

REGIONALISATION ET ETUDE DU VENT A 950 hPa AU NORD DE MADAGASCAR (REGIONALIZATION AND WIND STUDY AT 950 hPa NORTH OF MADAGASCAR)

TAMO Andy¹, RANDRIANANTENAINA Eugène J.¹, SOANAOLY Juliette², RAZAFINDRAZAKA Tsilavo M.², RATIARISON Adolphe A².

1 : Mention Physique, Université de Toliara, Madagascar

2 : Mention Physique, Université d'Antananarivo, Madagascar

Auteur principal: TAMO Andy, e-mail: t.and1@yahoo.fr

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude sur le vent au Nord de Madagascar qui est compris entre 12° Sud et 15° Sud de latitude et 47° Est et 51° Est de longitude. La région du Nord de Madagascar est balayée par le «Varatraza» (Vent à 950 hPa). Ce vent est intense et on se demande si l'arrivée de ce vent est périodique. D'autre part, l'implantation des éoliennes dans cette région nécessite l'étude du vent à basse altitude. Dans ce cas, une régionalisation du vent dans cette région s'avère nécessaire pour pouvoir observer les lieux de vent de caractéristiques similaires. En effet, un mauvais choix de certains paramètres pourra porter préjudice à une installation éolienne. L'objectif général du travail est de détecter une cohérence régionale au niveau de cette partie de Madagascar et voir les différentes échelles de variabilité de ce vent. Pour cela, nous avons utilisé l'Analyse en Composantes Principales pour déterminer les lieux de caractéristiques de vent similaires et les regrouper en plusieurs zones plus petites. L'analyse à l'aide de la statistique descriptive, nous a permis de calculer les paramètres du vent. Les résultats de la régionalisation du vent nous montrent qu'il y a trois zones avec différentes caractéristiques. La zone I qui a de forte intensité de vent se localise à l'extrême Nord de Madagascar. Les deux autres zones ont d'intensité largement inférieure à celui de la zone I.

Mots clés : Vent, Varatraza, ACP, FFT

Abstract

This work is part of a study on wind in the North of Madagascar which is between 12° South and 15° South of latitude and 47° East and 51° East of longitude. The northern region of Madagascar is swept by the «Varatraza» (Wind at 950 hPa). This wind is intense and one wonders if the arrival of this wind is periodic. On the other hand, the establishment of wind turbines in this region requires the study of wind at low altitudes. In this case, wind regionalisation in this region is necessary to be able to observe places of wind of similar characteristics. Indeed, a poor choice of certain parameters may harm a wind installation. We used Principal Component Analysis to identify locations with similar wind characteristics and group them into several smaller areas. The analysis using descriptive statistics allowed us to calculate the wind parameters. The results of wind regionalization show us that there are three zones with different characteristics. Zone I with high wind intensity is located in the extreme north of Madagascar. The other two zones have a much lower intensity than zone I.

Keywords: Wind, Varatraza, ACP, FFT

Introduction

Madagascar est une grande île qui se trouve dans l'océan Indien entre 11°57' et 25°35' de latitude Sud et 43°14' et 50°27' de longitude Est. Un régime de vent d'Alizé du Sud-Est connu sous le nom de « *Varatraza* » souffle de façon violente et continue au Nord de l'île (MEEF, 2017). Depuis plusieurs années, les considérations environnementales, l'augmentation constante des coûts et l'épuisement des énergies fossiles sont à l'origine de nombreux efforts effectués autant par les scientifiques.

D'une part, la nécessité de trouver des alternatives fiables et durables a conduit à la fulgurante croissance des énergies renouvelables, notamment celle de l'énergie éolienne. D'autre part, l'implantation des éoliennes dans cette région nécessite l'étude du vent à basse altitude. Dans ce cas, une régionalisation du vent dans cette région s'avère nécessaire. C'est pourquoi une phase d'étude au préalable se révèle d'un extrême intérêt dans la mesure où on pourra dégager les conditions et contraintes à en tenir compte dans la réalisation d'un projet éolien. L'objectif général de ce travail est de faire une étude et analyse de la climatologie du vent de la région, car une bonne connaissance de ce site permet une meilleure exploitation de ce vent.

Matériels et méthodologie

Matériels

Zone d'étude

Notre zone d'étude, encadrée en bleue, est la partie nord de Madagascar qui est comprise entre :

- 12° Sud et 15° Sud de latitude
- 47° Est et 51° Est de longitude

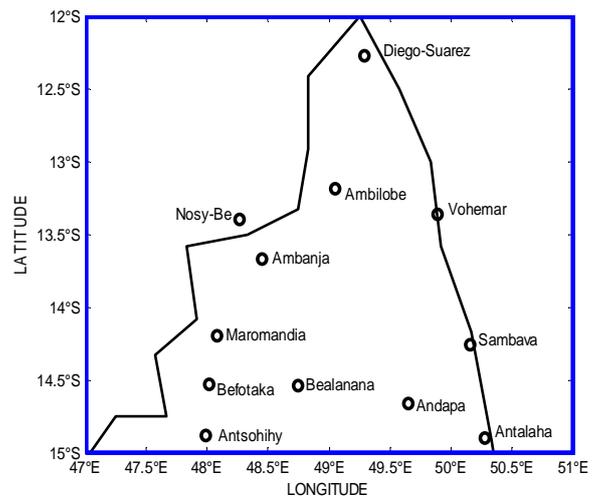
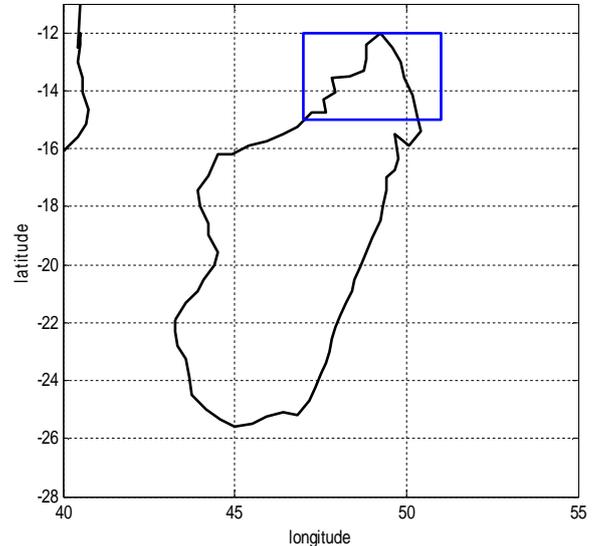


Figure 1 : Représentation de la zone d'étude

Données

Les données météorologiques que nous avons utilisées sont des données ERA-Intérim (réanalyse) du vent à 950 hPa issues du centre européen ECMWF, qui est disponible sur le site web www.ecmwf.int. Ces données ont une discrétisation spatiale de 0,5°x0,5° en latitude et

longitude et une profondeur temporelle couvrant la période 1979-2017. Une fois ces paramètres extraits, la base de données utilisée est constituée de 14245 états journaliers du vent.

Outils de traitements de données

Nous avons fait recours aux logiciels, MatLab pour les programmations et tous les calculs, Excel et Xlstat pour calculs et vérifications de certains résultats.

Analyse statistique descriptive des données

Objectif: Déterminer les caractéristiques des données à étudier

Indices de tendances centrales

Ce sont classiquement la moyenne et la médiane qui sont utilisées. Dans le cadre de notre étude, c'est la moyenne qui sera systématiquement utilisée, et elle est définie par Sapota (2006) :

$$\bar{X} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_t \quad (1)$$

Indices de dispersions

Le plus souvent, c'est la variance empirique qui est mise en évidence, elle indique la dispersion des observations autour de leurs indices de tendance, par définition la variance est donnée par la relation suivante :

$$V(X) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X}_t)^2 \quad (2)$$

Il se trouve que des fois, c'est l'écart type qui en est la racine carrée de la variance, de symbole σ , qui est utilisé, dans ce cas nous avons donc :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X}_t)^2} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{V(X)} \quad (4)$$

Moyenne mobile

La moyenne mobile, ou moyenne glissante, est un type de moyenne statistique utilisée pour analyser des séries ordonnées de données, en supprimant la fluctuation transitoire de façon à en souligner les tendances à plus long terme (Sapota, 2006).

$$\bar{x}_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{n-k} \quad (5)$$

$$\bar{x}_n = \bar{x}_{n-1} + \frac{x_n - x_{n-N}}{N} \quad (6)$$

Moyenne climatologique

Les normales climatologiques sont traditionnellement données sous la forme de valeurs moyennes calculées sur une période donnée. Ici, notre période d'étude est de 39 ans (1979 à 2017).

Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP a été utilisée par Randrianantenaina (2011) dans l'objectif de la régionalisation du phénomène étudié. Les étapes de calcul sont les suivantes :

a) Moyenne de la variable.

$$\bar{X}_j = \sum \left\{ \frac{m_i}{M} X_{ij} \mid i \in I \right\} \text{ avec } M = \sum \{m_i \mid i \in I\} \quad (7)$$

b) Variance de la variable.

$$\sigma_j^2 = \text{var}(X_i) = \sum \left\{ \frac{m_i}{M} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \mid i \in I \right\} \quad (8)$$

c) Coefficient de corrélation linéaire entre deux variables.

$$r_{ij'} = \sum \left\{ \frac{m_i}{M} X_{ij} X_{ij'} \mid i \in I \right\} \quad (9)$$

d) Matrice de corrélation

$$\begin{pmatrix} 1 & \dots & r_{p-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p-1} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

e) Valeurs propres des composantes principales.

f) Analyse des points variables et Analyse des points individus.

Résultats et interprétations

Caractéristiques de la zone globale

Présentation des données

journalières du vent

La figure 2 représente l'évolution journalière du vent. La vitesse du vent oscille généralement entre 2 et 8 m/s dans la zone globale avec une répétition pseudo-périodique des pics de vitesses d'environ 12 m/s. La droite représentant la moyenne globale montre que la vitesse du vent reste constante durant la période d'étude (pas de tendance à la hausse ou à la baisse).

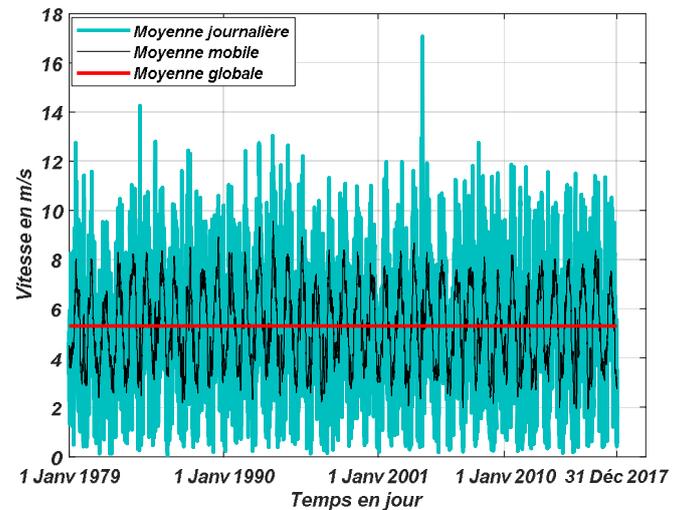


Figure 2: Evolution du vent journalier de 1979 à 2017.

Moyenne climatologique

mensuelle du vent

D'après le graphique en barre des moyennes climatologiques mensuelle du vent (Figure 3), l'hiver austral soit de Mai à Octobre est plus venteux que l'été austral c'est-à-dire de Novembre à Avril. Le maximum de 7.20 m/s correspond au mois de Juillet.

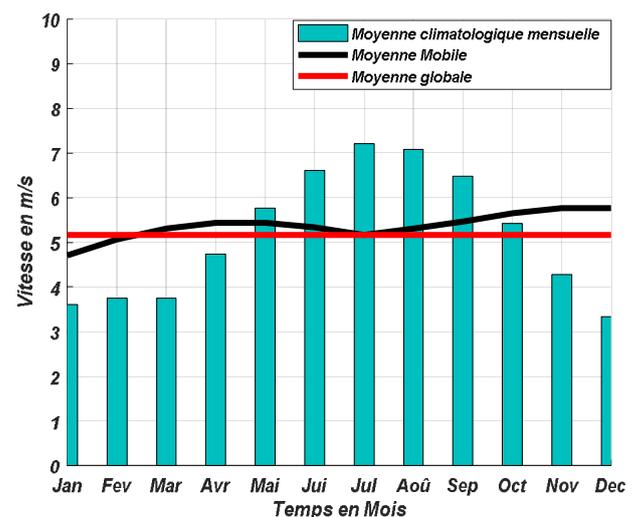


Figure 3: Evolution du vent mensuel

Variabilité interannuelle du vent

Selon la figure 4, la vitesse du vent varie peu au niveau de la pression 950hPa durant la période d'étude. La valeur la plus faible est observée en 1981 à 4,60 m/s. tandis que la plus élevée est enregistrée en 1992 avec une vitesse annuelle de 5,70 m/s. La moyenne globale annuelle (la ligne rouge) est estimée à 5,17 m/s. Cette figure montre encore que la moyenne globale annuelle de la vitesse du vent ne présente pas une tendance à la hausse ou à la baisse.

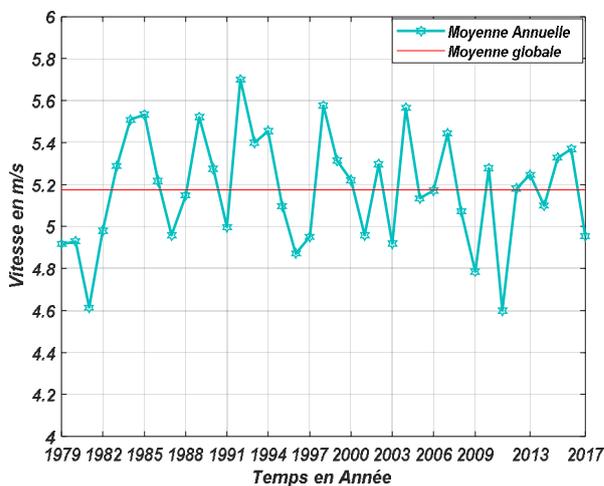


Figure 4: Evolution interannuelle du vent

Résultats de l'A.C.P

Pour cette étude, prenons comme variables les 12 mois de l'année et comme individus chaque point décalé de 0,5°x0,5° éparpillés dans le Nord de Madagascar de coordonnées compris entre les longitudes 47° E et 51° E et latitudes 12° S et 15° S (Figure 5). L'analyse en composantes principales nous permet de comparer les vitesses mensuelles du vent des différents points de notre site d'étude.

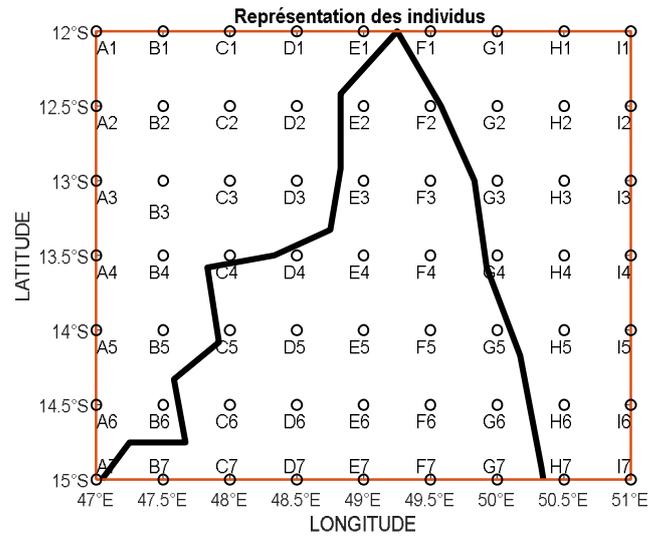


Figure 5: Représentation des individus dans la zone d'étude

Valeurs propres

D'après le critère de coude, il y a un décrochement au troisième axe, puis décroissance régulière à partir du troisième axe : seuls les deux premiers axes présentent un éventuel intérêt (figure 6). On sélectionne les axes factoriels F1 et F2 ce qui représente 98.77% (tableau 1).

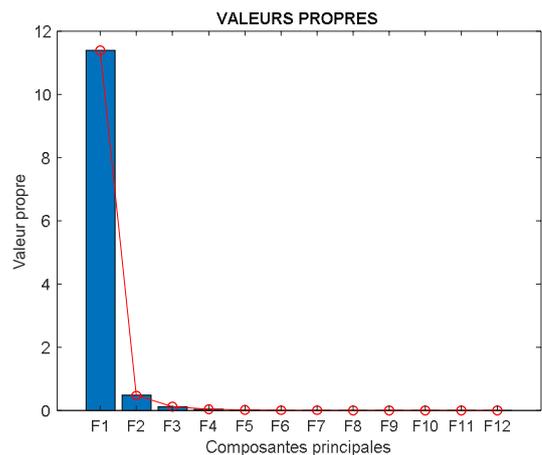


Figure 6 : Eboulis des valeurs propres

Tableau 1: Valeurs propres

Composante	F1	F2	F3
Valeur propre	11,385	0,468	0,113
Variabilité (%)	94,879	3,897	0,945
% cumulé	94,879	98,77	99,72

Résultats sur les variables

La figure 7 nous montre les projections des variables dans le plan factoriel F1-F2. Les vitesses de tous les mois sont positivement et moyennement corrélées avec l'axe F1. Alors on observe un effet de taille sur le premier facteur qui représente les mois de Mars à Décembre en particulier les mois de Mai à Octobre qui est à priori la saison du vent. L'axe F2 peut représenter les mois de Janvier et Février. Il classe les individus suivant leur taille puisqu'il va ordonner les lieux (individus) selon la vitesse du vent.

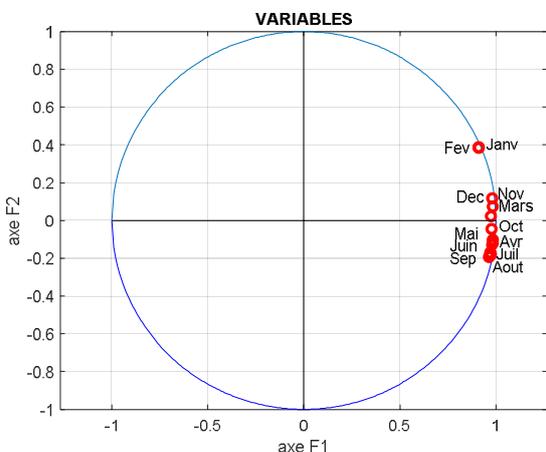


Figure 7: Représentation des variables dans le plan factoriel F1-F2

Résultats sur les individus

A partir de la figure 8 ci-dessous, on peut voir qu'il y a des individus (lieux) qui ont à peu près les mêmes coordonnées (en valeur

absolue suivant l'axe F1), donc on peut les regrouper et nous avons obtenu trois zones.

Groupe I: C1, D1, D2, E1, E2, E3, F1, F2, F3, G1, G2, G3, G4, H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7.

- Ce sont les lieux où le vent est fort de Mars à Novembre.

Groupe II: A6, A7, B6, B7, C4, C5, C6, C7, D4, D5, D6, D7, E4, E5, E6, E7, F4, F5, F6, F7, G5, G6, G7.

- Les lieux de vent moyen de Mars à Novembre.

Groupe III: A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, C1, C2, C3, D3.

- Les lieux qui ont de vent moyen de Janvier à Février et de Mars à Novembre.

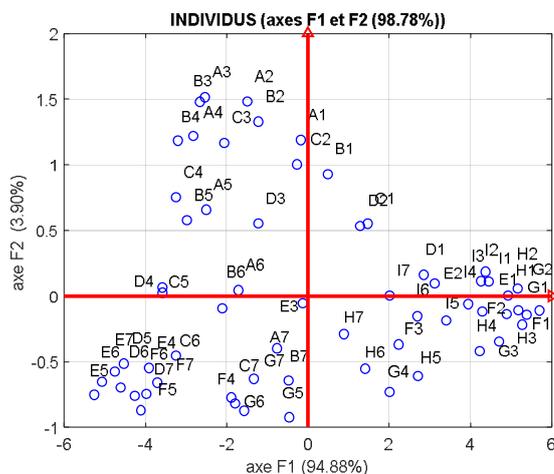


Figure 8: Représentation des individus dans le plan factoriel F1-F2

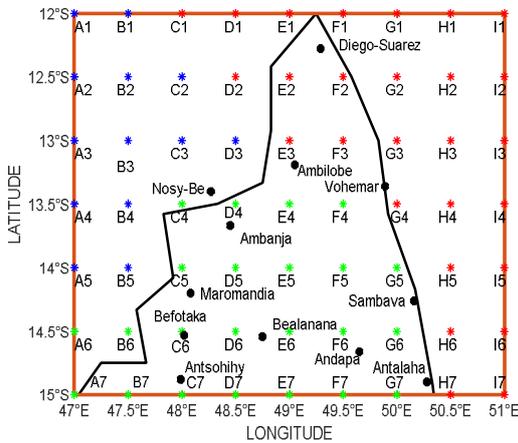


Figure 9: Répartition des individus et villes suivant l'ACP

Tableau 2 : Répartition des individus par zone

Zones	Points	Villes incluses
Zone I	C1, D1, D2, E1, E2, E3, F1, F2, F3, G1, G2, G3, G4, H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7.	Diego-Suarez, Ambilobe, Vohémar.
Zone II	A6, A7, B6, B7, C4, C5, C6, C7, D4, D5, D6, D7, E4, E5, E6, E7, F4, F5, F6, F7, G5, G6, G7.	Ambanja, Antalaha, Andapa, Antsohihy, Bealanana, Befotaka, Nosy-Be, Sambava, Maromandia.
Zone III	A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, C1, C2, C3, D3.	En mer

Caractéristiques du vent de chaque zone

Vent journalier

En comparant l'intensité journalière de la force du vent nous constatons que les zones I et II se rapprochent d'après la figure 10 et le tableau 3. La partie extrême Nord de Madagascar est très venteuse avec un maximum de 25,11 m/s et une moyenne de 9 m/s. Cette zone englobe les régions de Diego-Suarez, Ambilobe et Vohémar. Tandis que la zone II a de faible vent par rapport aux deux

autres.

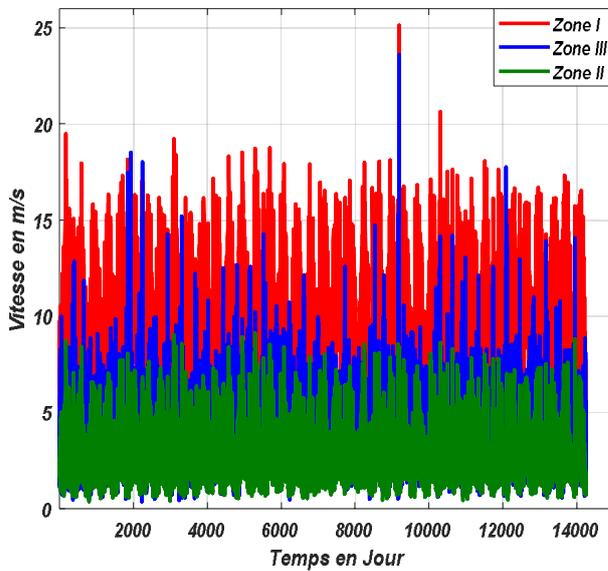


Figure 10 : Représentation du vent journalier de chaque zone

Tableau 3 : Comparaison du vent journalier sur les trois zones.

	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Moyenne (m/s)
Zone I	0,67	25,11	9
Zone II	0,38	9,13	2,93
Zone III	0,38	23,60	3,99

Vent mensuel

Par comparaison, nous constatons d'après la figure 11 et le tableau 4 que les zones I et II ont la même allure mais d'intensité différente. La zone I reste la plus venteuse (12,16 m/s). Par contre la zone III possède un régime de vent avec une succession de phase.

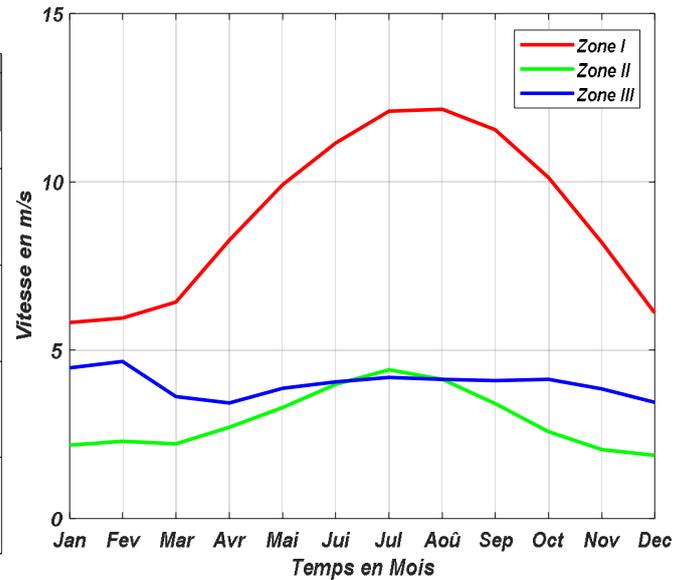


Figure 11: Représentation du vent mensuel de chaque zone

Tableau 4 : Comparaison du vent moyen mensuel.

	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Moyenne (m/s)
Zone I	5,82	12,16	8,98
Zone II	1,86	4,40	2,92
Zone III	3,42	4,66	3,99

FFT du vent par zone

FFT du vent de la zone I

Les transformées de Fourier rapides des données journalières et mensuelles du vent de la zone I sont représentées sur la figure 12. Le pic important au 365,23 jours ou 11,97 mois signifie qu'il y a un pseudo-période d'environ 1 an dans la zone I.

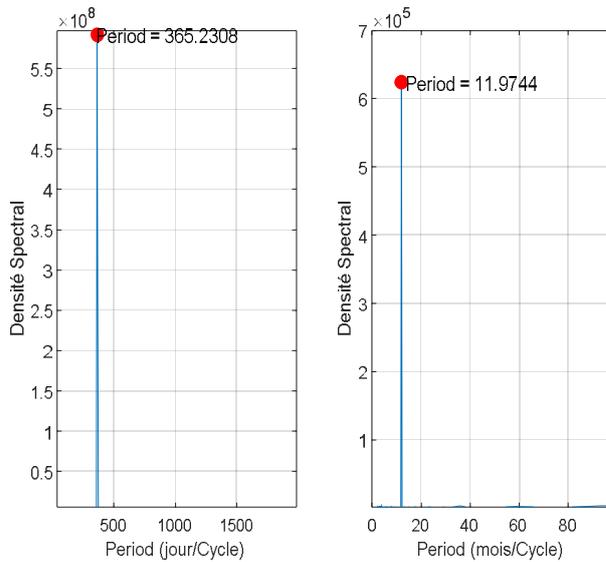


Figure 12 : FFT zone I

FFT du vent de la zone II

D'après la figure 13, le vent dans la zone II a un pseudo-période 365,23 jours ou 11,97 mois. Ces valeurs indiquent qu'il y a une répétition chaque année du vent dans cette zone. Nous remarquons également un pic de faible intensité qui correspond à une période de 182 jours soit 6 mois.

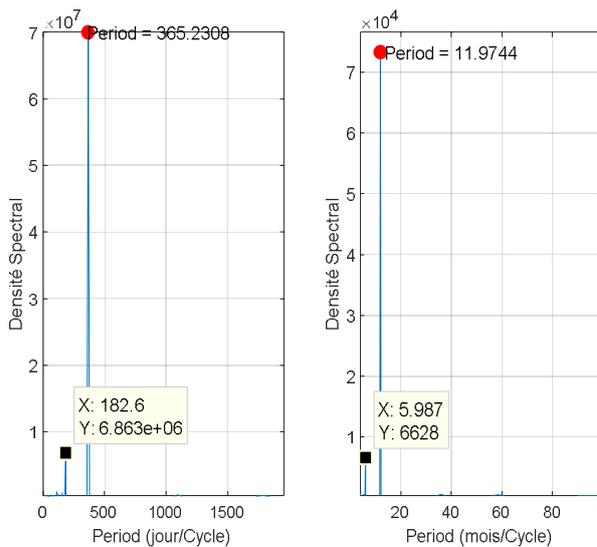


Figure 13 : FFT zone II

FFT du vent de la zone III

Sur cette figure 14, nous avons la transformée de Fourier du vent de la zone III. Le résultat affiche un pic important de pseudo-période de 121,74 jours, soit 3,99 mois et d'autres pics moins importants de pseudo-périodes de 91,31 jours et 182,6 jours soient respectivement 2,99 mois et 5,98 mois. Ces pics de période appartiennent manifestement au même phénomène, mais leurs fréquences sont différentes.

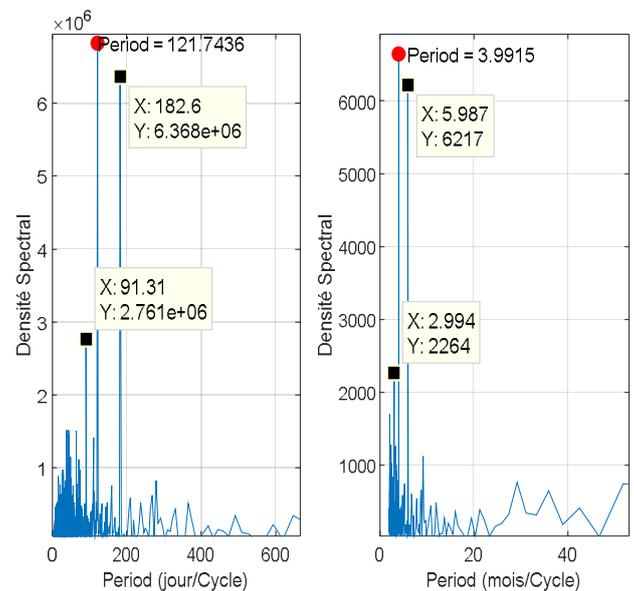


Figure 14 : FFT zone III

Discussion

A partir des résultats obtenus sur l'étude de la zone globale, nous arrivons à dire que cette partie de Madagascar a un potentiel de vent assez élevé avec une moyenne journalière de vitesse supérieure à 5 m/s. Cette étude globale ne permet pas de bien voir cette potentialité du fait de la grandeur de la région d'étude. Après la régionalisation, les trois zones

de fines échelle par rapport à la zone globale nous montrent qu'il existe des lieux de différentes caractéristiques dans cette partie de la grande île.

La zone I avec une moyenne journalière de 9 m/s est soumise à de vent fort. La périodicité de ce vent est de 365 jours. Ce qui signifie qu'il y a un pseudo-période du vent d'environ 1 an dans la zone I. Ce qui nous informe que dans cette zone I, le vent est assez fort presque toute l'année. Cette zone, qui englobe les régions de Diego Suarez, Ambilobe et Vohémar, est très favorable à une exploitation du vent.

Le vent dans la zone II a une période 365,23 jours également mais d'intensité moyenne journalière de 2,93 m/s. Ces valeurs indiquent qu'il y a un phénomène du vent presque toute l'année dans cette zone mais de faible intensité. Nous remarquons également un pic de faible intensité qui correspond à une période de 182 jours soit 6 mois. Il indique la répétition d'un phénomène environ tous les 6 mois. Cela suggère la présence de deux unités de taille 6 mois chacune et ayant des caractéristiques différentes. Il s'agit des saisons climatiques intra-annuelles (pluvieuse et sèche) dans leur ensemble. Cette zone se situe dans la région SOFIA.

Enfin, la zone III possède de période de 121,74 jours, 91,31 jours et 182,6 jours avec une moyenne journalière de vitesse de 3,99 m/s. Cela montre que la moyenne tous les 4 mois des intensités de ces vents est plus régulière que pour 3 mois et 1,5 mois. Ces pics de période appartiennent manifestement au même phénomène, mais leurs fréquences sont

différentes et sont caractéristiques des paramètres climatiques dans cette région. Cette zone se situe majoritairement en mer soit au Nord-Ouest de Madagascar bordée par le canal de Mozambique.

Conclusion

L'Analyse en Composante Principale (A.C.P) nous indique qu'on peut subdiviser notre zone d'étude en trois dont la zone I (Diego-Suarez, Ambilobe, Vohémar), zone II (Ambanja, Antalaha, Andapa, Antsohihy, Bealanana, Befotaka, Nosy-Be, Sambava, Maromandia) et la zone III (La majeure partie en mer).

L'analyse par zone nous a permis de savoir que la zone I a une vitesse moyenne de 9 m/s qui est largement supérieure à celle de la zone II qui est de 2,93 m/s. Par contre pour la zone III, la vitesse moyenne est de 3,99 m/s.

L'application de la transformée de Fourier rapide, nous a révélé que la fréquence du vent dans les zones I et II est de 365 jours, c'est-à-dire qu'il y a une saison de vent chaque année. Tandis que pour la zone III, la saison de vent se répète tous les 3 mois, 4 mois et 6 mois.

Références bibliographiques

- Advancing global NWP through international collaboration. www.ecmwf.int (consulté le 20 Juillet 2018).
- Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts, Situation géographique, (2017). « Communication nationale initiale de Madagascar », pp 20 – 21.
- Sapota, G. (2006). Probabilités, analyse des données et statistique, Technip, pp 31-32
- Randrianantenaina J. E. (2011). La pluviométrie et la circulation du vent zonal dans la région de l'extrême sud-est de Madagascar. Mémoire de DEA, Université de Toliara, pp 58-60.