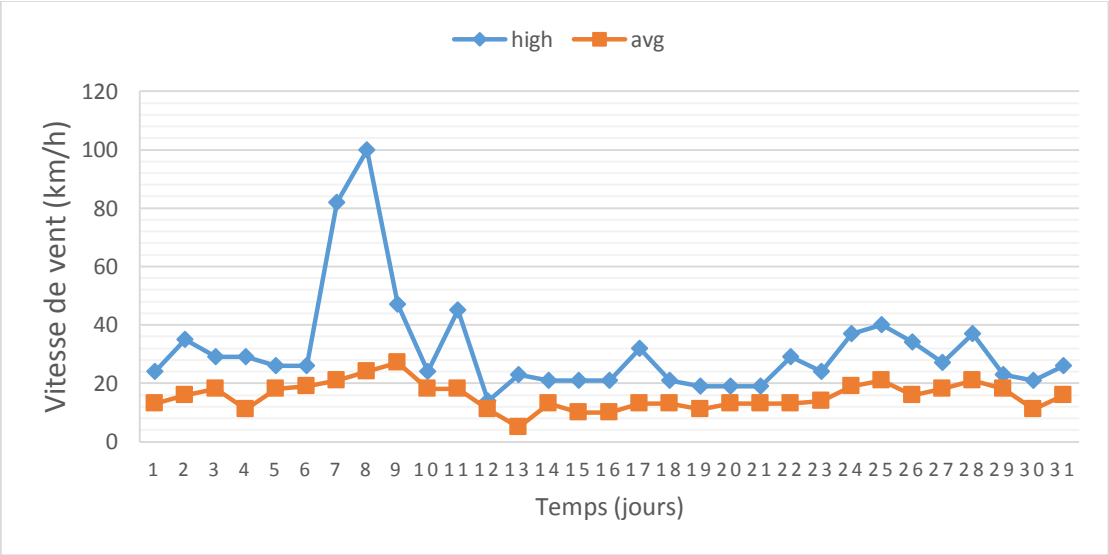

Figure III-22: Variation journalière de la vitesse du vent (**Octobre** 2013).

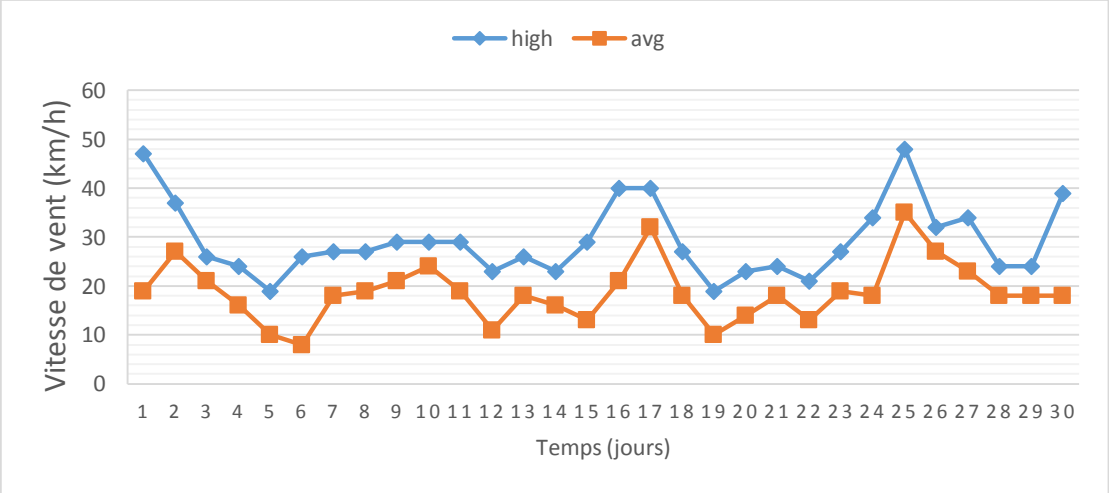

Figure III-23: Variation journalière de la vitesse du vent (**Novembre** 2013).

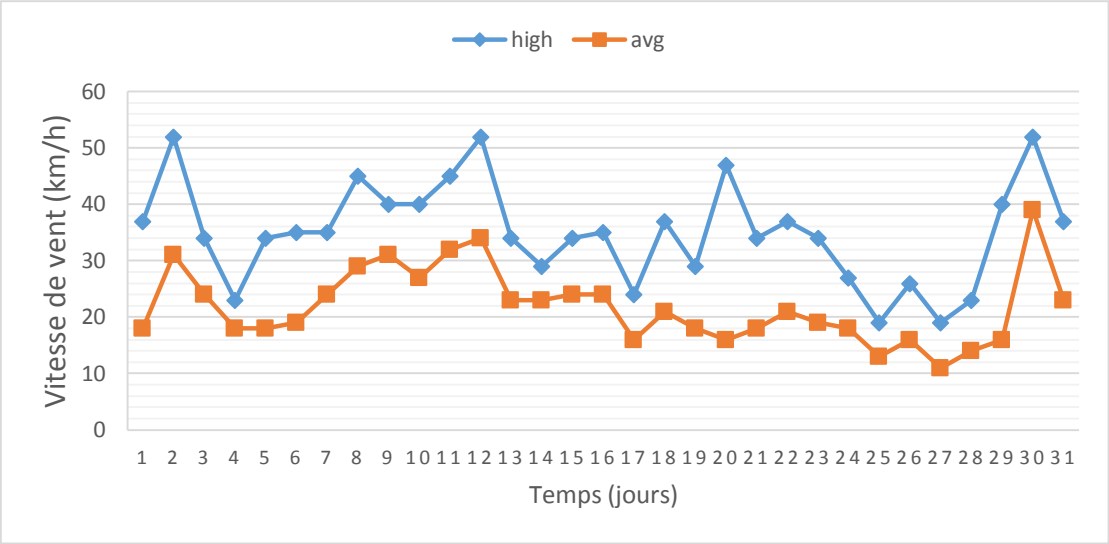

Figure III-24: Variation journalière de la vitesse du vent (**Décembre** 2013).

III.2.2.2- Pour l'année 2014 :

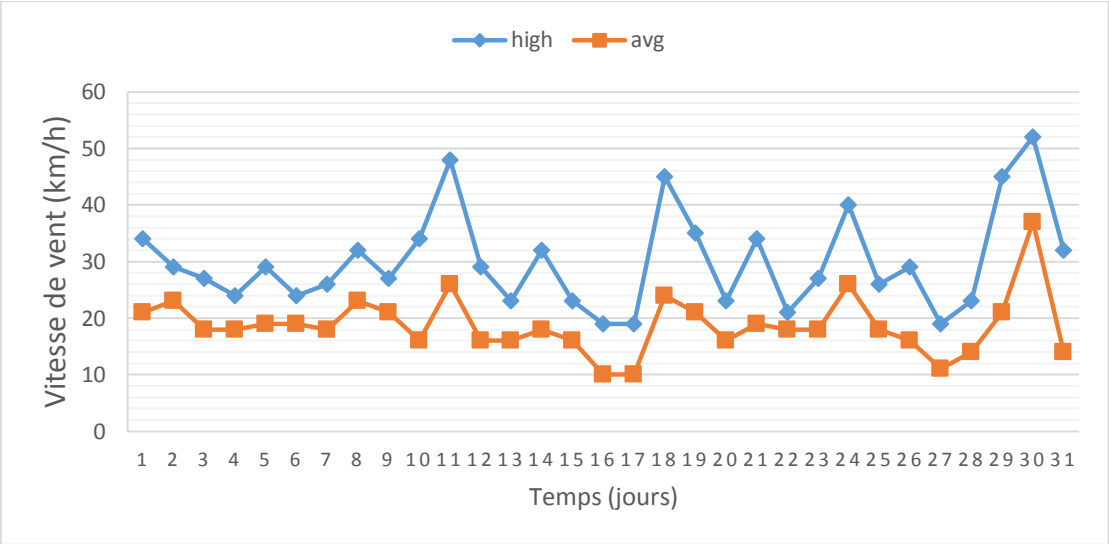

Figure III-25: Variation journalière de la vitesse du vent (**Janvier** 2014).

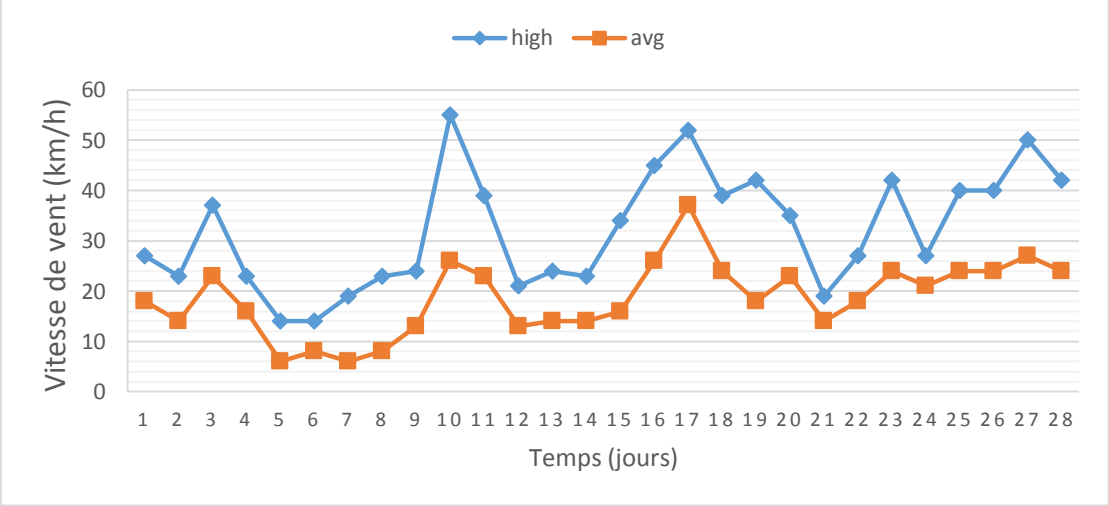

Figure III-26: Variation journalière de la vitesse du vent (**Février** 2014).

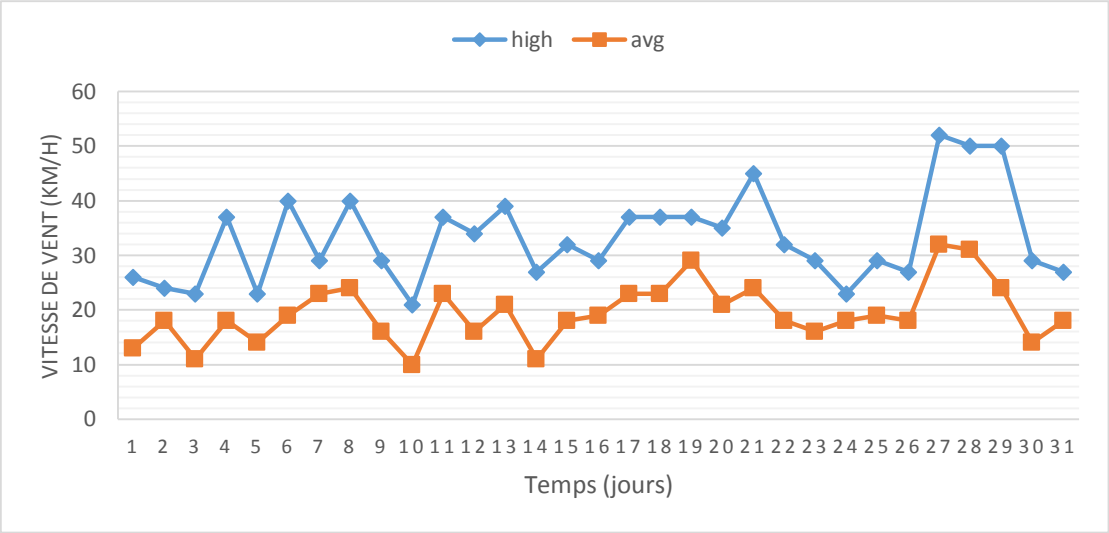

Figure III-27: Variation journalière de la vitesse du vent (**Mars** 2014).

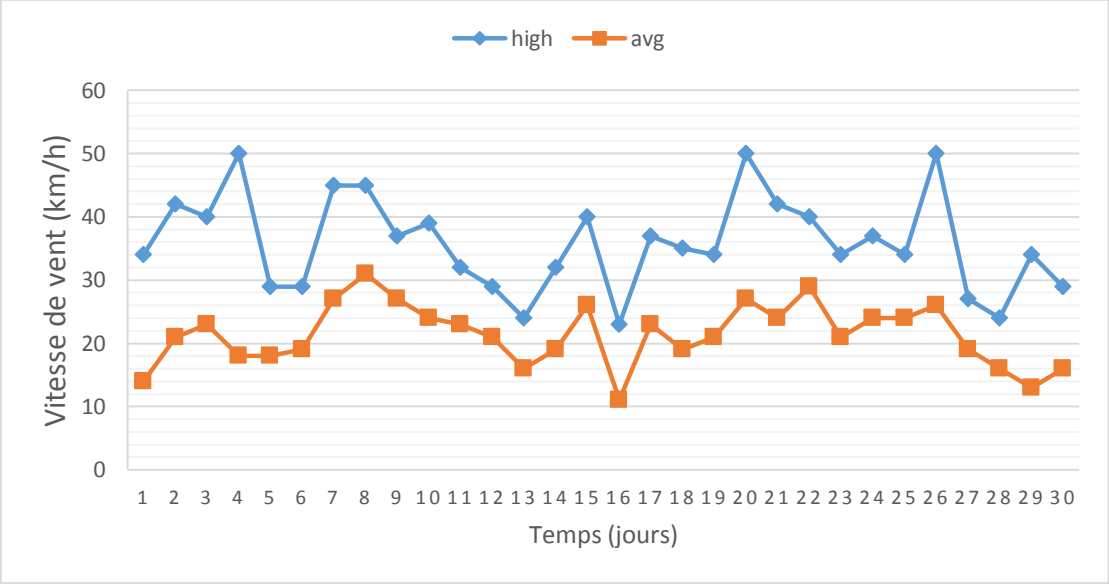

Figure III-28: Variation journalière de la vitesse du vent (**Avril** 2014).

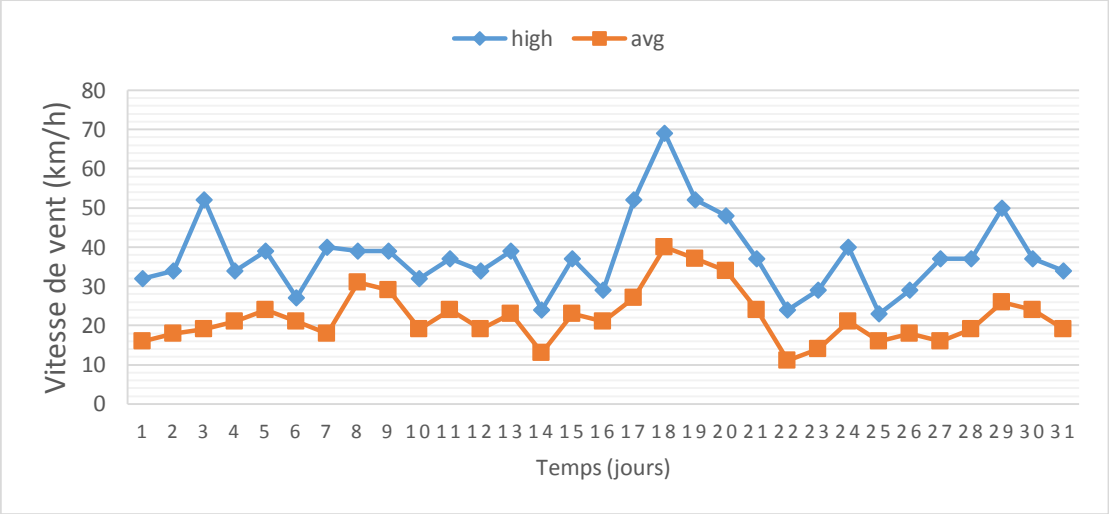

Figure III-29: Variation journalière de la vitesse du vent (**Mai** 2014).

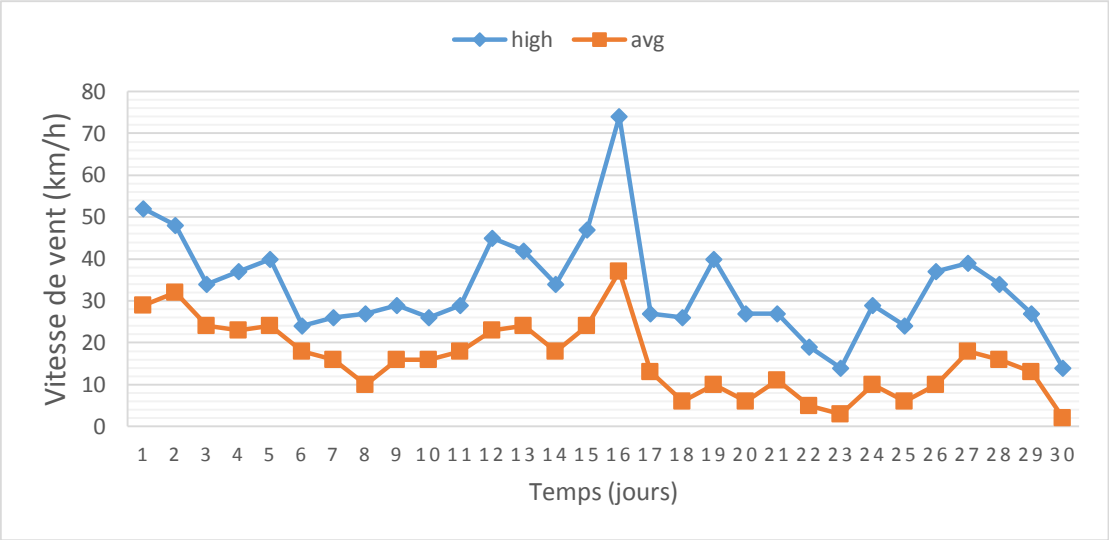

Figure III-30: Variation journalière de la vitesse du vent (**Juin** 2014).

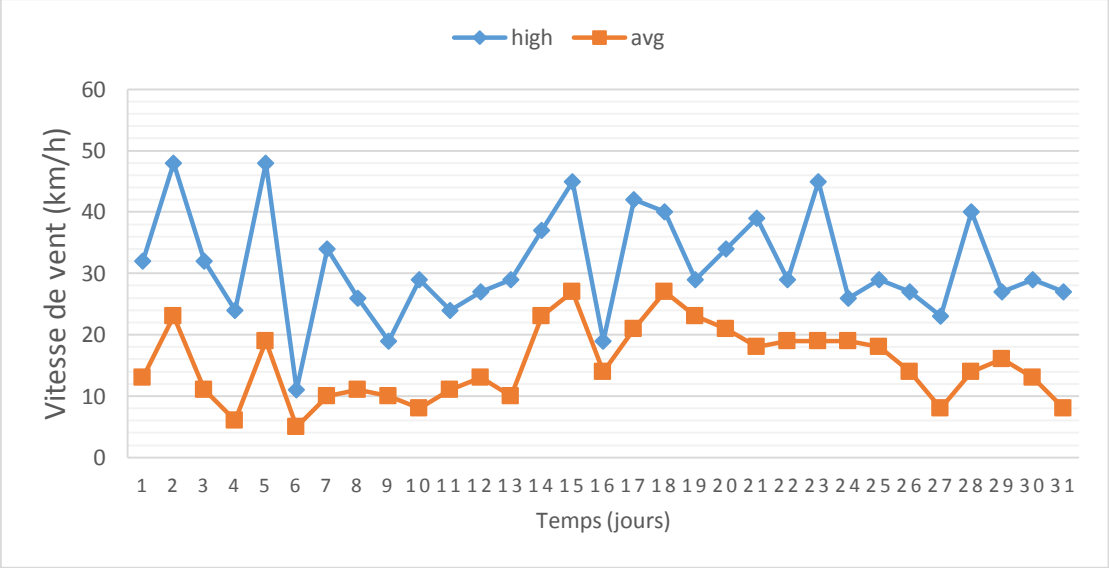

Figure III-31: Variation journalière de la vitesse du vent (**Juillet** 2014).

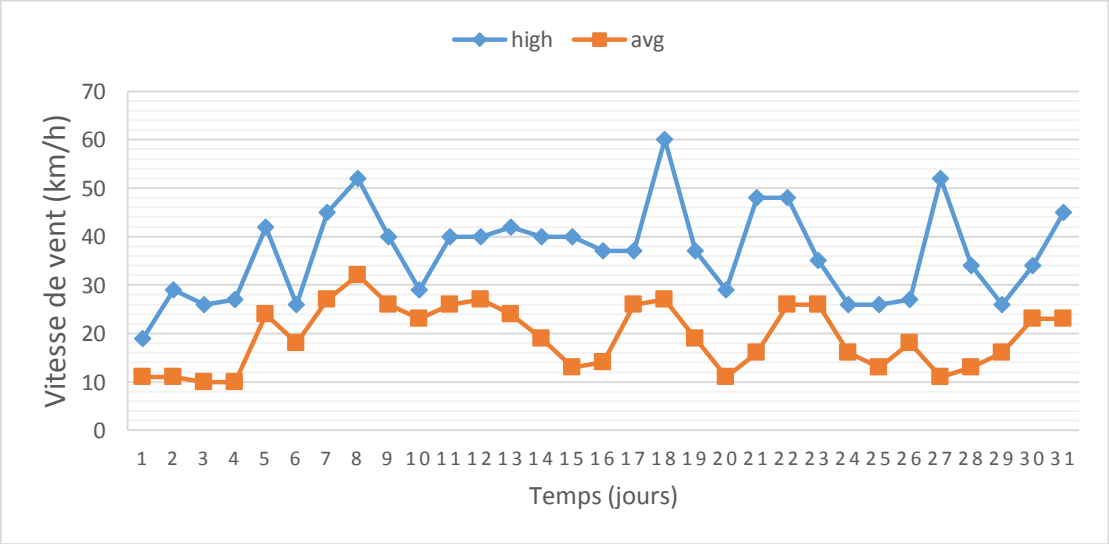

Figure III-32: Variation journalière de la vitesse du vent (**Août** 2014).

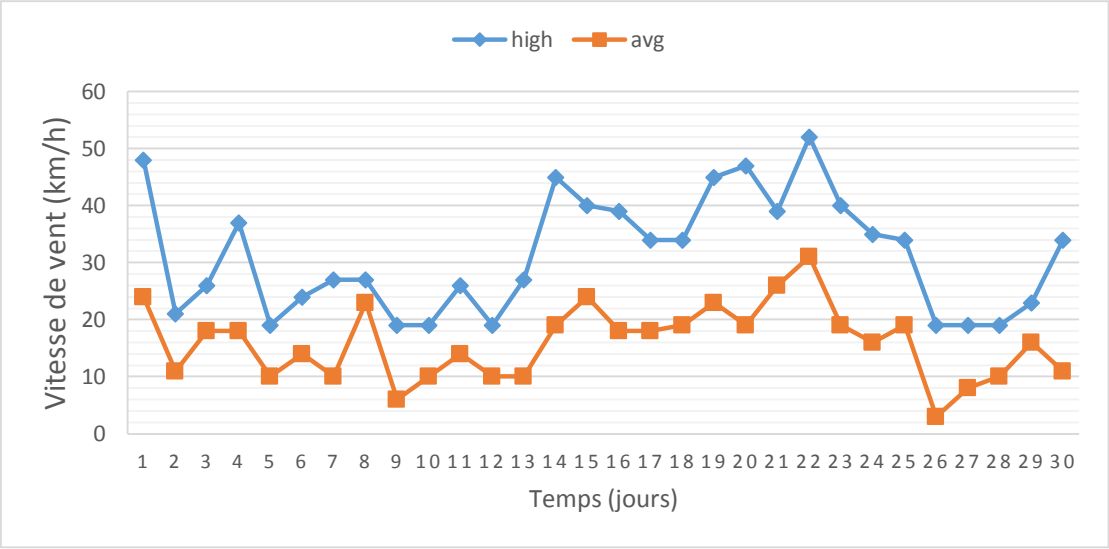

Figure III-33: Variation journalière de la vitesse du vent (**Septembre** 2014).

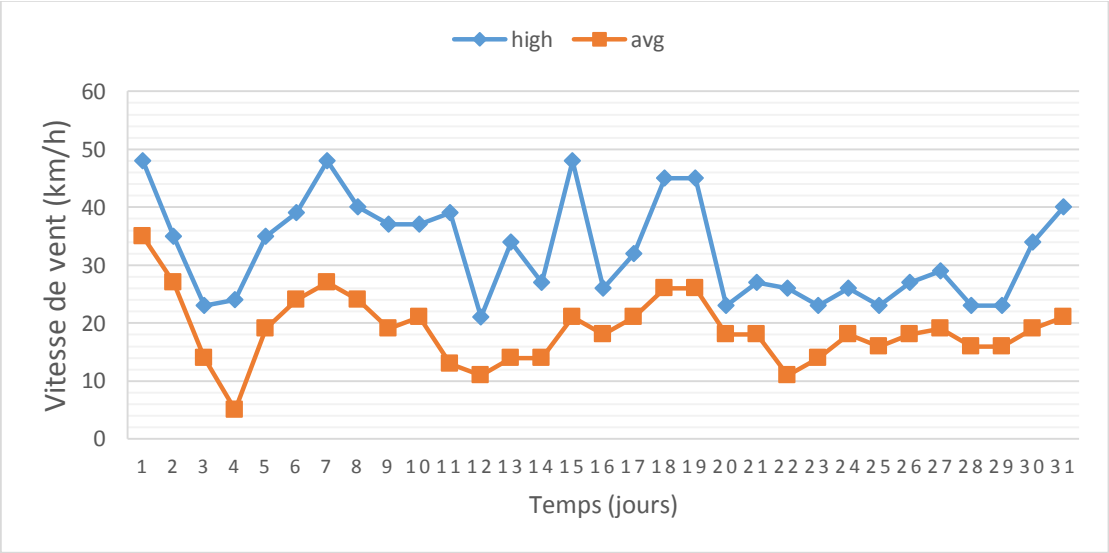

Figure III-34: Variation journalière de la vitesse du vent (**Octobre** 2014).

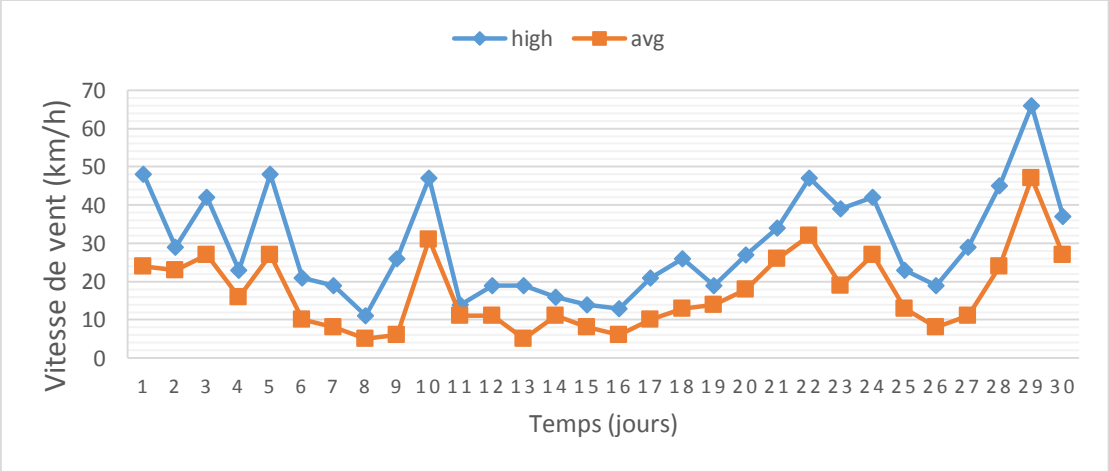

Figure III-35: Variation journalière de la vitesse du vent (**Novembre** 2014).

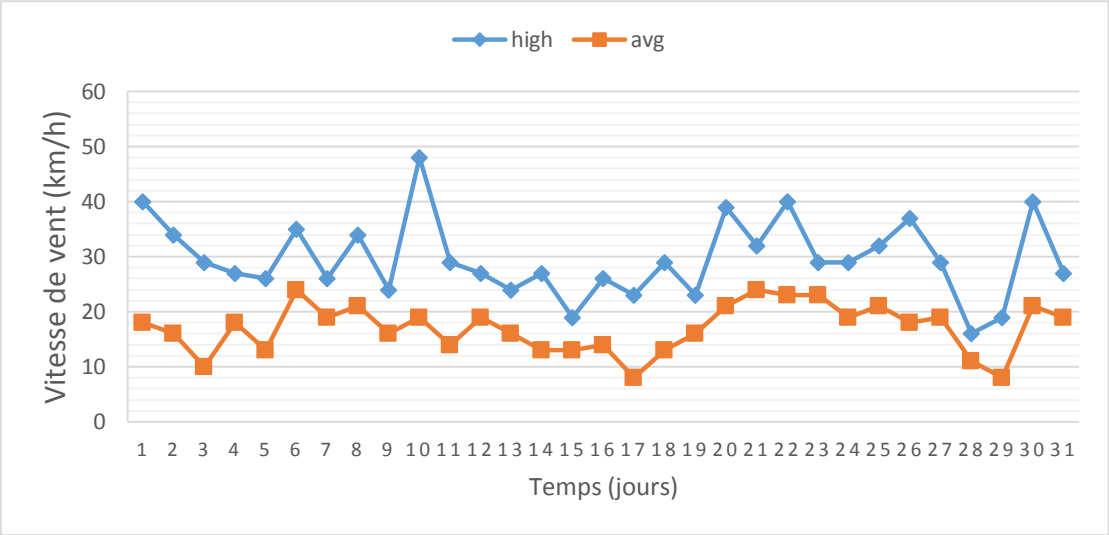

Figure III-36: Variation journalière de la vitesse du vent (**Décembre** 2014).

III.2.2.3-Quelque mois de l'année 2015 :

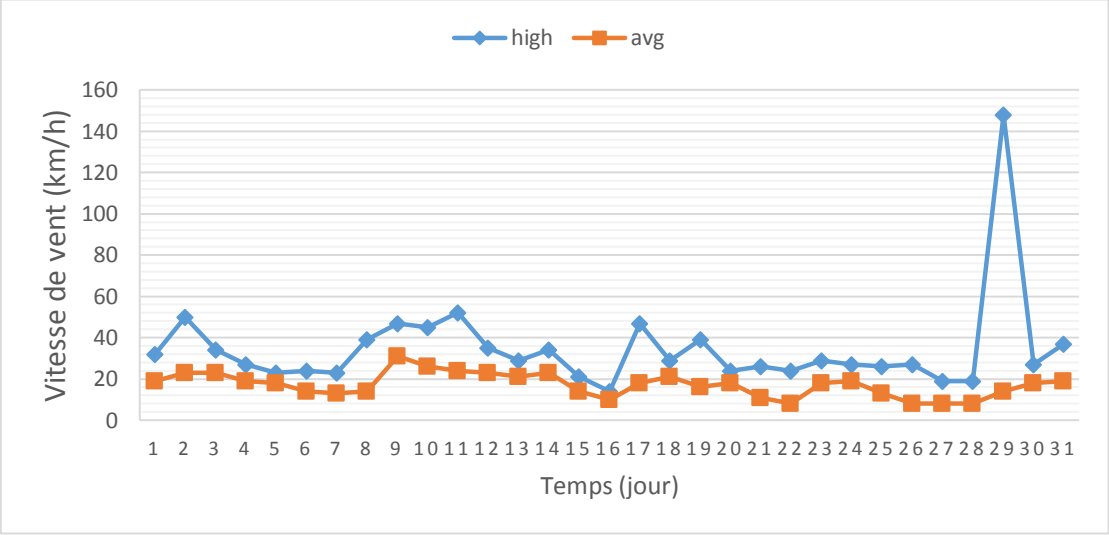

Figure III-37: Variation journalière de la vitesse du vent (**Janvier** 2015).

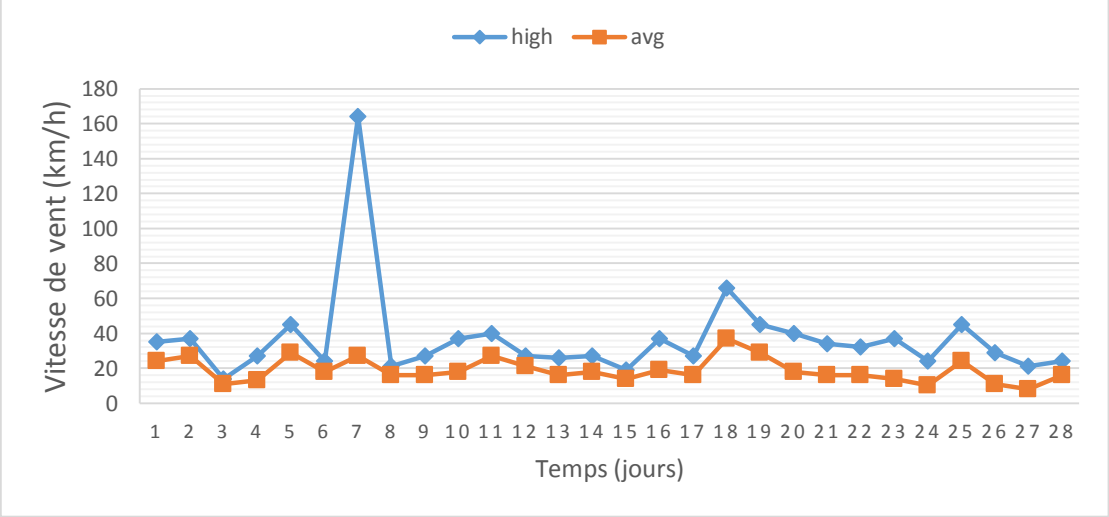

Figure III-38: Variation journalière de la vitesse du vent (**Février** 2015).

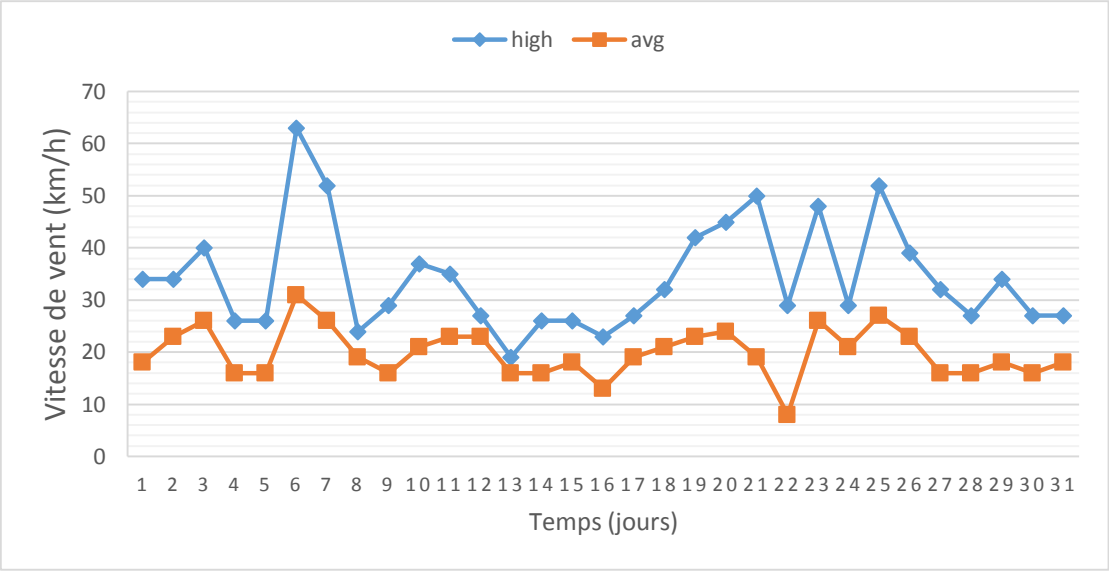

Figure III-39: Variation journalière de la vitesse du vent (**Mars** 2015).

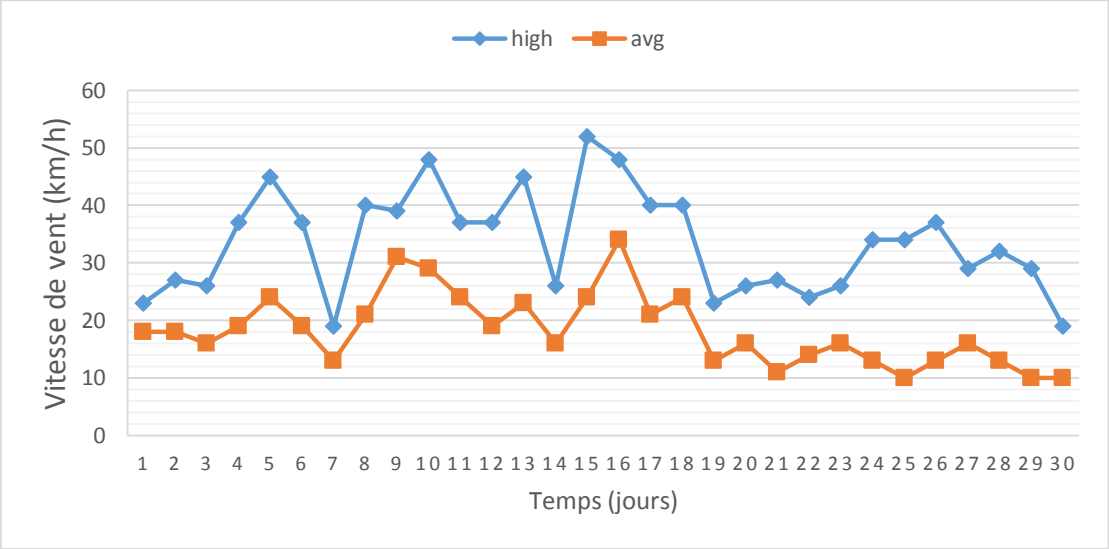

Figure III-40: Variation journalière de la vitesse du vent (**Avril** 2015).

III.2.3.La discussion des résultats :

Les courbes des figures IV-1 au IV-28 qui traduisent l'évolution de la vitesse de vent sur site d'Adrar durant la période d'année 2013, 2014 et quelque mois de l'année 2015 ; montrent que :

- au cours de la période de mesures, la vitesse de vent varie de façon quasi sinusoïdale au cours de chaque journée.
- Il oscille généralement entre 15 km/h et 60 km/h environ au cours de l'année dans le site d'Adrar.

III.3.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions nécessaires sur les deux paramètres météorologies ; **l'humidité** et **la vitesse du vent,** avec l'évolution de ces paramètres sur la région d'Adrar**.**

La température et l'humidité relative sont deux grandeurs qui varient en sens inverse : lorsque la température augmente l'humidité relative diminue et vis versa.

Le site d'Adrar est caractérisé par un gisement éolien très important et presque stable au cours de l'année qui oscille entre des vitesses de vent allant de 20km/h jusqu'à 60 km/h. Ce qui montre que ce site est très favorable à implanter des parcs éoliens en termes de vitesse de vents sans tenir comptes des autres paramètres météorologiques et en particulier la température estivale.

Bibliographie :

[1]: http://tpe-vigilanceethumidite.e-monsite.com/pages/content/i-l-humidite/a-definition-de-l-humidite.html.

[2] : http://www.cnrtl.fr/definition/humidit%C3%A9.

[3] : H. HAMOUCHE, « caractérisation des fibres kératinique en vue de leur utilisation comme capteur d'humidité », mémoire de magistère, université de TIZI-OUZOU, 2012.

[4] : BOUDIA Sidi Mohammed, « Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie », thèse de doctorat, Université de Tlemcen Abou-Bakr Blekaïd.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DES PARAMETRES METEOS SUR L'ENERGIE EOLIENNE

Chapitre IV : Influence des paramètres météorologiques sur l'énergie éolienne

IV.1.Introduction :

Le vent est un phénomène aérodynamique par nature très complexe. Par suite de la variabilité des très nombreux paramètres qui le gouvernent, sa vitesse horizontale instantanée présente un caractère spatio-temporel fluctuant qui justifie des considérations spectrales. Une approche simple qui est valable pour les zones climatiques intertropicales. L'objectif de ce travail est de voir l'impact des paramètres que sont: la pression atmosphérique, l'humidité relative de l'air et la température sur le potentiel énergétique éolien disponible sur le site d'Adrar.

Connaissant l'expression de la puissance éolienne [2], celles de la masse volumique de l'air sec [3, 4] et de l'air humide [4], ainsi que celle de l'humidité relative [3, 4], nous allons établir l'expression du coefficient qui montre l'impact de la température, de la pression et de l'humidité relative sur la puissance éolienne. Avec les mesures des données météorologiques de la région d'Adrar présentées dans les chapitres précédents, nous allons montrer l'action des trois paramètres ci-dessus cités sur la puissance éolienne à Adrar.

IV.2.Puissance éolienne du vent pour une densité constante :

La puissance éolienne de l'air sec disponible sur un site, dans les conditions normales de pression et de température, par unité de surface, est donnée par :

$$P_0 = \frac{1}{2}\rho_0 V^3 \qquad \textbf{(IV-1)}$$

Avec v^3 la vitesse moyenne cubique du vent, ρ_0 est la masse volumique constante de l'air sec (ρ_0=1.3 g/L).

IV.3.Influence de la pression et de la température sur la puissance éolienne : [2]

La densité du vent sec en fonction de la pression et de la température est donnée par :

$$\rho(P,T) = \frac{P}{287.06T} \qquad \textbf{Avec} \quad T = 273.15 + \theta \qquad \textbf{(IV-2)}$$

P :représente la pression atmosphérique en (Pa), et θ :la température en (°C) , ou T en (K).

La puissance éolienne dans les conditions de l'air sec par unité de surface est donnée par :

$$P_S(P,T) = \frac{1}{2}\,\frac{P}{287.06}V^3 \qquad \textbf{(IV-3)}$$

Soit α_1(P,T), le coefficient qui traduit l'influence de la pression et de la température sur la puissance éolienne, il est donné par :

$$\alpha_1(P,T) = P_S(P,T)/P_0 \qquad \textbf{(IV-4)}$$

En remplaçant P_s et P_0, par leurs expressions respectives, on retrouve :

$$\alpha_1(P,T) = \frac{\frac{1}{2}\,\frac{P}{287.06T}V^3}{\frac{1}{2}\rho_0 V^3}$$, et après simplifications, on obtient :

$$\alpha_1(P,T) = P/287.06\rho_0 T \qquad \textbf{(IV-5)}$$

IV.4.Influence de la pression, de la température et de l'humidité sur la puissance éolienne :[1]

La densité du vent humide est donnée par :

$$\rho(P,T,H_r) = \frac{P}{R_h T} \qquad \text{Avec} \qquad R_h = \frac{R_S}{1-(H\frac{P_{sat}}{P})(1-\frac{R_S}{R_V})} \qquad \textbf{(IV-6)}$$

Où Rs=287,06 K . kg / J est la constante spécifique de l'air sec, Rv =461 K . kg / J.

$$H_r = \frac{P}{P_{sat}} * 100 \qquad \textbf{(IV-7)}$$

Avec l'humidité relative en (%) et P la pression. P_{sat} est la pression de saturation donnée par :

$$P_{sat} = 6110.213\,\exp(\frac{17.5043\,\theta}{\theta + 241.2}) \qquad \text{avec} \qquad -30 < \theta < 70°C \qquad \textbf{(IV-8)}$$

La masse volumique donne finalement,

$$\rho(P,T,H_r) = \frac{1}{287.06\,T} * (P\ -\ 230.617\,H_r * \exp(\frac{17.5043\,\theta}{\theta + 241.2}) \qquad \textbf{(IV-9)}$$

La puissance du vent humide est donnée par,

$$P_h(P,T,H_r) = \frac{1}{2}\,\frac{1}{287.06\,T} * (P - 230.617\,H_r * \exp(\frac{17.5043\,\theta}{\theta + 241.2}))V^3 \qquad \textbf{(IV-10)}$$

Soit $\alpha_2(P,T,H_r)$, le coefficient qui traduit l'influence de la pression, la température et de l'humidité sur la puissance éolienne, il est donné par ,

$$\alpha_2(P,T,H_r) = \frac{P_h(P,T,H_r)}{P_0}$$

En remplaçant $P_h(P,T,H_r)$ et P_0 par leurs expressions, on a :

$$\alpha_2(P,T,H_r) = \frac{\frac{1}{2}\,\frac{1}{287.06\,T}\ *\ (P - 230.617H_r * \exp(\frac{17.5043\,\theta}{\theta + 241.2}))V^3}{\frac{1}{2}\rho_0 V^3}$$

Après simplification, on retrouve :

$$\alpha_2(P,T,H_r) = \frac{1}{351.6485\,T}\ (P - 230.617H_r * \exp(\frac{17.5043\,\theta}{\theta + 241.2})) \qquad \textbf{(IV-11)}$$

IV.5.Résultats et Discussion:

Les figures suivantes représentent l'évolution du coefficient (α_1) qui traduit les variations de la puissance éolienne en fonction de la température à pression atmosphérique constante ; pendant les deux mois : Août (été) et Décembre (hiver) :

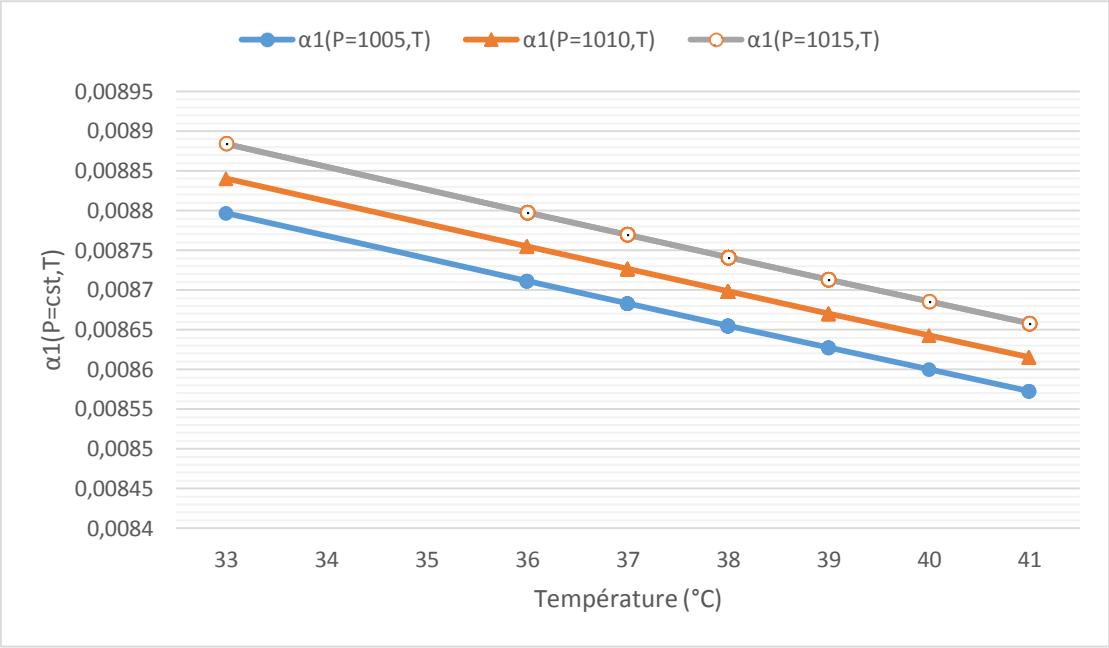

Figure IV-1: Evolution de α1 en fonction de T à P constante (**Août**).

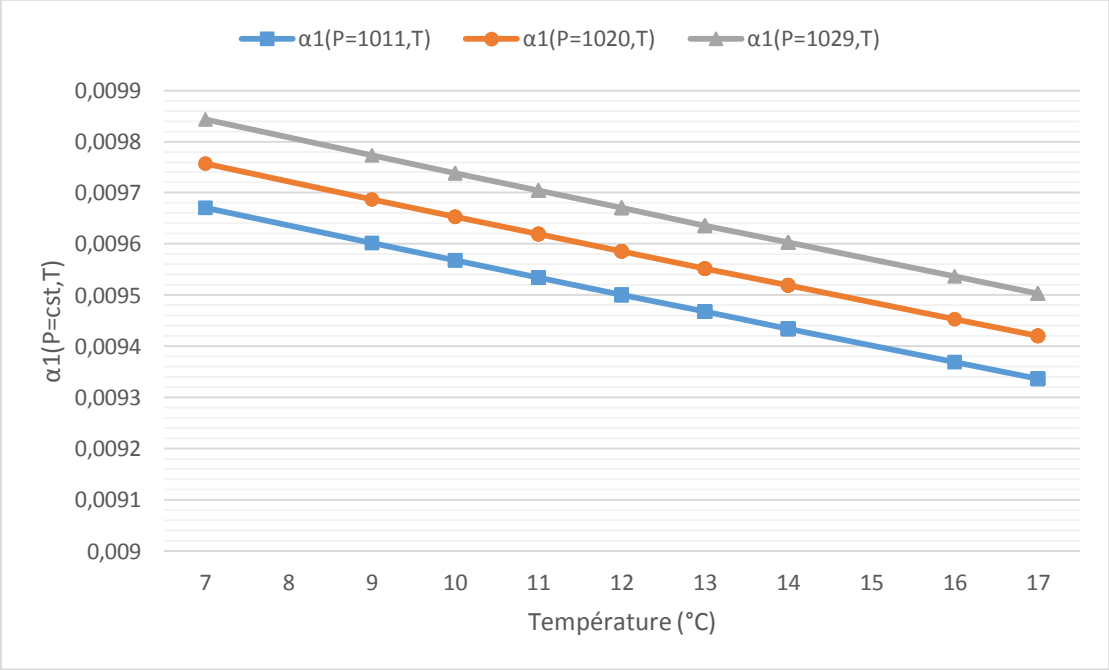

Figure IV-2 : Evolution de α_1 en fonctione de T à P constante (**Décembre**).

D'après ces résultats, on peut montrer que lorsque la température augmente ;la puissance éolienne diminue, donc la puissance éolienne est une fonction décroissante de la température.

Les figures suivantes représentent l'évolution du coefficient (α_1) qui traduit les variations de la puissance éolienne en fonction de la pression atmosphérique à température constante; pendant les deux mois : Août et Décembre.

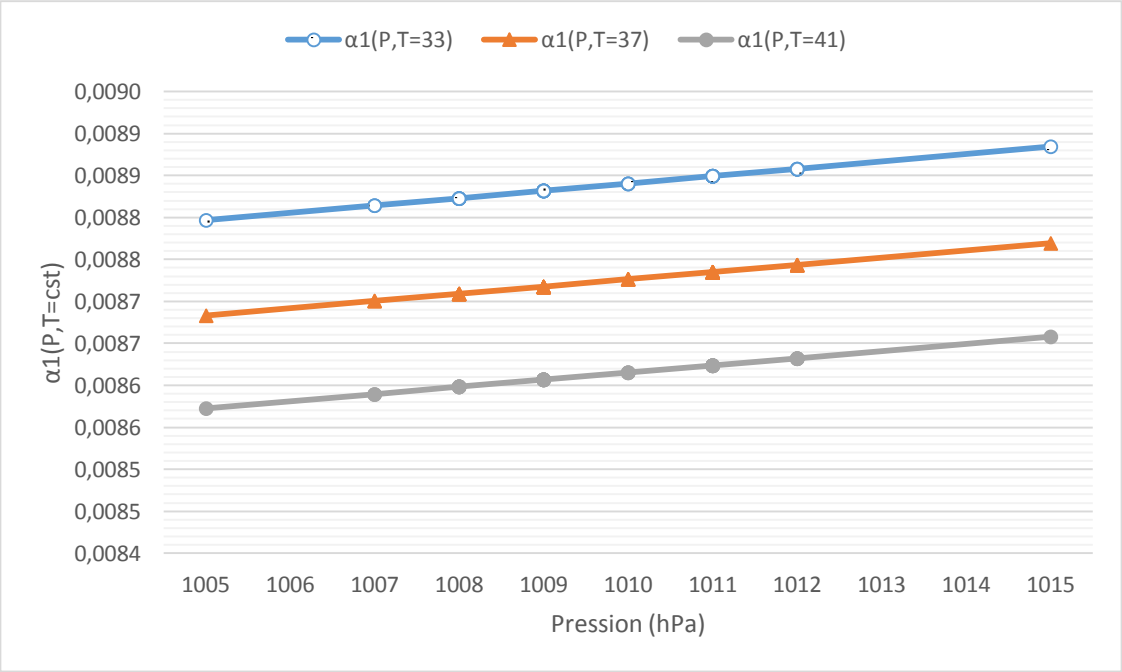

Figure IV-3 : Evolution de α1 en fonction de P à T constante **(Août).**

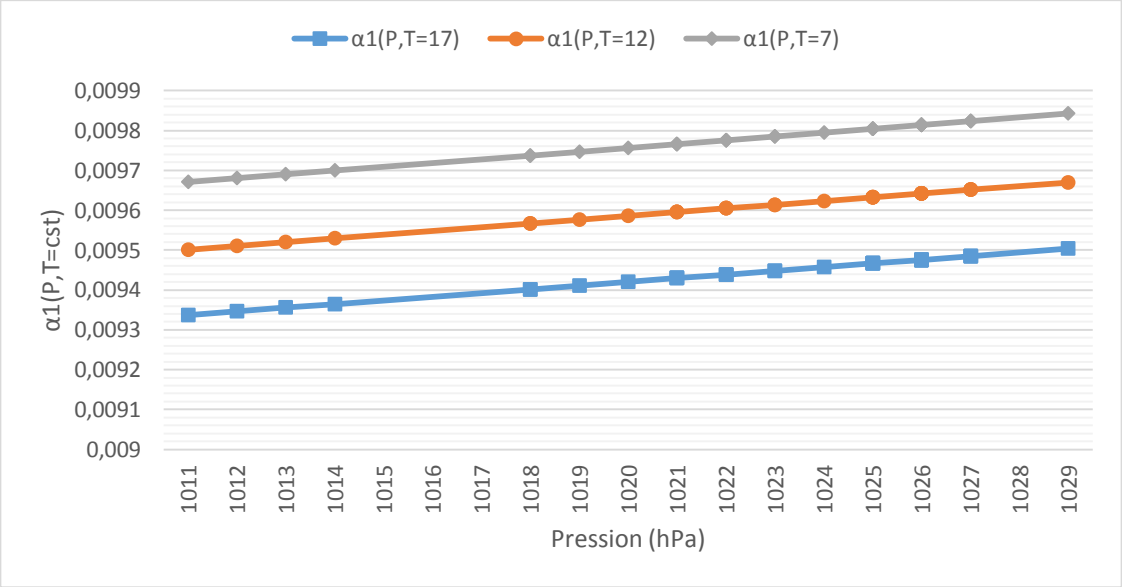

Figure IV-4 : Evolution de α1 en fonction de P à T constante **(Décembre).**

L'allure des courbes du figures précédant montre que ; la puissance éolienne augment lorsque la pression atmosphérique augment, c-à-dire la puissance éolienne c'est une fonction croissente de la préssion atmosphérique.

Les figures suivants représentent l'évolution du coefficient (α_2) qui traduit les variations de la puissance éolienne en fonction de l'humidité relative à pression atmosphérique et à température constante pendant les deux mois Août et Décembre :

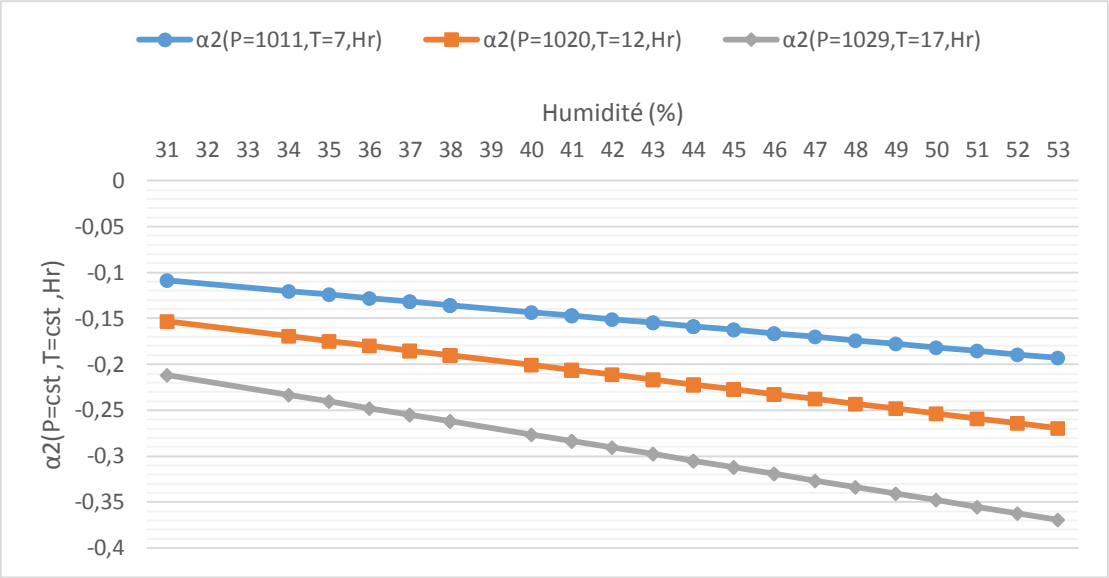

Figure IV-5 : Evolution de α2 en fonction de Hr à P et T constante (**Décembre).**

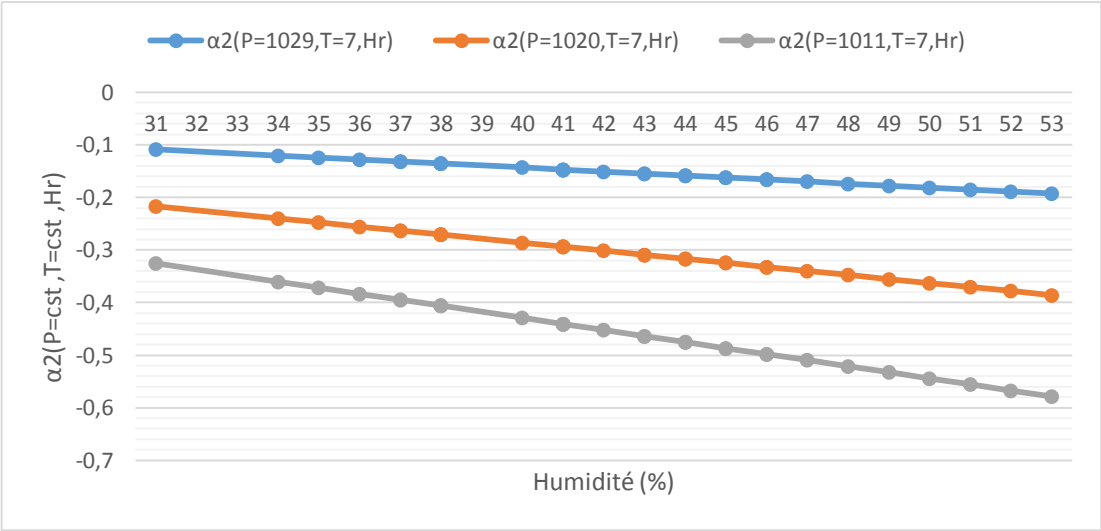

Figure IV-6 : Evolution de α_2 en fonction de Hr à P et T constante (**Décembre).**

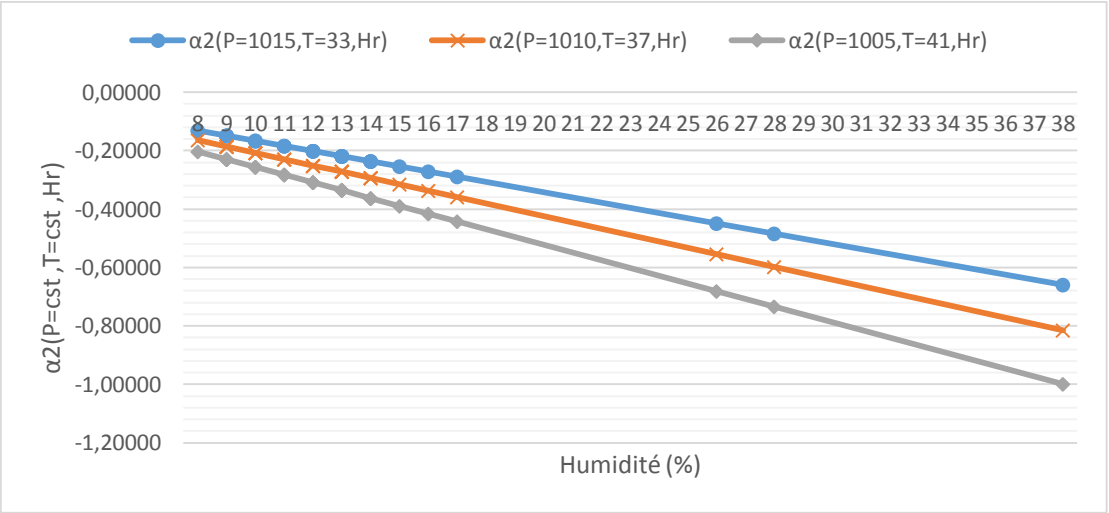

Figure IV-7 : Evolution de α2 en fonction de P à T constante **(Août).**

IV.6. Conclusion :

La température et l'humidité relative sont deux grandeurs qui varient en sens inverse: lorsque la température augmente l'humidité relative diminue et vis versa. L'allure des courbes montre que la puissance éolienne est une fonction décroissante de la température. Sur le site d'étude, lorsque la température varie entre de 20 à 50°C, la puissance éolienne diminue de 0 à 4% environ.

La puissance éolienne est une fonction croissante de la pression atmosphérique sur le site. Lorsque la pression atmosphérique varie de 1015 à 1025 hPa, le coefficient qui traduit la variation de la puissance éolienne croît de 3%.

Les variations des courbes de figures IV-6 et IV-7 stipulent que la puissance éolienne est une fonction décroissante de l'humidité relative. Elle diminue d'environ 30 % sur le site de mesure.

Somme toute, les figures montrent que la puissance éolienne dans la zone étudiée est une fonction décroissante de la température et de l'humidité relative mais elle est une fonction croissante de la pression atmosphérique.

Bibliographie :

[1] : A.A. Koukpemedji et al., « Influence de la température, de la pression et de l'humidité relative de l'air sur le potentiel éolien dans la zone côtière du Bénin dans le Golfe de Guinée », Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°2 (2015) 217 – 226.

[2] : G. Al Zohbi, P. Hendrick et P. Bouillard, 'Evaluation du Potentiel d'Energie Eolienne au Liban', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°1, pp. 83 – 96, 2014.

[3] : M.M. Ayiagnigni Gbambié, 'Analyse Statistique de Données de Vent Côtier au Nord du Golfe de Guinée', Rapport de Master, CIPMA/FAST/UAC/2012, pp 1-43.

[4] : A.M. Houekpohéha, B. Kounouhéwa, B.N. Tokpohozin et N. Awanou, 'Estimation de la Puissance Energétique Eolienne à Partir de la Distribution de Weibull sur la Côte Béninoise à Cotonou dans le Golfe de Guinée', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°3, pp. 489-495, 2014.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'évolution et l'influence des paramètres météorologiques sur la puissance éolienne dans la région d'Adrar.

De ce travail, il ressort que dans Adrar, l'humidité relative varie en général entre 15% et 70 % au cours de la campagne de mesure.

Au cours de chaque mois, la pression atmosphérique dans la zone d'Adrar varie de façon régulière. Elle est faible dans le troisième trimestre de l'année d'étude et forte dans le dernier.

La température varie considérablement au cours de l'année, La température et l'humidité relative sont deux grandeurs qui varient en sens inverse. Quant à la puissance éolienne dans la zone d'Adrar ; c'est une fonction décroissante de la température et de l'humidité relative, mais une fonction croissante de la pression atmosphérique.

Le site d'Adrar est caractérisé par un gisement éolien très important et quasi-stable au cours de l'année qui oscille entre des vitesses de vent allant de 20 km/h jusqu'à 60 km/h. Ce qui montre que ce site est très favorable à l'implantation des parcs éoliens en termes de vitesse de vents sans tenir comptes des autres paramètres météorologiques et en particulier la température hivernale très élevée ce qui constitue un grand défi à ce genre des stations de production d'électricité d'origine renouvelable et demande des recherches très pointues afin de pouvoir surmonter ce problème.

ANNEXES

Données météorologies sur site d'Adrar d'Août 2013 et Août 2014 : [*]

2013	Température (°C)			Humidité (%)		
Août	high	avg	Low	High	avg	low
1	45	37	28	21	13	7
2	44	37	30	26	14	6
3	41	33	25	32	19	9
4	43	36	28	33	21	8
5	42	34	26	30	17	6
6	42	34	27	28	16	4
7	42	34	26	25	16	6
8	43	34	26	22	13	5
9	43	34	26	25	15	6
10	44	36	27	29	13	4
11	43	34	26	20	13	4
12	43	35	27	30	19	10
13	43	34	27	30	18	7
14	45	35	25	30	18	7
15	45	36	26	18	11	4
16	46	36	26	16	11	5
17	45	37	29	40	18	5
18	44	37	30	19	12	5
19	45	37	28	20	14	6
20	44	36	27	25	16	8
21	44	36	27	27	16	6
22	44	36	27	30	19	10
23	41	32	24	30	17	5
24	42	34	26	30	18	8
25	44	34	25	28	16	6
26	45	34	24	24	15	6
27	45	38	30	29	17	6
28	43	36	28	42	24	8
29	44	36	27	30	17	7
30	44	36	28	27	17	8
31	43	34	27	25	16	7

Sea Level Press. (hPa)			Wind (km/h)		
high	avg	Low	high	avg	high
1011	1008	1005	29	19	-
1011	1009	1006	45	32	-
1014	1011	1008	42	32	-
1014	1011	1008	42	29	-
1014	1011	1007	40	32	-
1014	1010	1006	45	32	-
1011	1008	1005	47	26	-
1010	1008	1006	40	27	-
1013	1010	1008	40	31	-
1012	1010	1007	34	26	-
1012	1009	1007	34	26	-
1012	1010	1007	42	27	-
1013	1011	1008	40	31	-
1012	1010	1007	34	24	-
1012	1010	1007	32	21	-
1012	1010	1007	40	19	-
1012	1010	1005	27	14	-
1014	1011	1007	29	21	-
1013	1011	1009	37	23	-
1013	1011	1007	37	21	-
1012	1010	1007	27	18	-
1012	1010	1007	34	23	-
1014	1012	1009	40	26	-
1014	1012	1008	45	23	-
1012	1010	1006	27	16	-
1011	1008	1005	40	11	-
1009	1007	1005	43	27	-
1012	1009	1006	108	26	-
1014	1012	1009	21	11	-
1013	1011	1007	27	11	-
1011	1009	1006	24	13	-

2014	Température (°C)			Humidité (%)		
Août	high	avg	low	High	avg	low
1	49	39	29	-	-	-
2	48	40	31	-	-	-
3	44	38	32	20	12	5
4	46	41	36	23	16	8
5	47	41	34	20	12	5
6	47	41	34	18	12	5
7	46	38	31	16	10	4
8	45	38	31	21	12	5
9	44	36	27	22	13	5
10	44	37	28	22	14	5
11	45	36	27	19	11	4
12	46	37	28	21	13	4
13	46	38	29	59	13	4
14	46	38	31	19	13	5
15	48	39	31	18	13	5
16	47	37	27	10	8	4
17	45	39	33	21	14	4
18	43	38	31	43	26	12
19	40	33	26	55	38	4
20	43	36	28	43	28	13
21	46	38	29	29	17	6
22	46	39	32	24	15	6
23	46	37	29	19	14	8
24	44	38	31	11	9	4
25	46	36	25	14	9	4
26	47	38	29	15	11	4
27	47	38	28	10	9	4
28	46	38	31	12	9	4
29	46	38	29	16	11	5
30	44	37	29	15	10	4
31	45	37	28	14	10	4

Sea Level Press. (hPa)			Wind (km/h)		
high	avg	low	high	Avg	high
1009	1007	1003	19	11	-
1007	1005	1002	29	11	-
1011	1009	1004	26	10	-
1014	1012	1008	27	10	-
1014	1011	1007	42	24	-
1012	1009	1005	26	18	-
1011	1008	1005	45	27	-
1011	1009	1006	52	32	-
1013	1010	1006	40	26	-
1014	1011	1008	29	23	-
1015	1012	1008	40	26	-
1012	1010	1006	40	27	-
1010	1008	1003	42	24	-
1010	1008	1005	40	19	-
1011	1009	1006	40	13	-
1010	1007	1004	37	14	-
1012	1009	1005	37	26	-
1014	1012	1008	60	27	
1017	1015	1012	37	19	-
1015	1012	1008	29	11	-
1012	1009	1005	48	16	-
1011	1008	1005	48	26	
1011	1008	1005	35	26	-
1014	1011	1007	26	16	-
1014	1011	1008	26	13	-
1013	1011	1008	27	18	-
1013	1011	1008	52	11	-
1014	1011	1008	34	13	-
1014	1011	1007	26	16	-
1013	1010	1007	34	23	-
1012	1009	1006	45	23	-

Coefficient α_1 pour le mois de Août 2014, qui traduisant l'influence de la pression et de la température sur la puissance éolienne :

coefficient α_1 (P=cst,T)			coefficient α_1 (P,T=cst)		
α1(P=1005,T)	α1(P=1010,T)	α1(P=1015,T)	α1(P,T=33)	α1(P,T=37)	α1(P,T=41)
0,00863	0,00867	0,00871	0,00881	0,00870	0,00859
0,00860	0,00864	0,00869	0,00880	0,00868	0,00857
0,00866	0,00870	0,00874	0,00883	0,00872	0,00861
0,00857	0,00862	0,00866	0,00886	0,00874	0,00863
0,00857	0,00862	0,00866	0,00885	0,00874	0,00862
0,00857	0,00862	0,00866	0,00883	0,00872	0,00861
0,00866	0,00870	0,00874	0,00882	0,00871	0,00860
0,00866	0,00870	0,00874	0,00883	0,00872	0,00861
0,00871	0,00875	0,00880	0,00884	0,00873	0,00862
0,00868	0,00873	0,00877	0,00885	0,00874	0,00862
0,00871	0,00875	0,00880	0,00886	0,00874	0,00863
0,00868	0,00873	0,00877	0,00884	0,00873	0,00862
0,00866	0,00870	0,00874	0,00882	0,00871	0,00860
0,00866	0,00870	0,00874	0,00882	0,00871	0,00860
0,00863	0,00867	0,00871	0,00883	0,00872	0,00861
0,00868	0,00873	0,00877	0,00881	0,00870	0,00859
0,00863	0,00867	0,00871	0,00883	0,00872	0,00861
0,00866	0,00870	0,00874	0,00886	0,00874	0,00863
0,00880	0,00884	0,00888	0,00888	0,00877	0,00866
0,00871	0,00875	0,00880	0,00886	0,00874	0,00863
0,00866	0,00870	0,00874	0,00883	0,00872	0,00861
0,00863	0,00867	0,00871	0,00882	0,00871	0,00860
0,00868	0,00873	0,00877	0,00882	0,00871	0,00860
0,00866	0,00870	0,00874	0,00885	0,00874	0,00862
0,00871	0,00875	0,00880	0,00885	0,00874	0,00862
0,00866	0,00870	0,00874	0,00885	0,00874	0,00862
0,00866	0,00870	0,00874	0,00885	0,00874	0,00862
0,00866	0,00870	0,00874	0,00885	0,00874	0,00862
0,00866	0,00870	0,00874	0,00885	0,00874	0,00862
0,00868	0,00873	0,00877	0,00884	0,00873	0,00862
0,00868	0,00873	0,00877	0,00883	0,00872	0,00861

Coefficient α_2 de Août 2014, qui traduisant l'influence de l'humidité, de la pression et de la température sur la puissance éolienne :

coefficient α_2(P=cst,T=cst,Hr)			coefficient α_2(P=cst,T=cst,Hr)		
α2(P=1015,T=33,Hr)	α2(P=1010,T=37,Hr)	α2(P=1005,T=41,Hr)	α2(P=1015,T=33,Hr)	α2(P=1010,T=33,Hr)	α2(P=1005,T=33,Hr)
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
-0,20189	-0,25102	-0,30954	-0,20189	-0,20193	-0,20198
-0,27233	-0,33778	-0,41576	-0,27233	-0,27237	-0,27242
-0,20189	-0,25102	-0,30954	-0,20189	-0,20193	-0,20198
-0,20189	-0,25102	-0,30954	-0,20189	-0,20193	-0,20198
-0,16667	-0,20764	-0,25644	-0,16667	-0,16672	-0,16676
-0,20189	-0,25102	-0,30954	-0,20189	-0,20193	-0,20198
-0,21950	-0,27271	-0,33610	-0,21950	-0,21954	-0,21959
-0,23711	-0,29440	-0,36265	-0,23711	-0,23715	-0,23720
-0,18428	-0,22933	-0,28299	-0,18428	-0,18433	-0,18437
-0,21950	-0,27271	-0,33610	-0,21950	-0,21954	-0,21959
-0,21950	-0,27271	-0,33610	-0,21950	-0,21954	-0,21959
-0,21950	-0,27271	-0,33610	-0,21950	-0,21954	-0,21959
-0,21950	-0,27271	-0,33610	-0,21950	-0,21954	-0,21959
-0,13145	-0,16426	-0,20333	-0,13145	-0,13150	-0,13154
-0,23711	-0,29440	-0,36265	-0,23711	-0,23715	-0,23720
-0,44842	-0,55468	-0,68129	-0,44842	-0,44847	-0,44852
-0,65974	-0,81497	-0,99993	-0,65974	-0,65979	-0,65983
-0,48364	-0,59806	-0,73440	-0,48364	-0,48369	-0,48374
-0,28994	-0,35947	-0,44231	-0,28994	-0,28998	-0,29003
-0,25472	-0,31609	-0,38920	-0,25472	-0,25476	-0,25481
-0,23711	-0,29440	-0,36265	-0,23711	-0,23715	-0,23720
-0,14906	-0,18595	-0,22988	-0,14906	-0,14911	-0,14915
-0,14906	-0,18595	-0,22988	-0,14906	-0,14911	-0,14915
-0,18428	-0,22933	-0,28299	-0,18428	-0,18433	-0,18437
-0,14906	-0,18595	-0,22988	-0,14906	-0,14911	-0,14915
-0,14906	-0,18595	-0,22988	-0,14906	-0,14911	-0,14915
-0,18428	-0,22933	-0,28299	-0,18428	-0,18433	-0,18437
-0,16667	-0,20764	-0,25644	-0,16667	-0,16672	-0,16676
-0,16667	-0,20764	-0,25644	-0,16667	-0,16672	-0,16676

Données météorologies sur site d'Adrar de décembre 2013 et décembre 2014 : [*]

2013	Température (°C)			Humidité (%)		
Décembre	High	avg	Low	High	avg	low
1	20	11	2	65	46	24
2	23	16	9	71	46	18
3	18	11	4	76	46	18
4	18	11	3	71	48	22
5	18	10	2	65	48	29
6	18	11	3	75	52	33
7	19	12	5	76	47	18
8	20	14	8	58	44	21
9	20	13	7	71	47	29
10	20	13	6	72	53	29
11	23	16	9	76	37	5
12	24	17	9	58	31	4
13	18	14	10	47	28	10
14	21	15	9	58	29	5
15	21	16	11	38	23	8
16	22	14	7	72	27	5
17	21	14	7	57	32	13
18	20	13	6	71	42	12
19	19	11	4	65	38	17
20	11	8	4	75	53	31
21	14	8	2	81	63	40
22	16	10	3	87	55	14
23	18	11	4	81	46	9
24	19	12	4	76	44	7
25	20	12	5	76	40	7
26	23	15	7	58	32	4
27	26	16	6	46	21	4
28	22	15	8	47	29	12
29	25	18	10	58	29	7
30	17	13	9	62	38	18
31	18	11	4	62	46	24

Sea Level Press. (hPa)			Wind (km/h)		
high	avg	low	high	Avg	high
1018	1012	1008	37	18	-
1017	1013	1010	52	31	-
1023	1020	1017	34	24	-
1026	1024	1022	23	18	-
1026	1024	1022	34	18	-
1026	1023	1021	35	19	-
1025	1023	1021	35	24	-
1023	1021	1018	45	29	-
1024	1021	1020	40	31	-
1025	1024	1022	40	27	-
1027	1025	1016	45	32	-
1028	1025	1022	52	34	-
1025	1023	1022	34	23	-
1026	1024	1021	29	23	-
1028	1026	1024	34	24	-
1027	1026	1024	35	24	-
1027	1025	1024	24	16	-
1026	1024	1023	37	21	-
1026	1023	1021	29	18	-
1022	1019	1016	47	16	-
1020	1018	1016	34	18	-
1025	1022	1019	37	21	-
1027	1025	1023	34	19	-
1027	1025	1023	27	18	-
1025	1023	1020	19	13	-
1021	1019	1018	26	16	-
1023	1021	1019	19	11	-
1021	1020	1016	23	14	-
1021	1019	1016	40	16	-
1026	1022	1020	52	39	-
1025	1024	1022	37	23	-

2014	Température (°C)			Humidité (%)		
Décembre	High	avg	Low	High	avg	low
1	21	14	8	77	53	29
2	23	16	8	60	52	37
3	24	17	8	71	49	30
4	24	17	11	68	51	35
5	24	17	9	63	45	18
6	24	17	10	54	38	22
7	22	14	7	53	38	20
8	18	12	7	71	45	25
9	19	11	3	65	46	25
10	16	11	6	62	47	31
11	16	11	5	67	50	32
12	20	12	4	70	48	26
13	21	12	3	62	42	21
14	22	14	6	58	41	21
15	20	13	6	53	37	19
16	20	12	4	54	41	24
17	21	17	12	58	40	26
18	21	13	5	59	44	26
19	20	12	4	61	43	25
20	22	13	6	59	41	17
21	22	13	5	52	36	18
22	23	14	6	57	31	4
23	22	14	7	55	34	16
24	22	14	6	55	35	18
25	20	13	7	48	37	24
26	18	11	4	58	44	26
27	17	9	2	61	46	28
28	19	10	1	57	41	25
29	19	11	3	66	38	20
30	15	10	5	62	43	25
31	14	7	-1	60	44	27

Sea Level Press. (hPa)			Wind (km/h)		
high	avg	low	high	Avg	high
1013	1011	1010	40	18	-
1013	1012	1010	34	16	-
1015	1013	1008	29	10	-
1017	1014	1013	27	18	-
1022	1018	1017	26	13	-
1022	1021	1019	35	24	-
1024	1021	1020	26	19	-
1026	1025	1023	34	21	-
1025	1022	1020	24	16	-
1026	1023	1015	48	19	-
1029	1027	1025	29	14	-
1027	1025	1023	27	19	-
1024	1022	1019	24	16	-
1021	1019	1017	27	13	-
1021	1018	1016	19	13	-
1022	1020	1018	26	14	-
1024	1022	1021	23	8	-
1027	1024	1022	29	13	-
1029	1027	1025	23	16	-
1028	1027	1025	39	21	-
1028	1026	1024	32	24	-
1027	1025	1023	40	23	-
1029	1026	1024	29	23	-
1028	1026	1024	29	19	-
1028	1026	1025	32	21	-
1027	1026	1024	37	18	-
1028	1025	1023	29	19	-
1026	1023	1021	16	11	-
1023	1021	1020	19	8	-
1029	1026	1023	40	21	-
1032	1029	1027	27	19	-

Coefficient α_1 de décembre 2014, qui traduisant l'influence de la pression et de la température sur la puissance éolienne :

coefficient α_1(P=cst,T)			coefficient α_1(P,T=cst)		
α1(P=1011,T)	α1(P=1020,T)	α1(P=1029,T)	α1(P,T=17)	α1(P,T=12)	α1(P,T=7)
0,00943	0,00952	0,00960	0,00934	0,00950	0,00967
0,00937	0,00945	0,00954	0,00935	0,00951	0,00968
0,00934	0,00942	0,00950	0,00936	0,00952	0,00969
0,00934	0,00942	0,00950	0,00936	0,00953	0,00970
0,00934	0,00942	0,00950	0,00940	0,00957	0,00974
0,00934	0,00942	0,00950	0,00943	0,00959	0,00977
0,00943	0,00952	0,00960	0,00943	0,00959	0,00977
0,00950	0,00959	0,00967	0,00947	0,00963	0,00980
0,00953	0,00962	0,00970	0,00944	0,00960	0,00978
0,00953	0,00962	0,00970	0,00945	0,00961	0,00979
0,00953	0,00962	0,00970	0,00948	0,00965	0,00982
0,00950	0,00959	0,00967	0,00947	0,00963	0,00980
0,00950	0,00959	0,00967	0,00944	0,00960	0,00978
0,00943	0,00952	0,00960	0,00941	0,00958	0,00975
0,00947	0,00955	0,00964	0,00940	0,00957	0,00974
0,00950	0,00959	0,00967	0,00942	0,00959	0,00976
0,00934	0,00942	0,00950	0,00944	0,00960	0,00978
0,00947	0,00955	0,00964	0,00946	0,00962	0,00979
0,00950	0,00959	0,00967	0,00948	0,00965	0,00982
0,00947	0,00955	0,00964	0,00948	0,00965	0,00982
0,00947	0,00955	0,00964	0,00948	0,00964	0,00981
0,00943	0,00952	0,00960	0,00947	0,00963	0,00980
0,00943	0,00952	0,00960	0,00948	0,00964	0,00981
0,00943	0,00952	0,00960	0,00948	0,00964	0,00981
0,00947	0,00955	0,00964	0,00948	0,00964	0,00981
0,00953	0,00962	0,00970	0,00948	0,00964	0,00981
0,00960	0,00969	0,00977	0,00947	0,00963	0,00980
0,00957	0,00965	0,00974	0,00945	0,00961	0,00979
0,00953	0,00962	0,00970	0,00943	0,00959	0,00977
0,00957	0,00965	0,00974	0,00948	0,00964	0,00981
0,00967	0,00976	0,00984	0,00950	0,00967	0,00984

Coefficient α_2 qui traduisant l'influence de l'humidité, de la pression et de la température sur la puissance éolienne :

coefficient α_2 (P=cst,T=cst,Hr)			coefficient α_2 (P=cst,T=cst,Hr)		
α2(P=1029,T=7,Hr)	α2(P=1020,T=12,Hr)	α2(P=1011,T=17,Hr)	α2(P=1029,T=7,Hr)	α2(P=1020,T=7,Hr)	α2(P=1011,T=7,Hr)
-0,19282	-0,26926	-0,36937	-0,19282	-0,19291	-0,19301
-0,18899	-0,26398	-0,36221	-0,18899	-0,18908	-0,18917
-0,17748	-0,24817	-0,34074	-0,17748	-0,17757	-0,17766
-0,18515	-0,25871	-0,35506	-0,18515	-0,18524	-0,18533
-0,16214	-0,22708	-0,31212	-0,16214	-0,16223	-0,16232
-0,13529	-0,19017	-0,26203	-0,13529	-0,13539	-0,13548
-0,13529	-0,19017	-0,26203	-0,13529	-0,13539	-0,13548
-0,16214	-0,22708	-0,31212	-0,16214	-0,16223	-0,16232
-0,16598	-0,23235	-0,31927	-0,16598	-0,16607	-0,16616
-0,16981	-0,23762	-0,32643	-0,16981	-0,16990	-0,16999
-0,18132	-0,25344	-0,34790	-0,18132	-0,18141	-0,18150
-0,17365	-0,24289	-0,33359	-0,17365	-0,17374	-0,17383
-0,15063	-0,21126	-0,29065	-0,15063	-0,15073	-0,15082
-0,14680	-0,20599	-0,28349	-0,14680	-0,14689	-0,14698
-0,13146	-0,18490	-0,25487	-0,13146	-0,13155	-0,13164
-0,14680	-0,20599	-0,28349	-0,14680	-0,14689	-0,14698
-0,14296	-0,20072	-0,27634	-0,14296	-0,14306	-0,14315
-0,15831	-0,22181	-0,30496	-0,15831	-0,15840	-0,15849
-0,15447	-0,21653	-0,29781	-0,15447	-0,15456	-0,15465
-0,14680	-0,20599	-0,28349	-0,14680	-0,14689	-0,14698
-0,12762	-0,17963	-0,24771	-0,12762	-0,12771	-0,12781
-0,10845	-0,15327	-0,21193	-0,10845	-0,10854	-0,10863
-0,11995	-0,16908	-0,23340	-0,11995	-0,12004	-0,12014
-0,12379	-0,17436	-0,24056	-0,12379	-0,12388	-0,12397
-0,13146	-0,18490	-0,25487	-0,13146	-0,13155	-0,13164
-0,15831	-0,22181	-0,30496	-0,15831	-0,15840	-0,15849
-0,16598	-0,23235	-0,31927	-0,16598	-0,16607	-0,16616
-0,14680	-0,20599	-0,28349	-0,14680	-0,14689	-0,14698
-0,13529	-0,19017	-0,26203	-0,13529	-0,13539	-0,13548
-0,15447	-0,21653	-0,29781	-0,15447	-0,15456	-0,15465
-0,15831	-0,22181	-0,30496	-0,15831	-0,15840	-0,15849

[*] :

Résumé :

Pour chaque implantation d'un parc éolienne, il faut faire une étude théorique sur le site d'implantation surtout l'étude de l'évolution des paramètres météorologiques (vitesse de vent, température, l'humidité et pression). Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'évolution et l'influence des paramètres météorologiques sur la puissance éolienne dans la région d'Adrar. Pour cela ; Nous choisissons un modèle mathématique appliquée sur un site qui traduise l'influence de la température, de la pression et de l'humidité relative sur le potentiel éolien. Nous conclurons que le site d'Adrar est caractérisé par un gisement éolien très important et quasi-stable au cours de l'année qui oscille entre des vitesses de vent allant de 20 km/h jusqu'à 60 km/h. Ce qui montre que ce site est très favorable à l'implantation des parcs éoliens en termes de vitesse de vents sans tenir comptes des autres paramètres météorologiques et en particulier la température hivernale très élevée ce qui constitue un grand défi à ce genre des stations de production d'électricité d'origine renouvelable et demande des recherches très pointues afin de pouvoir surmonter ce problème.

Mots clé : paramètres météorologique, modèle mathématique**,** parc éolienne.

الخلاصة

لأجل وضع أي حضيرة لطاقة الرياح لابد لها من دراسة نظرية حول مكان التموقع خاصة دراسة تغيرات العوامل الجوية المؤثرة (سرعة الرياح, درجة الحرارة,الرطوبة والضغط), العمل المقدم في هذه المذكرة يوضح تغيرات و تأثير هذه العوامل على إستطاعة التربينة الهوائية في منطقة ادرار, من أجل هذا إعتمدنا على نموذج رياضي يوضح تاثير الضغط, درجة الحرارة, والرطوبة النسبية على إستطاعة التربينة الهوائية.

استنتجنا أن هذه المنطقة تتميز بحقل جوي متميز ومهم وشبه مستقر خلال السنة حيث تتذبذب سرعة الرياح ما بين 20كم/سا الى غاية 60كم/سا, وهذا ما يدل على أن المنطقة ملائمة جدا لتموقع حضيرة طاقة الرياح بحكم سرعة الرياح وبغض النظر عن العوامل الأخرى ؛ خاصة درجة الحرارة الصيفية المرتفعة والتي تشكل عائقا في إنشاء محطات لتوليد الطاقة الكهربائية من الطاقات المتجددة وتتطلب بحثا معمقا لتجاوز هذا العائق.

كلمات مفتاحية : العوامل الجوية, نموذج رياضي, حضيرة طاقة الرياح.