

Évaluation du potentiel éolien dans la région montagneuse de Man, Côte d'Ivoire, par une étude comparative des données satellitaires et sur site de vent

Mariam TRAORE¹, Souleymane TUO^{1*}, Daouda KONE^{2,3}, Josée N'gbesso YAO¹, Kolotioloma Alama COULIBALY⁴ et Boko AKA³

¹ *Université de Man (U-Man), Département des Sciences et Technologies, Laboratoire Central d'Analyse, BP 20 Man, Côte d'Ivoire*

² *Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), UFR des Sciences de la Matière et de Technologie, Laboratoire de Technologie, BP V 34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire*

³ *Université Nangui Abrogoua (UNA), Institut de Recherche sur les Energies Nouvelles (IREN), BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire*

⁴ *Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique (SODEXAM), Département climatologie et applications météorologiques, BP 990 Abidjan 15, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 30 Mai 2023 ; Accepté le 08 Août 2023)

* Correspondance, courriel : souleymane.tuo@univ-man.edu.ci

Résumé

Dans cet article, une étude comparative est réalisée entre les données satellitaires et les données sur site pour évaluer le potentiel de la ressource éolienne dans la région montagneuse de Man située à l'ouest de la Côte d'Ivoire. L'étude est basée sur l'analyse des données du satellite Copernicus et celles fournies par la Société d'exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de la période 2016 - 2020. Il s'agit de déterminer la vitesse moyenne dans cette région au sol et en hauteur, puis de déterminer la direction du vent par le tracé des roses de vent et enfin évaluer la densité de l'énergie éolienne. Les résultats ont montré une bonne corrélation entre les données satellitaires et sur site à 10 mètres (m) du sol. Des variations similaires de la vitesse moyenne du vent ont été obtenues. Par ailleurs, la vitesse moyenne annuelle du vent, assez faible à la surface du sol (10 m) augmente avec le profil vertical à 2000 m d'altitude, passant de 1,94 à 5,67 mètres par seconde (m/s). Les densités de puissance au sol est quasiment multipliée par un facteur de plus de 30 lorsqu'on atteint la hauteur de 2000 m. Le sommet des montagnes pourrait donc être un site propice pour l'installation des centrales éoliennes en Côte d'Ivoire.

Mots-clés : *énergie éolienne, vitesse du vent, direction du vent, densité de puissance, données satellitaires, région montagneuse de Man, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Evaluation of the Wind Energy Potential in the Mountainous Region of Man, Ivory Coast, by a Comparative Study of Satellite and Wind Site Data

In this paper, a comparative study is carried out between satellite and on-site data to assess the wind resource potential in the mountainous region of Man located in western of Côte d'Ivoire. The study is based on the analysis of data from the Copernicus satellite and those provided by the Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) from the period 2016 to 2020. The aim was to determine the average speed of wind in this region on the ground and at height, then to determine wind direction by plotting wind roses, and finally to assess wind energy density. The results showed a good correlation between satellite and on-site data at 10 m above ground surface. Similar variations in the mean wind speed were obtained. In addition, mean annual wind speed, which is quite low at the ground surface (10 m), increases with vertical profile at 2000 m of altitude, rising from 1.94 m/s to 5.67 m/s. Power density of the wind at ground level is multiplied by a factor of almost 30 at 2000 m. Mountain tops could therefore be an acceptable site for the installation of wind power plants in Côte d'Ivoire.

Keywords : *wind energy, wind speed, wind direction, power density, satellite data, mountainous region of Man, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

La question de la production d'énergie propre est centrale dans tous les plans de développement. En effet l'humanité fait face actuellement à deux problématiques indéniables : l'épuisement progressif des ressources fossiles et l'impact de l'utilisation d'énergies polluantes sur l'environnement. Alors, après plusieurs sommets, congrès scientifiques et politique, le monde a compris que la stratégie efficace se résume dans la diversification des ressources énergétiques d'une part et le développement des énergies renouvelables d'autre part [1 - 3]. La réduction de la part des énergies fossiles dans la production énergétique est devenue un défi majeur pour les pays africains [4]. C'est ainsi qu'à la COP 21 de Paris en 2015, la Côte d'Ivoire s'est engagée à réduire la part des énergies fossiles des centrales thermiques à gaz dans sa production d'électricité passant d'environ 80 % en 2015 à environ 60 % à l'horizon 2030 [5]. Pour atteindre cet objectif, le pays compte diversifier ses sources d'énergies par la promotion des énergies renouvelables notamment le solaire photovoltaïque, la biomasse et l'éolien. Plusieurs centrales solaires photovoltaïques et de stations biomasses ont déjà été installées en Côte d'Ivoire. Ce qui n'est pas encore le cas pour l'énergie éolienne. Toutefois, l'énergie éolienne se répand de plus en plus en Afrique pour répondre à ce besoin de diversité énergétique [6]. Ainsi, de nombreuses études sont réalisées en Afrique pour évaluer les potentiels éoliens et favoriser l'implantation de parcs éoliens [7 - 9]. C'est ainsi que S. Jain et P. K. Jain ont évalué le potentiel de la ressource éolienne de l'Afrique du Sud, qu'ils ont estimé à 67000 GW [7]. De tels travaux sont réalisées dans de nombreux pays d'Afrique du Nord et de l'Est [10 - 15]. Cependant, dans les pays d'Afrique occidentale en général, et particulièrement en Côte d'Ivoire, de tels travaux sont moins répandus. Alors que dans sa partie ouest, notamment la région de Man, il existe de hautes montagnes dont les sommets atteignent 1000 m d'altitude [16]. Vu son emplacement géographique et son relief montagneux, la ville de Man semble disposer d'un potentiel important en termes de ressources éoliennes. Mais, pour l'évaluation de ce potentiel dans cette région, la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) enregistre les données de vent à 10 m du sol dans la station synoptique de Man. Pourtant la vitesse et la direction du vent peuvent varier en fonction de l'altitude [12]. D'où l'intérêt d'exploiter les données satellitaires pour évaluer les paramètres du vent à différentes hauteurs. Ainsi, dans cette étude il s'agira d'évaluer le potentiel éolien en hauteur de la région montagneuse de Man à l'ouest de la Côte d'Ivoire par l'analyse de données satellitaires et de données récoltées sur site par la SODEXAM.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description de la zone d'étude

La ville de Man est le Chef-lieu de la région du Tonkpi. Elle est située à l'ouest de la Côte d'Ivoire à 578 km d'Abidjan (capitale économique du pays). L'activité économique est dominée par l'industrie minière et l'agriculture. Les coordonnées géographiques de Man sont : 7°19'60" de latitude Nord ; 7°25'00" de longitude ouest. L'altitude de la ville de Man par rapport au niveau de la mer est 339 m [9]. Les **Figures 1 (a)** et **(b)** montrent respectivement le relief montagneux de la région de Man et la carte de la Côte d'Ivoire avec la localisation de la zone d'étude [16, 17]. La superficie de la ville de Man est estimée à 4740,7 km². Les températures moyennes de la région sont douces (environ 24 °C) et le taux d'humidité de l'air est comprise entre 80 et 85 %. La pluviométrie annuelle moyenne de Man est comprise entre 1300 à 2400 mm. La végétation est composée de forêts denses. Le relief montagneux de la ville de Man dispose de chaînes de montagnes atteignant parfois 1000 m d'altitude [17].

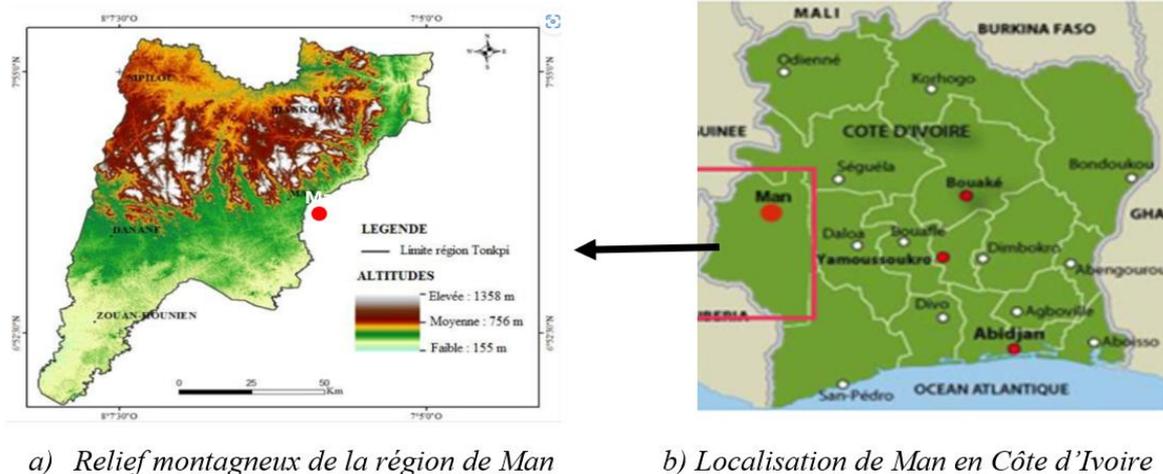


Figure 1 : *Présentation géographique de la zone d'étude : (a) relief montagneuse de Man et (b) localisation de la région de Man en Côte d'Ivoire*

2-2. Données de vent sur site

Les mesures de direction et de vitesse de vent sur site ont été effectuées par la SODEXAM à la station synoptique de Man. L'instrument (ou capteur) de mesure est à une hauteur de 10 m du sol. Les données de cette étude sont tri-horaires sur une période de cinq ans soit de 2016 à 2020.

2-3. Données satellitaires de vent

Les données satellitaires de la vitesse et de la direction du vent de la ville de Man sont disponibles dans la base de données climatiques du service Copernicus [18]. Après la saisie des coordonnées spéciales de la zone d'étude, il est essentiel de choisir la configuration appropriée de temps (année, mois, jours, heures) pour le téléchargement des données. Dans le cadre de cette étude, une plage de cinq années (2016 - 2020) a été sélectionnée avec un pas horaire. Les données satellitaires ont été téléchargées sous format « *.grib », ce qui a nécessité un traitement sous le logiciel PYTHON pour sa conversion au format « *.csv » utilisable sous les machines Windows. Contrairement aux données sur site, les données satellitaires sont disponibles à différentes hauteurs. Notre étude a porté sur les hauteurs variant de 10 m à 2000 m pour évaluer le potentiel éolien en hauteur.

2-4. Méthode d'estimation du potentiel éolien

2-4-1. Distribution de Weibull

La fonction exponentielle de la distribution de Weibull à deux paramètres permet de caractériser la distribution fréquentielle des vitesses de vent sur une période donnée. Elle comprend un paramètre d'échelle c (m/s) qui renseigne sur la vitesse moyenne du vent caractéristique du site et un paramètre de forme k (sans unité) indiquant quant à lui le caractère plus ou moins symétrique de la distribution. L'expression de la distribution fréquentielle du vent est donnée à *l'Équation (1)* [19].

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (1)$$

La vitesse moyenne du vent V_{moy} peut être calculée en fonction des paramètres de Weibull données par *l'Équation (2)* [20].

$$V_{moy} = c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2)$$

$\Gamma(x)$ étant une fonction mathématique dont l'expression est donnée par *l'Équation (3)* est :

$$\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} \exp(-t) t^{x-1} dt \quad (3)$$

2-4-2. Densité de puissance moyenne

La densité de l'air ρ et la vitesse v du vent sont des paramètres indispensables pour la détermination la densité de puissance éolienne sur un site. L'expression de la densité de puissance moyenne éolienne P est donnée par *l'Équation (4)* [20].

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \rho v^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (4)$$

3. Résultats et discussion

3-1. Validation des mesures satellitaires par les mesures sur site au sol

3-1-1. Étude de la variation de la vitesse moyenne du vent

La comparaison des vitesses moyennes du vent des données satellitaires par rapport aux données de la SODEXAM a été faite sur 5 ans de 2016 à 2020. La *Figure 2* présente les résultats de cette comparaison.

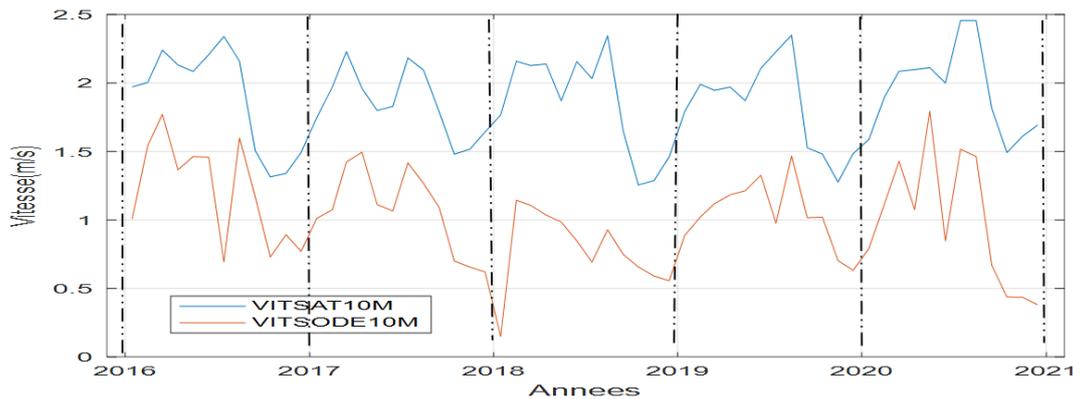


Figure 2 : Évolution des vitesses du vent satellitaire et in situ en fonction des années

On observe sur cette **Figure 2**, par exemple, pour l'année 2016, au niveau des données satellitaires (courbe en bleu), la présence de deux maximums et de deux minimums. Le premier maximum de valeur 2,24 m/s est obtenu autour du mois de mars alors que le deuxième de valeur 2,34 m/s, plus large, s'étend sur les mois de juillet et août. Le premier minimum de valeur 2,08 m/s est obtenu autour du mois de mai et le deuxième plus large de valeur 1,31 m/s s'étend sur les mois de novembre et décembre. Des maximums et minimums similaires sont observables sur les données sur site de la SODEXAM (courbe en orange). Les variations des données satellitaires et celles de la SODEXAM, sur une année, sont globalement similaires. Cette similarité de la variation des données se répète sur toutes les cinq années d'étude avec une corrélation de 0,89 entre les deux séries de données. Cela suggère une bonne corrélation entre les données satellitaires et les données sur site de la SODEXAM. Cela permet la validation des données satellitaires dans la région de Man. La seule différence est que les vitesses moyennes mensuelles de la SODEXAM sont en dessous des vitesses moyennes satellitaires. Cela peut être expliqué par le fait que les mesures sur site sont effectuées par des anémomètres à coupelle. Or, l'humidité et la poussière peuvent se poser dans les interstices et retarder les mouvements de la rotation de l'anémomètre. Ainsi cela entraînerait une diminution de la mesure de la vitesse du vent. En plus, ces anémomètres à coupelles ont régulièrement besoin d'étalonnage pour ajuster la réponse aux vents [15]. Or, les satellites ne sont pas soumis à de tels aléas. On constate cependant qu'aussi bien les données satellitaires et sur site ont une vitesse moyenne (V_{moy}) qui ne dépasse pas 2,5 m/s. Ce sont donc des vents relativement faibles et calmes qui soufflent à Man à 10 m au-dessus du sol.

3-1-2. Comparaison des roses de vent de données satellitaires et sur site

La **Figure 3** présente les roses de vents de la zone de Man établies à partir des données récoltées sur le site et des données satellitaires. Cette **Figure 3** met en relief les directions du vent suivant les deux types de données (in situ et satellitaire) récoltées sur les cinq ans. Les roses de vent montrent une plus forte densité de vent avec les données satellitaires contrairement aux données sur site. Cela peut être attribuée au pas de mesure du vent. En effet, les données satellitaires sont obtenues avec un pas horaire contre un pas tri-horaire pour les données sur site. Un tel résultat confirme l'impact des instruments de mesure sur la qualité des données de vent utilisées pour l'évaluation de la ressource éolienne dans une région donnée.

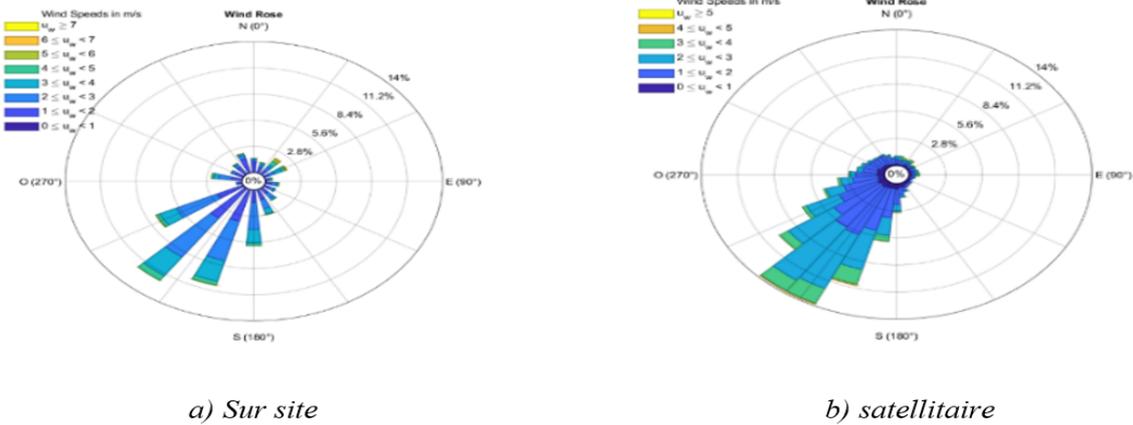


Figure 3 : Rose de vent à 10 m pour les cinq années (a) sur site et (b) satellitaire

L'analyse des roses des vents pour chaque année montre que la direction dominante est le Sud-Ouest. Aussi bien les données satellitaires que celles de la SODEXAM indiquent la même direction dominante du vent. Par conséquent, les résultats sur site valident les données satellitaires. La mousson est le vent qui souffle du sud-ouest de la Côte d'Ivoire vers le nord-est [16]. Le type de vent dominant à Man est donc la mousson. Ce vent traverse ainsi des forêts denses et les chaînes de montagnes avant d'atteindre la ville de Man. Tous ces obstacles naturels peuvent ralentir le vent. Cela peut donc justifier l'affaiblissement des vitesses moyennes observé sur la *Figure 2*.

3-1-3. Évaluation du potentiel éolien dans la ville de Man au sol (à 10 m)

L'allure des histogrammes de la distribution de Weibull à deux paramètres est similaire pour les deux types de données pour chacune des années de la période d'étude. La *Figure 4* présente l'historgramme de l'année 2016. On observe sur cette figure que la plage des vitesses est comprise entre 0 et 4,5 m/s. De plus, les vitesses qui ont une forte probabilité d'apparition oscillent autour de 2 m/s, confirmant ainsi, la faible vitesse de vent dans cette zone. Par ailleurs, le *Tableau 1* présente les résultats de calcul des paramètres éoliens pour une année (2016) notamment, la vitesse moyenne, les paramètres *k* et *c* de Weibull et les densités moyennes de puissance.

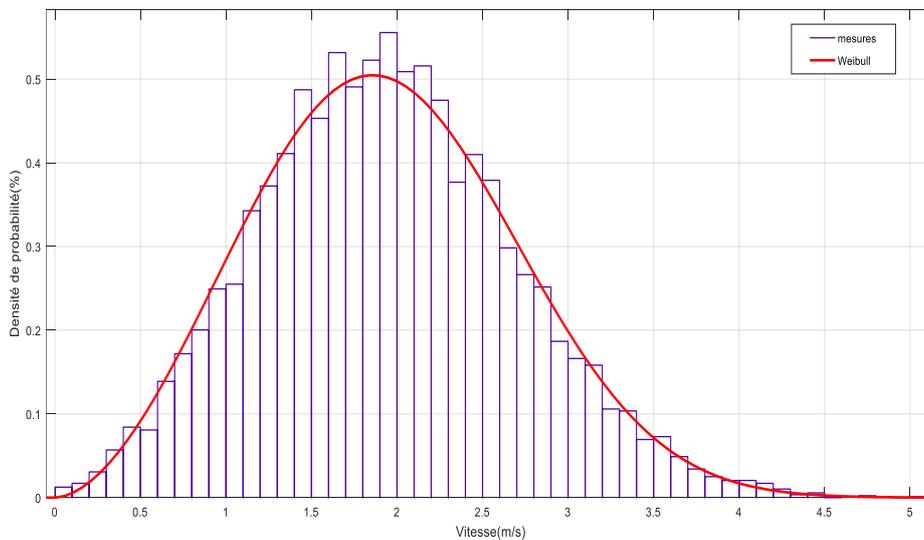


Figure 4 : Distribution Weibull pour les données satellitaires de la ville de Man à 10 m

Tableau 1 : Résultats détaillés du potentiel éolien pour l'année 2016

Mois	Vmoy (m/s)	k	c (m/s)	DP (W/m ²)
Janvier	1,58	2,58	1,78	3,62
Février	1,89	2,73	2,13	6,03
Mars	2,07	2,63	2,34	8,14
Avril	2,09	2,94	2,34	7,68
Mai	2,10	3,4	2,34	7,30
Juin	1,99	3,28	2,22	6,3
Juillet	2,45	3,73	2,71	11,1
Août	2,45	3,98	2,7	10,74
Septembre	1,81	283	2,03	5,11
Octobre	1,48	2,6	1,67	2,99
Novembre	1,6	3,16	1,79	3,33
Décembre	1,69	3,27	1,88	3,82

On observe dans le **Tableau** des valeurs de la vitesse moyenne mensuelle inférieures à 2,45 m/s. De plus, les valeurs des paramètres c et k sont comprises entre 1,67 m/s et 2,34 m/s pour c et entre 2,5 et 3,98 pour k. Les valeurs moyennes des densités de puissance (DP) moyenne annuelle est de 6,34 W/m². Par ailleurs, la période qui a enregistré une densité de puissance plus importante, est entre les mois de Mars et Août (**Tableau 1**). Toutes ces valeurs relativement faibles indiquent que le gisement éolien à Man est faible à cette hauteur de 10 m. Un tel vent pourrait à peine permettre l'enclenchement d'une éolienne [22].

3-2. Influence des saisons sur la variabilité du potentiel éolien au sol (10 m)

La région de Man est située en zone forestière. Le climat de la région de Man est dominé par deux saisons bien distinctes. Une saison sèche comprise entre le mois de novembre et le mois de février et une saison des pluies qui s'étale de mars à octobre [16, 22]. Les variations des vitesses moyennes et de la direction du vent en fonction des mois sont similaires d'une année à l'autre quel que soit le type de données utilisées. Ainsi, pour cette analyse, nous considérons les données satellitaires de l'année 2020. La **Figure 5** présente l'évolution des vitesses du vent en fonction des mois. Nous observons qu'en fonction des saisons le vent n'a pas la même vitesse. La vitesse du vent est plus forte en saison pluvieuse comparée à la saison sèche. Cela suggère un impact important des saisons sur le mouvement du vent. En effet, la ville de Man est soufflée par deux vents au cours de l'année : la mousson qui est un vent océanique humide venant du sud du pays et l'harmatan un vent désertique plus sec qui vient du nord. Ces deux vents se rencontrent à Man mais la prédominance de l'un par rapport à l'autre est gouvernée par la position du front intertropical [16].

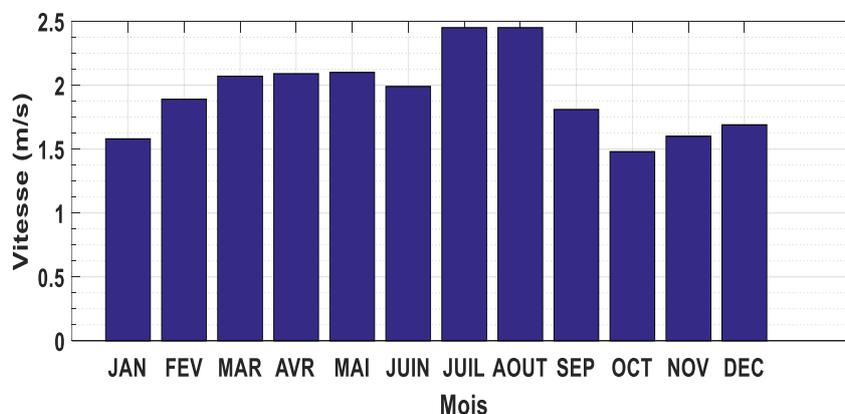


Figure 5 : Variation mensuelle de la vitesse du vent à 10 m du sol pour l'année 2020

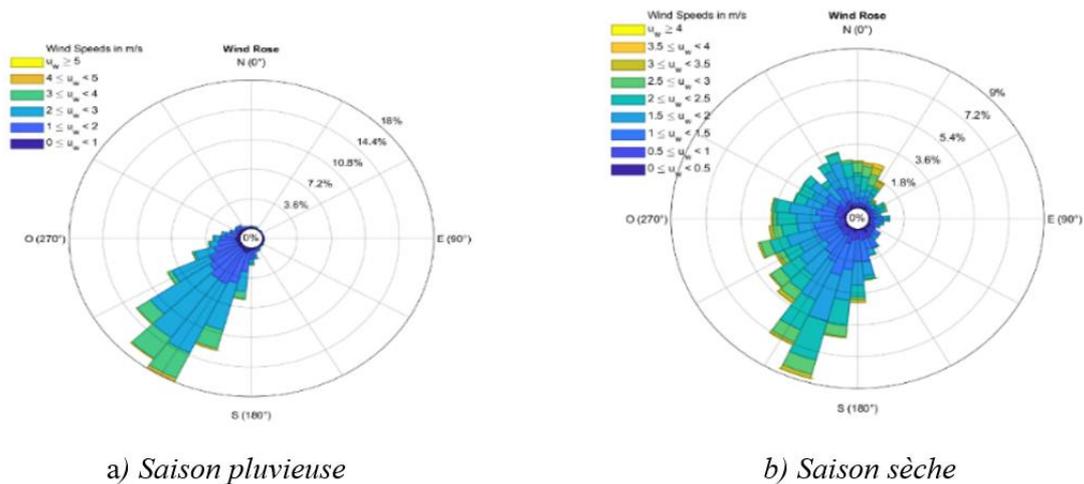


Figure 6 : Direction du vent en fonction des saisons de l'année à 10 m

Les **Figures 6 (a) et (b)** montrent respectivement les roses de vent en fonction des saisons de pluie et sèche. En saison pluvieuse (mars à octobre) (**Figure 6 (a)**), la direction de vent est globalement uniforme. La **Figure 6 (a)** montre que les vents viennent du sud-ouest. Ce type de vent est la mousson [23]. Alors qu'en saison sèche (novembre à février) (**Figure 6 (b)**), la direction est partagée entre les directions sud-ouest et nord. C'est-à-dire que les vents viennent des deux directions : sud-ouest et nord. Cela suggère qu'en saison sèche, on a le croisement des deux types de vent à Man [16]. La vitesse du vent faible en saison sèche suggère que ces deux vents de directions opposées ont tendance à se neutraliser lorsqu'ils se croisent. On constate par ailleurs dans le **Tableau 2** que la densité de puissance (DP) éolienne en saison pluvieuse correspond au double de celle de la saison sèche. Il apparaît donc que le vent humide qui souffle en saison pluvieuse contient plus d'énergie que celui qui souffle en saison sèche. Ces résultats sont en accord avec [24 - 26]. Par conséquent, les saisons ont un impact important sur le rendement énergétique éolienne dans cette zone.

Tableau 2 : Densité de puissance en fonction des saisons de l'année à 10 m du sol

Saison / paramètres	V _{moy} (m / s)	DP (W / m ²)
Saison sèche	1,69	4,19
Saison pluvieuse	2,14	8,10

3-3. Évolution de la vitesse moyenne et direction du vent à différentes altitudes

3-3-1. Effet de l'altitude sur la vitesse du vent

L'analyse des données satellitaires permet d'atteindre les hauteurs qui ne sont pas atteignables avec les stations de mesures de la SODEXAM. La **Figure 7** présente les variations de la vitesse du vent en fonction des années pour les hauteurs allant de 10 m, 1000 m et 2000 m.

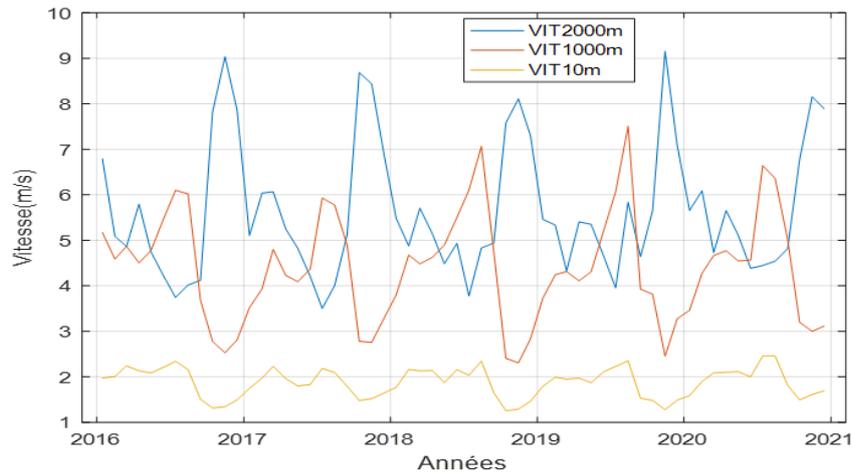


Figure 7 : Évolution des vitesses de vent en fonction des années à différentes hauteurs

Cette figure montre que les variations des vitesses de vent sont plus importantes avec l'altitude. Toutefois, les courbes de 10 m et 1000 m présentent des allures similaires au cours des cinq années (2016 à 2020). Cependant, la courbe de vent à 2000 m semble avoir une allure différente de celles des courbes obtenues à des hauteurs de 10 m et 1000 m. En effet, sur la **Figure 7**, nous pouvons remarquer qu'aux moments où, les courbes de vent à 10 m et 1000 m, atteignent ensemble des maxima, celle de 2000 m présente, en ces points, des minima. À 2000 m, on est dans la troposphère libre au-dessus de la couche limite de l'atmosphère (CLA). Cela suggère le déplacement du vent dans la troposphère libre est différent de celui en basses altitudes dans la CLA [22, 27]. Par ailleurs, la **Figure 7** montre également une relative faible évolution de la vitesse en fonction de la hauteur surtout en deçà de 1000 m. Cette observation est confirmée par le résultat de la **Figure 8**. Cette **Figure 8**, montre en effet, une dépendance polynomiale d'ordre 2 de la hauteur à la vitesse moyenne. Pour des hauteurs inférieures à 100 m, une faible évolution de la vitesse est observable. La relation entre la hauteur $H(V)$ et la vitesse moyenne V est donnée par l'Équation (5) :

$$H(V) = 93,649 \times V^2 - 179,1 \times V \tag{5}$$

La ville de Man est bordée de chaînes montagnes qui semblent avoir un effet barrière sur la circulation du vent dans la zone.

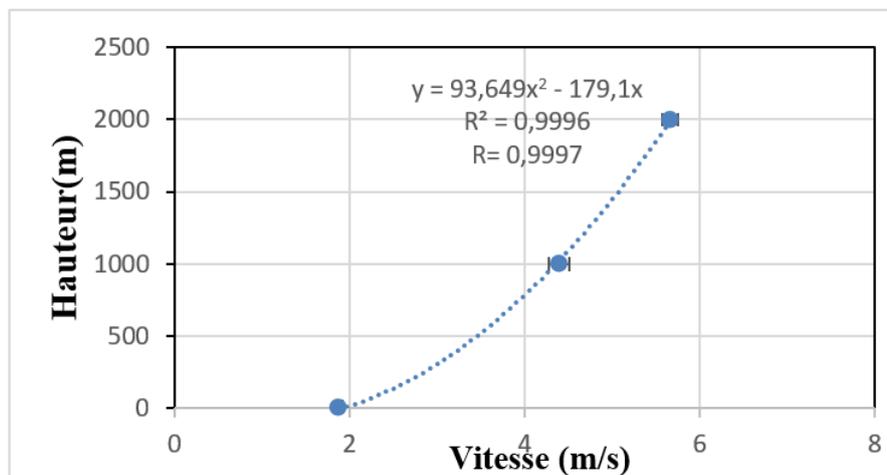


Figure 8 : Évolution polynomiale de la hauteur en fonction de la vitesse moyenne

3-3-2. Directions du vent à différentes altitudes

La **Figure 9** présente les roses de vent à 10 m, 1000 m et 2000 m. Ces roses de vent indiquent la direction du vent aux différentes altitudes.

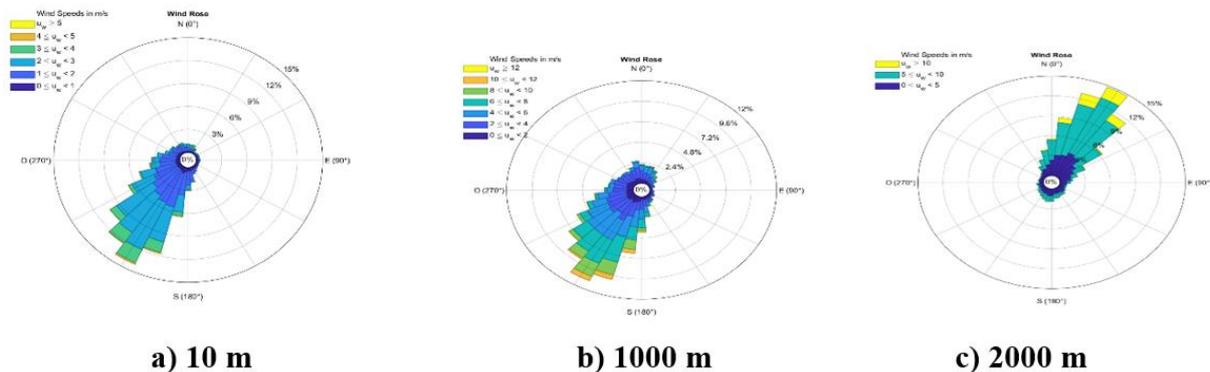


Figure 9 : Les roses des vents à différentes altitudes : 10 m, 1000 m et 2000 m

Nous remarquons que la direction dominante pour le vent aux hauteurs de 10 m et 1000 m, demeure le secteur du sud-ouest. Par contre, à 2000 m, la direction dominante du vent devient le secteur nord-est. Or, cette direction nord-est du vent indique la dominance de l'harmattan [22]. C'est-à-dire qu'au-delà de 1000 m, les vents sont gouvernés par l'harmattan. Ainsi, les vents des hauteurs de 10 m et 1000 m, ont la même la direction. Toutefois, cette direction est opposée à celle des vents à 2000 m. Cela suggère que la direction du vent au sol dans la couche limite atmosphérique est différente de la direction du vent dans troposphère libre à 2000 m d'altitude. Ce résultat confirme que la troposphère libre (de 1000 m à 10000 m) a des caractéristiques atmosphériques différentes de la couche limite atmosphérique qui est la zone qui part de la surface du sol jusqu'à 1000 m [22].

3-4. Énergie éolienne à différentes altitudes

Le **Tableau 3** montre l'évolution des densités de puissance déterminées aux différentes altitudes 10 m, 1000 m et 2000 m. Nous remarquons d'une part, que la densité de puissance évolue de $6,4 \text{ W/m}^2$ à 10 m pour atteindre $185,59 \text{ W/m}^2$ à 2000 m. La densité de puissance au sol est quasiment multipliée par un facteur de plus de 30 lorsqu'on atteint la hauteur de 2000 m. En somme, des augmentations notables de la densité de puissance est obtenue avec l'augmentation de l'altitude. Ce qui signifie que le potentiel éolien est plus significatif à des hauteurs au-delà de 1000 m. Cela implique que toute installation éolienne dans la zone de Man, devrait se faire à une hauteur minimale de 1000 m pour capter le maximum du potentiel éolien. Ainsi on peut exploiter les sommets des montagnes dans cette région qui regorge des montagnes de hautes altitudes telles que le mont Tonkpi (1243 m), le mont Nimba (1753 m).

Tableau 3 : Variation des différents paramètres éoliens en fonction des hauteurs

Hauteur (m)	Vitesse moyenne (m/s)	DP (W/m^2)
10	1,94	6,4
1000	4,47	106
2000	5,67	185,59

4. Conclusion

Dans ce travail, il était question d'estimer le potentiel éolien au sol et en hauteur dans la région montagneuse de Man (Côte d'Ivoire). L'étude a montré qu'au sol, à 10 m, les données satellitaires et les données sur site de la SODEXAM, présentaient un comportement globalement uniforme et répétitif du vent au cours des années dans cette région. Des vitesses moyennes faibles de vent ont été obtenues au sol. Toutefois, les vitesses de vent obtenues par les données sur site étaient plus faibles que celles obtenues par les données satellitaires. L'étude a également montré que la vitesse du vent et la densité de puissance étaient plus fortes en saison pluvieuse (mars-octobre) par rapport à la saison sèche (novembre-février). Il ressort aussi de ce travail que l'énergie éolienne augmente avec l'augmentation de la hauteur de 10 m à 2000 m. Ainsi au-delà de 1000 m la vitesse du vent est suffisamment forte pour l'implantation de parc éolien. De telles hauteurs sont atteignables par l'exploitation des sommets de montagnes.

Références

- [1] - GUGLIELMO MARIA CAPORALE, NICOLA SPAGNOLO, Awon Almajali, "*Economic Modelling*", Vol. 123, (2023) 106273
- [2] - JEAN MULOPO, "*heliyon*", Vol. 8, (11) (2022) 11296
- [3] - FESTUS FATAI ADEDOYIN, FESTUS VICTOR BEKUN, MD. EMRAN HOSSAIN, ELVIS KWAME OFORI, BRIGHT AKWASI GYAMFI, MURAT ISMET HASEKI, "*Renewable Energy*", Vol. 206, (2023) 214 - 222 p.
- [4] - OMAR ELLABBAN, HAITHAM ABU-RUB, FREDE BLAABJERG, "*Renewable and Sustainable Energy Reviews*", Vol. 39, (2014) 748 - 764 p.
- [5] - <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12333894.pdf>, consulté le 12/08/2023
- [6] - A. EBERHARD et R. NAUDE, Recommendations for the design of successful renewable energy auctions or competitive tenders in Africa, (2017), doi: 10.13140/RG.2.2.29228.87684
- [7] - S. JAIN et P. K. JAIN, *Energy Procedia*, Vol. 143, (2017) 721 - 726 p.
- [8] - DAVID ALEMZERO, THEOPHILUS ACHEAMPONG, SUN HUAPING, "*Renewable Energy*", Vol. 179, (2021) 652 - 666 p.
- [9] - ALLI D. MUKASA, EMELLY MUTAMBATSERE, YANNIS ARVANITIS, THOURAYA TRIKI, "*Energy Research & Social Science*", Vol. 5, (2015) 90 - 104 p.
- [10] - S. DIAF, G. NOTTON et D. DIAF, *Energy Procedia*, Vol. 42, (2013) 53 - 62 p.
- [11] - M. DOUAK et N. SETTOU, *Energy Procedia*, Vol. 74, (2015) 981 - 990 p.
- [12] - F. BEN AMAR, M. ELAMOURI et R. DHIFAUI, Communication "*Journées Internationales de Thermique*", Tunisie, (2009)
- [13] - M. ELAMOURI et F. BEN AMAR, Conference "*Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique*", Algérie (2010)
- [14] - I. JARRAYA, F. BEN AMAR, M. ELAMOURI et R. DHIFAUI, Conference "*International Renewable Energy*" Tunisie, (2010)
- [15] - A. KAZIMIERCZUK, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 107, (2019) 434 - 445 p.
- [16] - A. NAON, « Perceptions des agriculteurs pour l'agroforesterie sur les flancs de montagne de man en Côte d'Ivoire », Université LAVAL, Canada, (2019)
- [17] - A. C. TIESSE, " Apport de la teledetection et des sig pour le suivi spatio- temporel de l'occupation du sol et la cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique dans la région montagneuse du tonkpi (ouest de la cote d'ivoire) ", Thèse unique, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, (2020) 198 p.

- [18] - « Copernicus Climate Data Store | ». [https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab = form](https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form) (consulté le 20 mai 2023)
- [19] - C. G. JUSTUS, W. R. HARGRAVES and ALI YALCIN, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 15, N°7 (1996)
- [20] - PIERRE POKEM, ELIE BERTRAND KENGNE SIGNE, JEAN NGANHOU, YAOUBA, *Journal of Power and Energy Engineering*, Vol. 11, N°6 (2023)
- [21] - P. QUENEY, *Bull. Assoc. Géographes Fr.*, Vol. 33, N° 255 (1956) 30 - 38 p.
- [22] - S. MADOUGOU, « Étude du potentiel éolien du jet nocturne dans la zone sahélienne à partir des observations de radars profileurs de vent. », Thèse, Université de Toulouse, Toulouse, (2010) 215 p.
- [23] - L. DORIZE, Éditions de l'IHEAL, (2014) 53 - 61 p. doi: 10.4000/books.iheal.1221
- [24] - A. A. AKINSANOLA, K. O. OGUNJOBI, A. T. ABOLUDE, S. C. C. SARRIS, K. O. LADIPO, "*Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*", 7 (2) (2017) 1 - 6
- [25] - A. B. AKPO, J. C. T. DAMADA, H. E. V. DONNOU, B. KOUNOUHEWA, C. N. AWANOU, "*Revue des Energies Renouvelables*", 18 (3) (2015) 457 - 468
- [26] - D. INDHUMATHY, C. V. SESHIAH, K. SUKKIRAMATHI, "*International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*", 3 (1) (2014) 8340 - 8345 p.
- [27] - R. TEYSSEYRE, phd, Institut National Polytechnique de Toulouse, (2013) 212 p.