

Analyse de la pluviométrie et de la température dans la région Boeny à Madagascar

**R. RANDRIANANTENAINA^{1*}, D. MAXWELL¹, R. MANASINA¹, G. RAKOTOVELO²,
J. VELO¹ et A. RATIARISON¹**

¹ *Laboratoire de la Dynamique de l'Atmosphère, du Climat et des Océans (DyACO), Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar*

² *Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Mahajanga, Université de Mahajanga, Bâtiment Ex-LOLO Mahajanga-be, Madagascar*

* Correspondance, courriel : todyroselin@yahoo.fr

Résumé

La zone d'étude est la région Boeny, délimitée en latitude entre -15° et -18° et en longitude entre 44° E et 48° E. On a analysé la quantité de pluie de l'année 1979 à 2015 par l'analyse en composante principale (ACP) et l'indice standardisé de précipitation (ISP). L'analyse en composantes principales nous indique qu'il y a neuf zones pluviométriques distinctes. A partir de l'indice standardisé de pluie, on a trouvé 51,35 % d'années sèches et 45,95 % d'années humides et 2,70 % d'années normales. Avec les températures, nous allons analyser l'évolution de la variation des températures maximales durant ces 37 années. Dans notre zone d'étude, les valeurs de températures maximales varient de $25,5^{\circ}$ C à 31° C.

Mots-clés : *pluie, température, indice standardisé de précipitation (ISP), analyse en composante principale (ACP).*

Abstract

Analysis of rainfall and temperature in the region Boeny

The study area is the Boeny region bounded by latitude -15° and -18° in longitude and between 44° E and 48° E. We analyzed the amount of rain for the year 1979 - 2015 by principal component analysis (PCA) and the standardized precipitation index (SPI). The principal component analysis indicates that there are nine distinct areas of rainfall in this area. From the standardized Precipitation Index, we found 51,35 % of dry years and wet years to 45,95 % and 2,70 % of normal years. With the temperatures we will analyze the evolution of the change in maximum temperatures during those 37 years. In our study area, the maximum temperature values range from $25,5^{\circ}$ C to 31° C.

Keywords : *rain, temperature, standardized precipitation index (SPI), principal component analysis (PCA).*

1. Introduction

Au niveau mondial, la grande menace qui pèse sur les scientifiques est actuellement le réchauffement de la planète et la sécheresse. Cela est dû :

- Aux phénomènes naturels : actuellement l'angle d'inclinaison du globe terrestre est de $23^{\circ} 30$ min et cet angle varie de $22^{\circ} 50$ min à $24^{\circ} 50$ min sur une période 46000 années ;
- Aux interventions humaines au niveau de différents écosystèmes (mers, océans, forêts, massifs montagneux, etc.).

L'impact du changement climatique à Madagascar reste une préoccupation majeure pour la Grande Ile. Il risque de frapper fort le pays entier durant les prochaines années. En parlant de la climatologie, la sécheresse constitue sans aucun doute le facteur climatique déterminant dans la caractérisation climatique des différentes régions de Madagascar. La région Boeny est parmi les régions frappées par la sécheresse durant ces 37 ans. L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution de la sécheresse et celle de la température dans cette région.

2. Méthodologie

2-1. Zone d'étude

Notre zone d'étude (**Figure 1**) est une zone dans la latitude comprise entre -18° et -15° et la longitude comprise entre 44° Est et 48° Est. Les données météorologiques que nous avons utilisées sont des réanalyses journalières de l'expérience ERA-Interim de l'ECMWF (European Centre for Medium range Weather Forecasts) à l'échelle synoptique avec une grille de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ pour la pluie et celle de la température sur une profondeur temporelle couvrant la période 1979 - 2015.

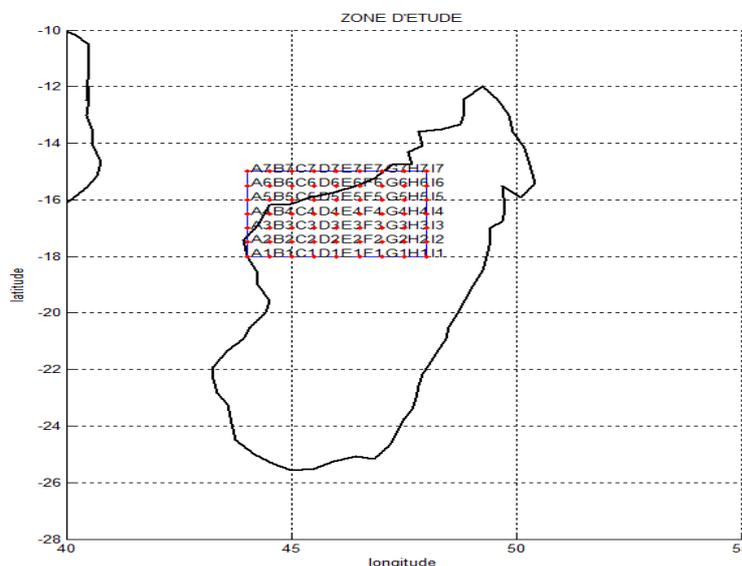


Figure 1 : Zone d'étude, $44^{\circ} \leq \text{longitude} \leq 48^{\circ}$ et $-18^{\circ} \leq \text{latitude} \leq -15^{\circ}$

2-2. Analyse en composante principale (ACP) [1 - 5]

2-2-1. Généralités sur l'ACP

La méthode d'Analyse en Composantes Principales (méthodes factorielles) fait une analyse sur un **Tableau** rectangulaire de données comportant des valeurs de p variables quantitatives pour n unités (ou individu). Elle propose des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Cette méthode nous permet de

mieux connaître et d'interpréter les données que nous voulons étudier à l'aide de ses bonnes représentations telles que :

- Les représentations des unités permettent de voir s'il existe une structure non connue à priori sur cet ensemble d'unité ;
- Les représentations des variables permettent d'étudier les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables des unités.

L'ACP permet aussi de : Distinguer des groupes dans l'ensemble des unités ; Définir la corrélation entre deux variables. Autrement dit, elle permet de distinguer des groupes dans l'ensemble des unités en regardant quelles sont les unités qui se ressemblent et celles qui se distinguent des autres. Pour les variables, on cherchera celles qui sont très corrélées entre elles ou les unités qui au contraire ne sont pas corrélées aux autres variables.

2-2-2. Présentation du tableau des données

Les données $X (n,p)$ sont des résultats de mesures effectuées sur p variables $\{v_1, v_2, \dots, v_p\}$ de n unités $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$

$$x = \begin{matrix} & V_1 & V_2 & \dots & V_i & \dots & V_p \\ \begin{matrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_i \\ U_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{ip} \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

avec : X représente le tableau de valeurs ; x_{ij} : les valeurs de la $i^{\text{ème}}$ observations pour la $j^{\text{ème}}$ variable du tableau ; x_i : $i^{\text{ème}}$ observation du tableau ; x_j : $j^{\text{ème}}$ variable du tableau ; n : effectifs des individus ; p : nombres des variables.

Chaque unité peut être représentée par le vecteur de ses mesures sur les p variables :

$$u_i = \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \vdots \\ x_{ij} \\ \vdots \\ x_{ip} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad {}^t u_i = [x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{ij} \ \dots \ x_{ip}]$$

Chaque variable peut être représentée par un vecteur dont les composantes sont des valeurs de la variable pour les n unités

$$v_j = \begin{bmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ \vdots \\ x_{ij} \\ \vdots \\ x_{nj} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad {}^t v_j = [x_{1j} \ x_{2j} \ \dots \ x_{ij} \ \dots \ x_{nj}]$$

2-2-3. Les calculs

Lors de l'Analyse en Composant Principales, des calculs sont à faire afin d'avoir des variables centrées réduites. C'est-à-dire, en faisant une transformation linéaire pour ramener sa moyenne à zéro (0) et sa variance en unité (1).

- La moyenne de la variable x_j notée \bar{x}_j

$$\bar{x}_j = \sum \left\{ \frac{m_i}{M} x_{ij} \mid i \in I \right\} \text{ avec } M = \sum \{m_i \mid i \in I\} \quad (1)$$

où, I : est l'ensemble de nombres de lignes de la matrice X ; m_i : le poids affecté à l'individu i .

$$m_i = \frac{1}{\text{card}I} \text{ et } \sum \{m_i \mid i \in I\} = M = 1 \quad (2)$$

- Variance de la variable x_j notée σ_j^2

$$\sigma_j^2 = \text{var}(x_j) = \sum \left\{ \frac{m_i}{M} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \mid i \in I \right\} \quad (3)$$

- La variable centrée et réduite qui a pour composantes sur l'ensemble I :

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad (4)$$

où, σ_j est l'écart type de x_j .

$$\Rightarrow \text{moy}(X_j) = \sum \{X_{ij} \mid i \in I\} = 0 \text{ et } \text{var}(X_j) = \sum \{[X_{ij} - \text{moy}(X_j)]^2 \mid i \in I\} = 1 \quad (5)$$

- Le coefficient de corrélation linéaire entre deux variables x_j et $x_{j'}$:

$$r_{jj'} = \sum \left\{ \frac{m_i}{M} X_{ij} X_{ij'} \mid i \in I \right\} \quad (6)$$

Qui prend les valeurs entre -1 et +1 comme nous avons vu dans la théorie de corrélation.

2-2-4. Matrice de corrélation

Le choix du type de la matrice est un paramètre de l'ACP. On part d'une matrice carrée des variables pour déterminer les composants principaux. L'Analyse en Composant principal normé est caractérisée par une matrice de corrélation de diagonales principales toutes unités.

$$\begin{pmatrix} 1 & \cdots & r_{p-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p-1} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

2-2-4-1. Choix de la matrice de corrélation

Si on a des données hétérogènes avec des ordres de grandeurs différentes, alors on a une métrique « inverse des variances » et on travaille avec une matrice de corrélation.

2-2-4-2. Valeurs propre des composantes principales

La valeur propre d'une composante principale est égale à la somme des coefficients de corrélation au carré de chaque variable d'entrée avec la composante. Les composantes principales sont classées par valeur propre décroissante. L'inertie expliquée par la $i^{ième}$ composante principale, qui est associé à la $i^{ième}$ plus grande valeur propre.

2-2-4-3. Les points individus i de $N_j(I)$ dans R_p

On se placera au centre de gravité du nuage des points de base (normalisation centrée-réduite). L' $i^{ième}$ individu sera représenté dans l'espace des variables normées X_j par un point ayant pour coordonnée la valeur X_{ij} et affectée de masse (poids) m_i . Si l'on note par $N_j(I)$, il est donné par :

$$N_j(I) = \left\{ \left(X_{ij}; \frac{m_i}{M} \right) \mid i \in I \right\} \text{ le nuage des points } i \in I \tag{7}$$

2-2-4-4. Le centre de gravité G du nuage de point

Le centre de gravité G de ce nuage de points a pour $j^{ième}$ coordonnée que l'on note par X_{Gj} et donnée par :

$$\begin{aligned} X_{Gj} &= \sum \left\{ \frac{m_i}{M} X_{ij} \mid i \in I \right\} \\ X_{Gj} &= \frac{1}{\sigma_j} \left[\sum \left\{ \frac{m_i}{M} X_{ij} \mid i \in I \right\} - \bar{x}_j \sum \left\{ \frac{m_i}{M} \mid i \in I \right\} \right] = 0 \end{aligned} \tag{8}$$

C'est donc l'origine du système d'axes dans lequel est placé le nuage des individus.

2-2-4-5. La distance entre deux points $N_j(I)$ d'écrit dans R_p

C'est la distance euclidienne « usuelle ». Ainsi chaque variable aura une contribution égale à la dispersion totale du nuage $N_j(I)$

$$\begin{aligned} d^2(i, i') &= \sum \left\{ (X_{ij} - X_{i'j})^2 \mid j \in J \right\} \\ d^2(i, i') &= \sum \left\{ \left(\frac{X_{ij} - X_{i'j}}{\sigma_j} \right)^2 \mid j \in J \right\} \end{aligned} \tag{9}$$

2-2-4-6. Distance d'un point de i au centre de gravité G du nuage $N_j(I)$

La distance (d) d'un point de i au centre de gravité G du nuage $N_j(I)$ vaut

$$d^2(i, G) = \rho^2(i) = \sum \left\{ X_{ij}^2 \mid j \in J \right\} \tag{10}$$

2-2-4-7. Inertie d'un point i par rapport au centre de gravité G

L'inertie $I_n(I)$ d'un point i par rapport au centre de gravité G est donnée par:

$$I_n(I) = \frac{m_i}{M} \rho^2(i) \tag{11}$$

Et l'inertie du nuage $N_j(I)$ sera égal à :

$$\begin{aligned} I_n(N_j(I)) &= \sum \left\{ \frac{m_i}{M} \rho^2(i) \mid i \in I \right\} \\ &= \sum \left\{ \frac{m_i}{M} (\sum X_{ij}^2) \mid i \in I, j \in J \right\} \\ &= \sum \sum \left\{ \frac{m_i}{M} X_{ij}^2 \mid i \in I, j \in J \right\} \\ &= \sum \{ \text{Var}(X_j) \mid j \in J \} \end{aligned}$$

$$\text{or } \text{Var}(X_j) = 1$$

$$\Rightarrow I_n = (N_j(I)) = \text{Card}J \quad (12)$$

L'inertie du nuage des points i est donc égale au nombre de variables ; cette inertie est aussi égale à la trace de la matrice de corrélation entre les variables dont le terme général est r_{ij} . C'est donc cette matrice qu'il faudra diagonaliser pour rechercher des vecteurs et valeurs propres.

2-2-4-8. Les facteurs et axes factoriels-Coordonnées des observations dans l'espace factoriel.

Soient $\{F_\alpha(i) \mid i \in I\}$ les facteurs associés à l'analyse en composantes principales normées. Les facteurs sont de moyenne nulle, de variance égale à λ_α , et sont deux orthogonaux. En effet :

$$\begin{aligned} \sum \left\{ \frac{m_i}{M} F_\alpha(i) \mid i \in I \right\} &= 0 \\ \lambda_\alpha &= \sum \left\{ \frac{m_i}{M} F_\alpha^2(i) \mid i \in I \right\} \\ \text{Et } \sum \left\{ \frac{m_i}{M} F_\alpha(i) F_\beta(i) \mid i \in I \right\} &= 0 \text{ si } \alpha \neq \beta \end{aligned} \quad (13)$$

On sait déjà que la somme de toutes les valeurs propres est égale au nombre $\text{Card} J$ de variables. Et donc :

$$I_n(N_j(I)) = \sum \lambda_\alpha = \text{Card}J \quad (14)$$

2-2-4-9. Choix du nombre d'axes

Il existe quatre procédures à suivre pour le choix de nombres d'axes :

- Des règles empiriques ;
- Des procédures externes ;
- Des critères fondés sur des propriétés des valeurs propres ;
- Des méthodes de calcul de stabilité ou de simulation.

2-2-4-10. Critère de Kaiser

Concernant le critère de Kaiser, on ne retient que les axes dont l'inertie est supérieure à l'inertie moyenne (un peu étroite). Par contre, le critère de Kaiser en ACP normé (utilisant de données réduites), on ne retiendra que les axes associés à des valeurs propres supérieurs à un. En pratique, on retient les axes que l'on sait interpréter.

2-3. Détermination des années sèches et humides [6 - 10]

La variabilité interannuelle du régime pluviométrique peut être analysée à partir de la distribution des années sèches et des années humides. Mais les définitions d'une année sèche (ou déficitaire) et d'une année humide (ou excédentaire) sont très diverses. En effet, on peut définir une année sèche ou humide, soit par rapport aux quantiles, soit par rapport aux écarts types ou, en pourcentage, par rapport à la médiane ou encore à la moyenne. Dans la présente étude, une année sèche ou une année humide est définie par rapport à l'indice de Lamb (l'écart à la moyenne normalisé par l'écart type) qui s'exprime par :

$$ISP(i) = \frac{[H(i)-m]}{\sigma} \tag{15}$$

avec, H (i) : cumul moyen annuel pour l'année i ; m : la moyenne de la série ; σ : l'écart type de la série ; ISP : Indice Standardisé des Précipitations.

Le calcul de cet indice permet de déterminer la sévérité de la sécheresse selon différentes classes.

- ISP > 2 Humidité extrême
 - 1 < ISP < 2 Humidité forte
 - 0 < ISP < 1 Humidité modérée
 - 1 < ISP < 0 Sécheresse modérée
 - 2 < ISP < -1 Sécheresse forte
 - ISP < -2 Sécheresse extrême
- (16)

Ainsi, une année sera considérée comme normale (ou modérée) si son indice ISP(i) est compris entre -1 et +1. Elle sera dite humide si son indice est supérieur à +1 et sèche en deçà de -1. Cet intervalle reste critiquable puisqu'il est relativement faible de sorte que les années normales sont très peu nombreuses. Mais il permet de bien distinguer les années sèches et les années humides.

2-4. Moyenne arithmétique [11, 12]

D'après langage courant la moyenne réfère en générale à la moyenne arithmétique. Elle est exprimée par la **Formule** :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \tag{17}$$

avec, n est le nombre total d'observations de l'échantillon à étudier.

Son écart-types empirique est de :

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \tag{18}$$

2-5. Moyenne glissante ou moyenne mobile [13, 14]

La moyenne glissant est un type de moyenne statistique utilisé pour analyser des séries ordonnées de données. Elle supprime les fluctuations transitoires de façon à souligner les tendances le plus long terme. Cette moyenne est dit mobile car elle est recalculée de la façon continue, en utilisant à chaque calcul un sous ensemble. La moyenne mobile simple est calculée par la **Formule** :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{n-k} \text{ ou } \bar{x}_n = \bar{x}_{n-1} + \frac{\bar{x}_n - \bar{x}_{n-N}}{N} \tag{19}$$

où, $N \leq n$ et N est le nombre de valeur dans le sous groupe consécutif. L'avantage d'une moyenne mobile est de lisser les éventuels écarts accidentels.

2-6. Analyse de la variation de la température

Dans cette partie, nous allons étudier la variation des données de la température maximale durant 37 ans dans la région Boeny.

3. Résultats et discussion

Avec l'ACP, on peut diviser notre zone d'étude en neuf, comme indiquée ci-dessous :

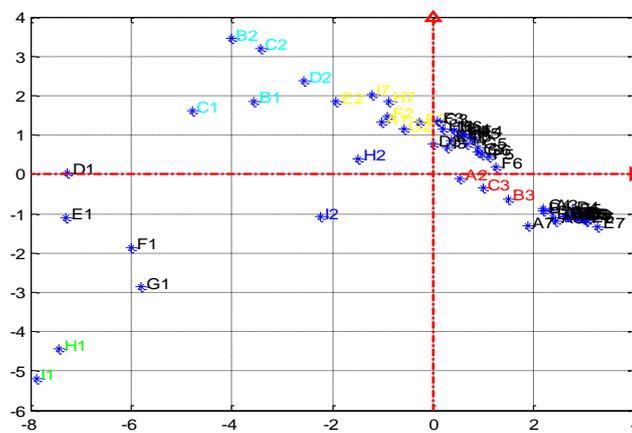


Figure 2 : Représentation des individus dans le plan factoriel F1 et F2

Zone 1 : H1 et I1 ; Zone 2 : F1 et G1 ; Zone 3 : D1 et E1 ; Zone 4 : H2 et I2 ; Zone 5 : A1, E2, E3, F2, G2, H7 et I7 ; Zone 6 : B1, B2, C1, C2 et D2 ; Zone 7 : A2, B3 et C3 ; Zone 8 : D3, E4, E5, F3, F4, F5, F6, F7, G3, G4, G5, G6, G7, H3, H4, H5, H6, I3, I4, I5 et I6 ; Zone 9 : A3, A4, A5, A6, A7, B4, B5, B6, B7, C4, C5, C6, C7, D4, D5, D6, D7, E6 et E7

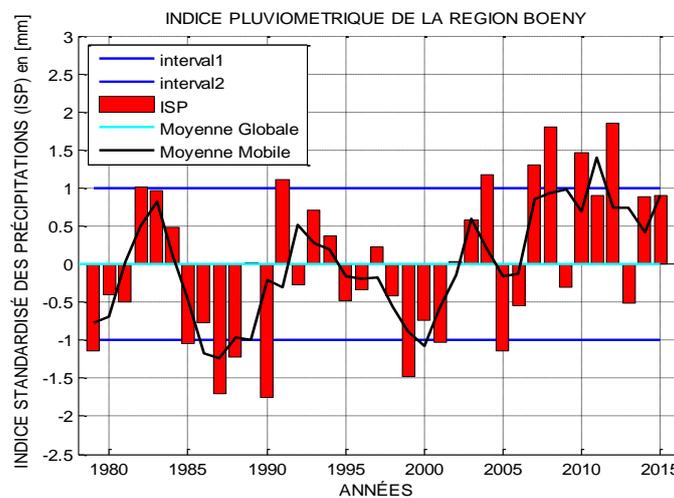


Figure 3 : Représentation graphique des ISP

A partir de l'indice standardisé de pluie, on a trouvé des situations modérées qui représentent le 56,76 % des cas, dont : 27,03 % pour l'humidité modérée et 29,73 % pour la sécheresse modérée. L'humidité forte représente le 18,92 % des cas, tandis que la sécheresse forte marque le 21,62 %. Le cas de l'année normale représente 2,70 %. Les années 1979, 1980, 1981, 1985, 1986, 1987, 1988, 1998, 1999, 2000 et 2001 sont particulièrement concernées par le déficit pluviométrique annuel. Cette persistance de la sécheresse, sur plusieurs années, a provoqué de grands déséquilibres au niveau de la pluviométrie du Boeny. Une suite successive de deux ou plusieurs années de sécheresse modérée est plus dramatique et catastrophiquement sévère pour le réchauffement global et même pour l'agriculture. Parmi d'autres années, les années 2008, 2010 et 2012 sont très marquées par sa supériorité en abondance pluviométrique, ces années représentent une humidité forte. Tandis que les années 1987, 1990 et 1999 sont très particulières à cause des déficits pluviométriques (sécheresse forte), ce sont les années les plus sèches depuis 1979 jusqu'à 2015 dans notre zone d'étude. Et l'année 1989 représente l'année normale durant ces 37 ans.

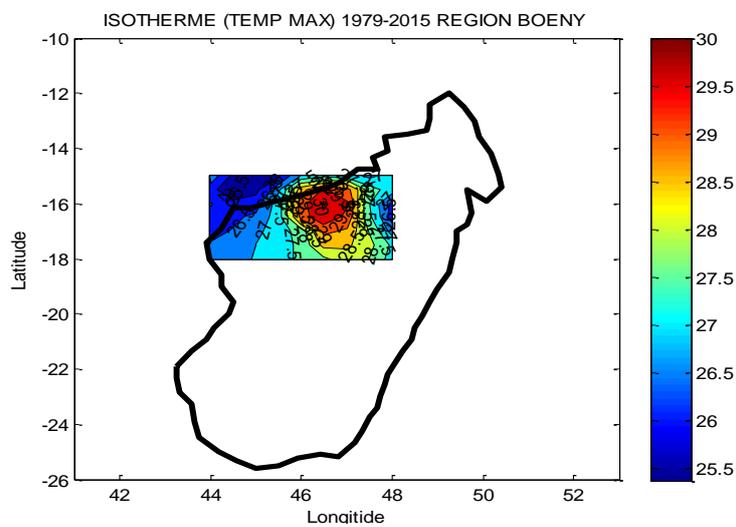


Figure 4 : *Courbe de la température maximale de la région Boeny*

Dans la région Boeny, en analysant l'évolution de la variation des températures journalières maximales durant ces 37 années. Les valeurs de températures maximales varient de 25,5°C à 30°C.

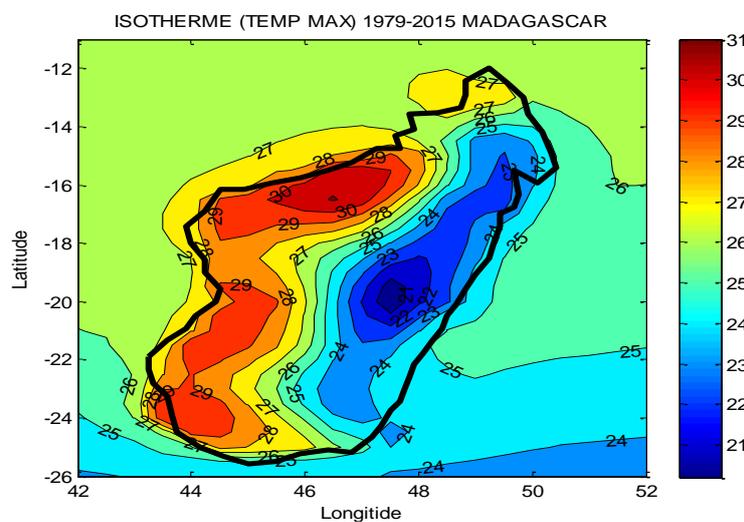


Figure 5 : *Courbe de la température maximale*

Si on fait la comparaison avec les données des températures entre latitude -11° à -26° et longitude 42° E à 52° E (données dans tout Madagascar), les valeurs de températures maximales varient de 21°C à 31°C . D'après ces deux résultats, on a trouvé des valeurs presque identiques de la température dans la région Boeny.

4. Conclusion

Dans ce domaine d'étude, on s'intéresse à l'analyse quantitative de la pluie journalière et celle de la température maximale journalière de 1979 à 2015 dans la région Boeny de Madagascar. Cette partie se situe entre la longitude 44° Est et 48° Est, la latitude 18° Sud et 15° Sud. Pour étudier la prévisibilité de ces paramètres, il est nécessaire de faire une étude quantitative de quelques paramètres climatologiques. Dans notre cas nous avons procédé à l'utilisation de quelques méthodes statistiques : L'ACP nous a permis de délimiter la zone d'étude présentant le même facteur climatique. En faisant un maillage de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ des données pluviométrique, la grande zone délimitée par ces nœuds se divise en neuf sous zones. Par le ISP, les années sèches représentent 51,35 % tandis que les années humides sont 45,95 % et les années normales 2,70 %. En faisant l'analyse de la température maximale, on a trouvé des valeurs comprises entre $25,5^{\circ}\text{C}$ à 31°C .

Références

- [1] - INSTITUT DE STATISTIQUE, "Méthodes de statistiques multifactorielles", Analyse en composantes principales. Consulté le (24 juillet 2003). <http://www.stat.ucl.ac.be/ISpersonel/lecoutre/stats/ACP/index.html>
- [2] - B. ESCOFFIER et J. PAGES, "Analyses factorielles simples et multiples". Dunod, Paris, (1990).
- [3] - B. ESCOFFIER, J. PAGES, "Initiation aux traitements statistiques, méthodes, méthodologies". Dida Stat, PUR, Rennes, (1990).
- [4] - L. LEBART, A. MORINEAU, M. PIRON, "Statistiques exploratoire multidimensionnelle". Dunod, Paris, (1995) 32 p.
- [5] - G. SAPORTA, "Probabilités, analyses des données et statistiques". Dunod, Paris (1990) et "Probabilités, analyse des données et statistique". 2ème édition, Technip, (2006).
- [6] - E. GAUME, N. MOUHOUS and H. ANDRIEU, "Rainfall stochastic disaggregation models", Calibration and validation of a multiplicative cascade model. *Advances in Water Resources*, 30 (5) (2007) 1301 - 1319.
- [7] - S. LOVEJOY and B. MANDELBROT, "Fractal properties of rain and a fractal model. *Tellus*", 37A (1985) 209 - 232.
- [8] - L. TELESKA, V. LAPENNA, E. SCALCIONE, D. SUMMA, "Searching for time-scaling features in rainfall sequences". *Chaos Soliton and Fractal*, 32 (1) (2007) 35 - 41.
- [9] - D. VENEZIANO, A. LANGOUSIS, and P. FURCOLO, "Multifractality and rainfall extremes", A review, *Water resources research*, Volume 42, W06D15, doi : 10.1029 / 2005WR004716, (2006).
- [10] - D. VENEZIANO, P. FURCOLO, and V. IACOBELLIS, "Imperfect scaling of time and space-time rainfall". *Journal of Hydrology*, Volume 322, (2006) 105 - 119 p.
- [11] - RICO-RAKOTOMALALA, "Analyse de corrélation : étude des dépendances variables quantitatives", 4ème Edition, (2015).
- [12] - <http://fr.wikipedia.org/wiki/maintirano>, (01 Février 2016).
- [13] - https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyenne_glissante, (25 Mars 2016).
- [14] - H. LUBES, J. M. MASSON, E. SERVAT, J. E. PATUREL, B. KOUAME, et J. F. BOYER. "Caractérisation de fluctuation dans une série chronologique par application de test statistique". Étude bibliographique. Programme ICCARE. Rapport No. 3, ORSTOM, Montpellier, France, (1994) 3 p.