

Oscillations latitudinales de l'Équateur Météorologique et pluviométrie sur une période quinquennale au Bénin (2014 - 2018)

Pierre Magloire Adéogou SALAKO^{1,2*}, Martin KASSIN³, Ibouaïma YABI^{3,4}
et Tanzidani Komlan Thiou TCHAMIE^{1,2}

¹ *Département de Géographie, Université de Lomé (UL)*

² *Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Études Environnementales (LaRBE),
BP 20634 Lomé, République du Togo*

³ *Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Université d'Abomey-Calavi (UAC)*

⁴ *Laboratoire Climat, Ecosystème, Eau et Développement (LACEEDE)*

* Correspondance, courriel : pierre.salako@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser les incidences de l'oscillation régulière de l'Équateur Météorologique sur la pluviométrie au Bénin de 2014 à 2018. Les données concernent les latitudes oscillatoires de l'Équateur Météorologique obtenues à l'ASECNA, les pluviométries journalières (2014 à 2018) et les directions des vents obtenues à Météo-Bénin. Les statistiques descriptives (coefficient de détermination, pourcentages, moyenne etc.) ont permis le traitement de ces données. En moyenne de janvier à avril, la position latitudinale de l'Équateur Météorologique migre de manière continue et irrégulière des côtes du Bénin vers la partie septentrionale et dès le mois de mai, elle survole la partie septentrionale. Déjà en octobre, elle se repli vers sa position méridionale. Le passage de l'Équateur Météorologique sur Bohicon, Savè, Parakou, Natitingou et Kandi, induit respectivement des précipitations annuelle de l'ordre de 59,32 % ; 72,49 % ; 88,98 % ; 85,73 % et 83,81 % et à Cotonou, il n'engendre que 17,49 % de précipitations. Les vents de directions sud-ouest, affiliés à la mousson n'ont pas aussi de corrélations significatives avec la pluie en année humide ou sèche. Le caractère pluviogénique que révèle l'Équateur Météorologique permet la compréhension spatio-temporelle de la pluviométrie et pourrait être un important outil de prise de décision en agrométéorologie.

Mots-clés : *Équateur Météorologique, mousson, pluviométrie, Bénin.*

Abstract

Latitudinal oscillations of the Meteorological Ecuador and rainfall over a five-year period in Benin (2014 - 2018)

The objective of this study is to analyze the impact of the regular oscillation of the Meteorological Equator on the rainfall in Benin from 2014 to 2018. The data concern the oscillatory latitudes of the Meteorological Equator obtained at ASECNA, the Daily rainfall (2014 to 2018) and wind directions obtained from Météo-Bénin. Descriptive statistics (coefficient of determination, percentages, average, etc.) enabled the processing of these data. On average from January to April, the latitudinal position of the Meteorological Equator migrates continuously and irregularly from the coasts of Benin to the northern part and from May, it flies over the

northern part. Already in October, it is falling back to its southern position. The passage of the Meteorological Equator over Bohicon, Savè, Parakou, Natitingou and Kandi, induces annual precipitation of around 59.32 % respectively; 72.49 %; 88.98 %; 85.73 % and 83.81 % and in Cotonou, it generates only 17.49 % of precipitation. Southwesterly winds, affiliated with the monsoon, also have no significant correlation with rain in wet or dry years. The pluviogenic character revealed by the Meteorological Equator allows the spatio-temporal understanding of pluviometry and could be an important decision-making tool in agrometeorology.

Keywords : *Meteorological Ecuador, monsoon, rainfall, Benin.*

1. Introduction

La discontinuité la plus importante du domaine intertropical et qui sépare la planète en deux hémisphères météorologiques est l'Equateur Météorologique [1]. Servant de limites entre les hémisphères aérologiques boréal et austral, l'Equateur Météorologique reste une discontinuité majeure. L'Equateur Météorologique est le lieu de rencontre des flux issus des deux ceintures de haute pression tropicale (HPT) et s'inscrit dans l'axe des basses pressions intertropicales (BPI) [2]. Sa structure est différente sur les continents et sur les océans. Sa trace au sol encore appelé zone de convergence intertropicale (ZCIT) ou encore front intertropical (FIT), subit un balancement saisonnier qui varie tout comme sa structure à caractère frontal, selon la configuration des espaces continentaux et océaniques aux basses latitudes [3]. En effet, l'Equateur Météorologique constitue le lieu de la rencontre de l'alizé et de la mousson émanant des deux ceintures anticycloniques (l'anticyclone boréal et de l'anticyclone austral). Cette zone de discontinuité constituée par l'alizé et la mousson est le siège d'énormes quantités d'eau [4]. En Afrique de l'Ouest, la mobilité de cette discontinuité véhicule de gigantesques masses de petites gouttelettes d'eau [5]. L'Equateur Météorologique devient alors un vecteur de vapeur d'eau, c'est-à-dire qu'elle transporte un potentiel précipitable plus ou moins important qui sera mis en œuvre par les facteurs locaux ou les perturbations tropicales pour aboutir à des précipitations durant les saisons pluvieuses. Alors, la saisonnalité des pluies en Afrique de l'Ouest dépend du positionnement en latitude de la zone de convergence intertropicale [6].

La mobilité de la ZCIT sur le continent en Afrique de l'Ouest est associée aux pluies de mousson [7]. Ainsi, la mouvance de l'Equateur Météorologique sur le territoire du Bénin, instaure l'inégale répartition spatio-temporelle des précipitations aux différentes latitudes. Les divergences entre les migrations de l'Equateur Météorologique et les précipitations s'intègrent dans l'explication des différentes perturbations pluviométriques en Afrique de l'Ouest [8]. Ce dernier rythme le calendrier agricole de toute l'Afrique de l'Ouest et la saison pluvieuse devient de plus en plus court au fur et à mesure que l'on se déplace vers le Nord, puisque la durée et l'abondance de la mousson diminuent [9]. L'agriculture béninoise est étroitement dépendante des aléas du climat comme la mise en place et le dynamisme du flux de mousson, et la position ZCIT [10]. Le Bénin au même titre que les autres pays de l'Afrique de l'Ouest a son agriculture strictement pluviale [11]. Cette agriculture béninoise subit du coup, les incertitudes liées à la variabilité intra-saisonnière de pluies. Alors que la population pauvre qui vit dans ce pays tire l'essentielle de ses revenus économiques des activités agricoles [12]. L'étude de ces aléas climatiques est importante dans le cadre de l'amélioration de la résistance des cultures et leur adaptation au contexte de variabilité et de baisse pluviométrique. L'objectif de cette étude est d'analyser les migrations de l'Equateur Météorologique au Bénin et leurs impacts sur les précipitations.

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadre d'étude

Le Bénin est situé en Afrique de l'Ouest dans la zone tropicale entre l'équateur et le tropique du Cancer (entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude nord et les méridiens 1° et 3°40' de longitude est). Il est limité au nord par le fleuve Niger qui le sépare de la République du Niger ; au nord-ouest par le Burkina Faso, à l'ouest par le Togo, à l'est par le Nigeria et au sud par l'Océan Atlantique (*Figure 1*). Il couvre une superficie de 114.763 km² environ. Le Bénin par sa situation latitudinale fait partie des climats chauds et humides de la zone intertropicale. Au sud du Bénin, la mousson qui est un vent venant de l'océan souffle durant les mois d'avril à novembre. Au nord, elle souffle de mai à octobre. De novembre à avril au nord et au sud de décembre à mars règne l'alizé en provenance du Sahara. La zone de contact de ces deux vents (mousson et alizé) est appelée Equateur Météorologique [3]. A cause de son allongement en latitude, le Bénin voit s'étendre progressivement la mousson du sud vers le nord ce qui coïncide avec la saison pluvieuse et l'alizé avec la saison sèche, du nord vers le sud. Le Bénin est subdivisé en trois domaines climatiques. Le premier, le domaine climatique subéquatorial ou béninien allant de la côte du Bénin jusqu'à la latitude de Savè est caractérisé par une grande saison pluvieuse d'avril à juillet et une petite saison pluvieuse de mi-septembre à fin octobre. Le deuxième, le domaine climatique soudanien (sud et nord soudanien) s'étend de la latitude de Savè jusqu'au fleuve Niger avec une seule saison pluvieuse de mai à octobre. Et le troisième, le domaine climatique atacorien, est situé au nord-ouest du Bénin où règne une seule saison pluvieuse de mai à novembre. La station synoptique de Cotonou avec l'influence de l'océan atlantique et la station synoptique de Natitingou avec les effets orographiques sont les seules qui enregistrent les plus importantes quantités de pluies avec respectivement des moyennes pluviométriques annuelles (1941 à 2018) de 1312,45 mm et 1262,64 mm.

S'agissant des sols, le Bénin en compte 5 types avec une distribution géographique hétéroclite [13]. Ainsi, sur le cordon sableux du littoral, des sols minéraux bruts et peu évolués sont les sols peu fertiles non propices pour l'agriculture. Dans le bassin sédimentaire sud, des sols rouges ferrallitiques formés sur le Continental Terminal sont utilisés pour diverses cultures agricoles. Dans la dépression de la Lama, les vertisols sont intensément utilisés pour la foresterie et les cultures du maïs, maraichères, le cotonnier et le riz. Dans les vallées alluviales et plaines inondables, les sols alluviaux hydromorphes sont à haut potentiel de fertilité et conviennent à un grand nombre de cultures annuelles, maraichères et agricoles. Les parties centrale et nord du pays sont formées essentiellement des sols ferrugineux tropicaux plus ou moins sableux. Ils conviennent aux cultures du coton, arachide, maïs, sorgho, mil, igname, manioc. Quant aux ressources hydrographiques, elles sont constituées d'un réseau important des cours d'eaux permanents. Ces cours d'eaux sont modestes par leurs débits et leurs longueurs, et ont des régimes irréguliers. Ils sont regroupés en deux bassins hydrographiques. Il s'agit du bassin hydrographique nord qui regroupe les fleuves tributaires du Niger et de la Volta constitué de la Pendjari 380 km, du Mékrou 410 km, de l'Alibori 338 km et de la Sota 250 km, et du bassin hydrographique côtier regroupant l'Ouémé 510 km, l'Okpara 200 km, le Zou 150 km, le Couffo 190 km et le Mono 100 km. Tous ces fleuves ont un régime tropical avec une crue pendant la saison pluvieuse (juillet-octobre) et l'étiage à la fin du mois d'avril [14].

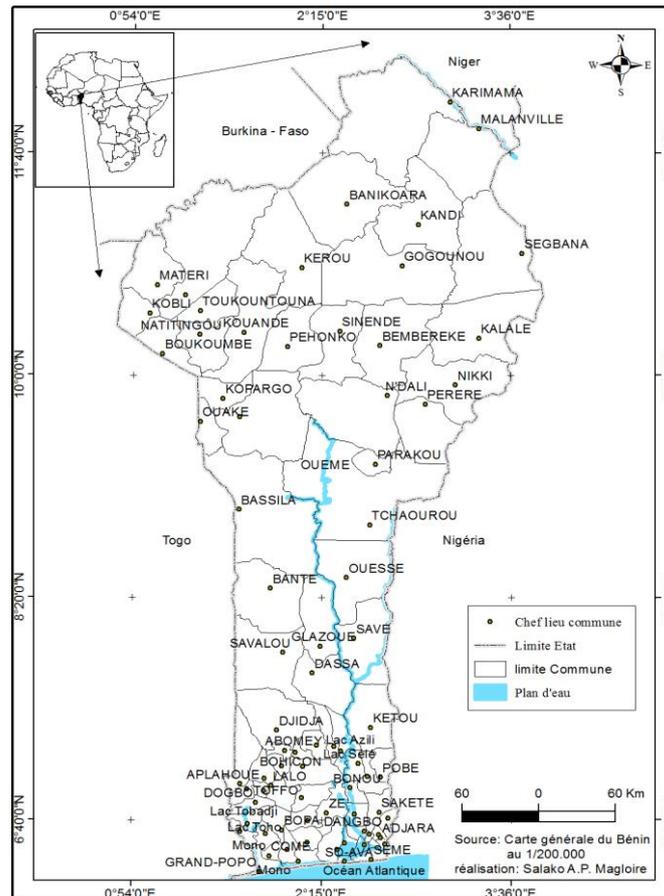


Figure 1 : Situation géographique du Bénin

Ces fleuves subissent les influences des aléas climats. Les cours et plans d'eau du Bénin servent à plusieurs activités comme : la pêche, les déplacements fluviaux, les usages domestiques, le maraîchage. Malgré ce riche réseau hydrographique peu d'utilisations en sont faites pour la pratique de l'irrigation en période de contre saison. Avec une population de 11733059 d'habitants selon les estimations de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) de 2018, prêt de 70 % de cette population est rurale avec une proportion de 45 % qui s'adonne aux activités agricoles pour nourrir la population. L'agriculture est l'activité qui occupe plus de population dans le monde rural compte tenu de la proportion qui la pratique. Le caractère pluvial de l'agriculture et la faible capacité d'adaptation des populations rendent le Bénin très vulnérable face aux effets des aléas climatiques.

2-2. Collecte des données

Les données utilisées sont essentiellement relatives aux latitudes oscillatoires journalières de l'Equateur Météorologique. En effet, 1825 positions latitudinales oscillatoires ($^{\circ}$ N) de l'Equateur Météorologique de 2014 à 2018 ont été récoltées des cahiers synoptiques tenus de manière journalière au service Unité Prévision Protection Météorologique-ASECNA-Bénin. Aussi, les données pluviométriques journalières de 2014 à 2018 des six stations synoptiques de références du Bénin (Cotonou, Bohicon, Savè, Parakou, Natitingou et Kandi) et les directions des vents de Cotonou de 2014 année humide et de 2015 année sèche ont été utilisées. Elles ont été recueillies auprès de Météo-Bénin (Agence National de la Météorologie) à partir des Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM).

2-3. Traitement des données

Le traitement des données repose sur l'usage des statistiques descriptives notamment les fréquences, la moyenne arithmétique, les pourcentages et surtout des illustrations graphiques. La détermination des directions dominantes du vent, celles qui ont la plus grande probabilité d'apparition sur toute la période d'observation considérée s'est faite grâce au calcul des pourcentages d'observation [15]. Dans cette étude, il est question des années humide de 2014 et sèche de 2015 à la station synoptique de Cotonou. Le calcul des pourcentages d'observation peut être formulé comme suit :

$$f_{ij} = 100 \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (1)$$

$$f_i = \sum_j f_{ij} \quad (2)$$

avec, f_{ij} la fréquence associée à n_{ij} ; n_{ij} le nombre d'observation de la j^{e} direction du vent à la i^{e} année d'observation et j variant de 0 à 36 à pas de 2 ; n_i le nombre d'observations total de directions du vent décomptées à la i^{e} année, n_i prend les valeurs 366 ou 365 selon que l'année soit civile ou bissextile ; f_i le cumul de f_{ij} .

L'analyse s'est basée sur l'utilisation de la fonction avancée de Microsoft Excel 2013 à travers l'usage du graphe contour filaire.

3. Résultats

3-1. Oscillations latitudinales de l'Equateur Météorologique entre 2014 et 2018

L'observation des oscillations latitudinales de l'Equateur Météorologique sur la période quinquennale 2014 à 2018, a permis d'obtenir 1825 positions latitudinales journalières. Il se constate clairement au niveau de la **Figure 2** que l'Equateur Météorologique est profondément instable lors d'une période très courte à l'intervalle de 24 H. A cette échelle, globalement sur la période quinquennale étudiée, quatre types de phases migratoires de l'Equateur Météorologique ont été identifiées au Bénin. La **Figure 2** montre lors de la première phase allant de décembre à janvier au Bénin, que l'Equateur Météorologique se cantonne dans la partie méridionale (autour de 6°30'N) sur les côtes béninoises. En effet, les moyennes zonales révèlent que les mois de janvier et décembre enregistrent environ 56,77 % de séjour de l'Equateur Météorologique à l'échelle journalière dans la partie méridionale du Bénin. Les positions oscillatoires les plus basses de l'Equateur Météorologique en latitude sur les côtes du Bénin avoisinent 3°N. Elles sont observées durant les deux mois de décembre et janvier. La seconde phase dure de février à avril, et les positions latitudinales de l'Equateur Météorologique croissent crescendo mais de manière irrégulière de ses positions les plus basses (3°N) sur le Bénin vers les positions les plus septentrionales autour des 12°30'N. Durant cette seconde phase, la latitude 12°N représente la position journalière de l'Equateur Météorologique la plus septentrionale sur le territoire béninois. Ainsi, la dernière décade du mois de mars et le mois d'avril enregistrent le séjour plus fréquent en latitude de l'Equateur Météorologique dans la partie septentrionale. Mais, les proportions les plus importantes concernent le mois d'avril 2015 ; avril 2017 et mars 2018 avec respectivement 45,16 % ; 45,16 % et 51,61 % des présences journalières de l'Equateur Météorologique à la latitude de 12°N. A la troisième phase, allant de mai à septembre, l'Equateur Météorologique culmine hors du Bénin au-dessus des 12°30'N. Dans sa migration vers le nord, l'Equateur Météorologique en atteignant les positions les plus septentrionales au-dessus du Bénin, oscille en moyenne autour de 21°N entre 2014 et 2018, lors du mois d'août. Mais, aux deuxièmes décades du mois d'août en 2014 ; 2016 et 2018, les latitudes oscillatoires de l'Equateur Météorologique atteignent 25°N. Au Bénin, c'est ce mois d'août qui est le plus pluvieux dans la partie septentrionale.

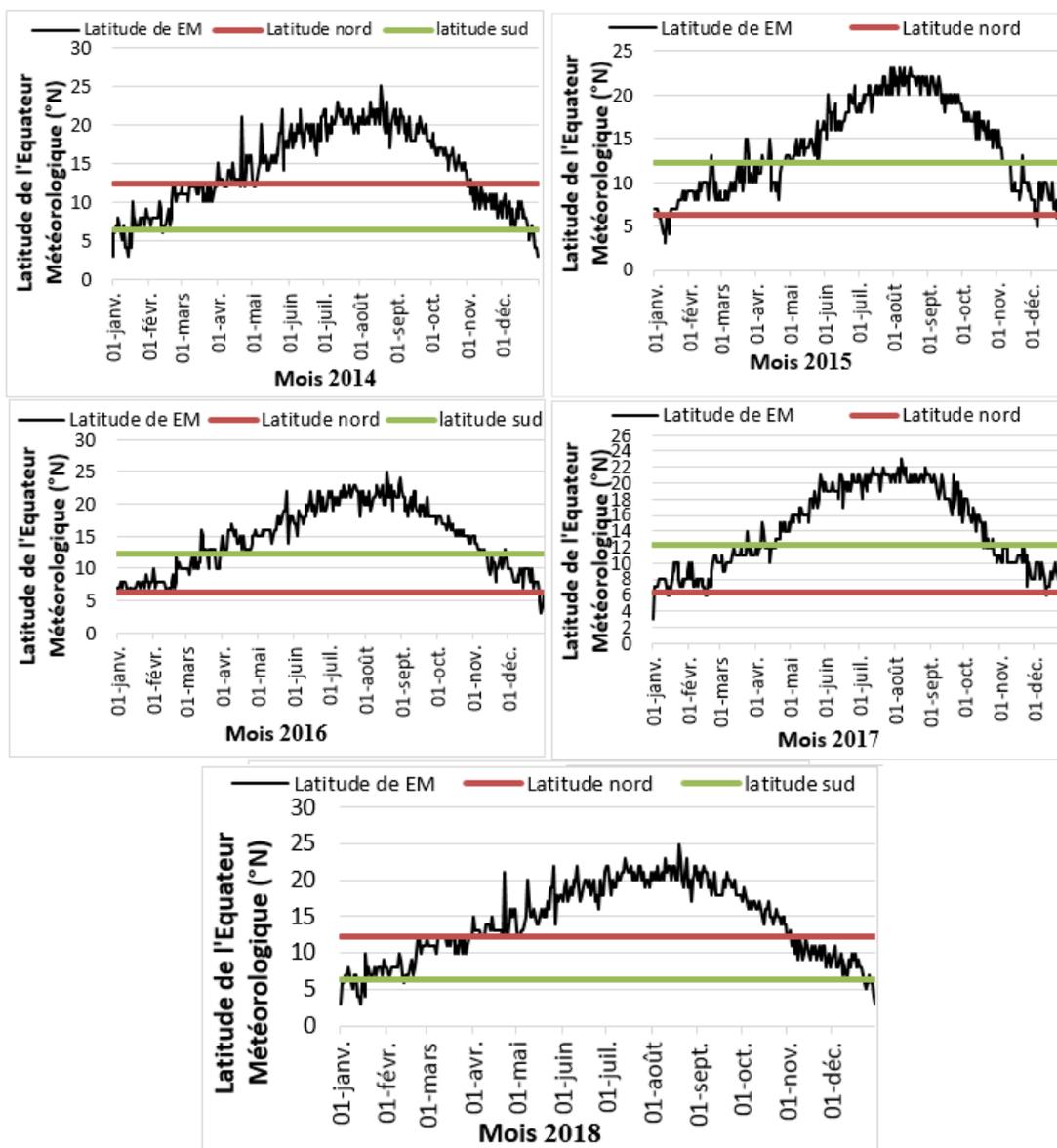


Figure 2 : Latitudes oscillatoires journalières de l'Equateur Météorologique
 Source de données : ASECNA, 2018

Et enfin à la quatrième phase, d'octobre à novembre, progressivement les positions oscillatoires de l'Equateur Météorologique se retrouvent sur le territoire du Bénin, migrant ainsi des latitudes septentrionales ($12^{\circ}30'N$) vers celles les plus méridionales ($6^{\circ}30'N$). Ce retour de l'Equateur Météorologique marque au sud du Bénin la petite saison pluvieuse. Les oscillations en latitude de l'Equateur Météorologique à l'échelle journalière sont très perceptibles (**Figure 2**). Les résultats montrent que généralement, les oscillations sont peu marquées avec de faible amplitude latitudinale entre deux jours consécutifs. Ces amplitudes latitudinales sont comprises entre 1 à 5 degrés et sont les plus récurrentes durant toutes les années. Le décalage entre une position oscillatoire latitudinale de l'Equateur Météorologique de la veille et celle du lendemain se manifeste soit par un avancé vers le nord ou par un recule vers le sud. Au-delà des amplitudes latitudinales observées précédemment qui peuvent être qualifiées de faible, comprises entre 1 et 5 degrés, Il est aussi observé de forte amplitude allant jusqu'à 9 degrés. Ce dernier cas est peu observé et subvient selon les observations plus en début de l'hivernage. C'est le cas entre autre de l'année 2016 où le 26 mai, la latitude était de $22^{\circ}N$ et le 27 mai, elle passe à $14^{\circ}N$ soit un recul de 8 degrés et aussi en 2018, le 22 avril la latitude oscillatoire

était de 12°N et le 23 avril la latitude oscillatoire de l'Equateur Météorologique s'était avancée à 21°N et le troisième jours, c'est-à-dire le 24 avril la nouvelle latitude est passée à 13°N. Les amplitudes observées sont de l'ordre de 8 degrés. Il se dégage ainsi que l'Equateur Météorologique durant sa migration annuelle à une oscillation discontinue et irrégulière. Ces résultats obtenus sont importants dans la compréhension de la migration de l'Equateur Météorologique qui a des impacts sur les précipitations et par voie de conséquence sur l'agriculture sous pluie en Afrique de l'Ouest qui subit les affres des aléas climatiques. A l'opposé de l'analyse journalière des positions latitudinales oscillatoires de l'Equateur Météorologique au Bénin, la prise en compte à l'échelle moyenne (**Figure 3**) fait apparaître peu les différentes fluctuations des latitudes oscillatoires de l'Equateur Météorologique.

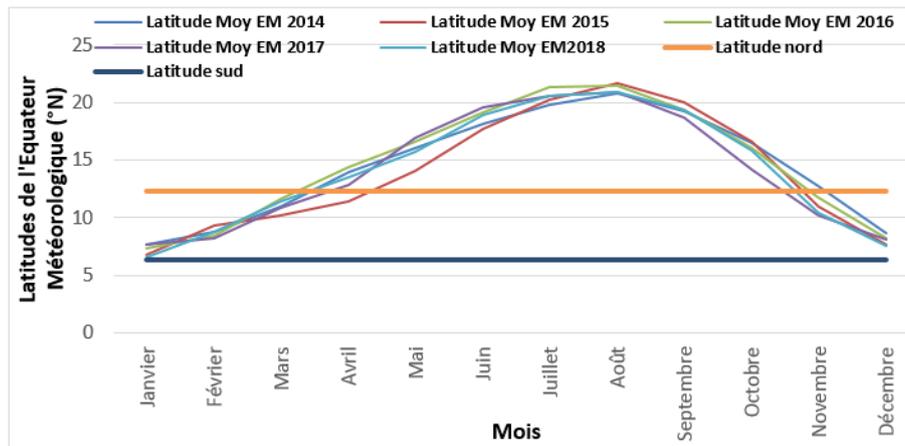


Figure 3 : Latitudes oscillatoires moyennes de l'Equateur Météorologique
 Source des données : ASECNA, 2018

Toutefois, ici de janvier à mars entre 2014 et 2018, l'Equateur Météorologique culmine en latitude sur le territoire béninois. Les positions latitudinales les plus méridionales durant cette période quinquennale (2014 à 2018) sur le Bénin est en 2018 où en moyenne l'Equateur Météorologique descend jusqu'à 6,61°N en janvier et les positions les plus septentrionales sont de 11,64°N en mars 2016. Ces déplacements de l'Equateur Météorologique s'inscrivent dans le mécanisme de sa migration saisonnière en Afrique de l'Ouest qui sont liés aux flux de mousson du fait du renforcement de l'agglutination de Sainte-Hélène qui repousse les flux boréaux (harmattan) plus au nord, alors, c'est la trace au sol de l'Equateur Météorologique qui migre vers le nord et quand la situation précédente s'inverse c'est la trace au sol de l'Equateur Météorologique qui migre vers le sud.

3-2. Relations entre l'oscillation de l'Equateur Météorologique au Bénin et la pluviométrie

Le degré de relation entre les positions oscillatoires de l'Equateur Météorologique et les hauteurs de pluie varie selon les stations (**Figure 4**). En situation moyenne, les chiffres du coefficient de détermination de la **Figure 4** montrent que les coefficients de déterminations sont nettement significatives à partir des stations synoptiques de Bohicon jusqu'à Kandi. Par contre, à Cotonou, la corrélation se trouve être faible et n'est que de 17,49 %. A Bohicon, Savè, Parakou, Natitingou et Kandi, elles suivent une chronologie de 59,32 % ; 72,49 % ; 88,98 % ; 85,73 % et 83,81 %. Cette situation moyenne cache plus de réalités décelables dans les analyses individuelles lors des différentes années de 2014 à 2018. A cet effet, le cas des relations existantes entre les positionnements latitudinaux de l'Equateur Météorologique et la pluviométrie aux stations synoptiques de Bohicon (07°10'N) et Savè (08°02'N) pris individuellement révèlent de profondes disparités avec la réalité moyenne de 2014 à 2018. Ainsi, à la station synoptique de Bohicon, malgré que les évènements pluvieux soient en moyenne liés à 59,32 % aux oscillations latitudinales de l'Equateur Météorologique, les

pluies durant les années 2014 (46 %) ; 2015 (12 %) et 2016 (40 %) sont faiblement corrélées aux oscillations latitudinales de l'Equateur Météorologique. Aussi, à la station synoptique de Savè en 2014 et 2015, les pluviométries sont liées aux oscillations latitudinales de l'Equateur Météorologique qu'à 42 % et 32 %. Alors qu'en situation moyenne entre 2014 et 2018, la corrélation est nettement significative à 72,49 %. A la station synoptique de Bohicon en 2017, le résultat des analyses montre qu'à 83 %, les évènements pluvieux sont expliqués par la présence latitudinale de l'Equateur Météorologique et en 2018 à Savè cette corrélation n'est qu'à 81 %. Cependant, de la côte béninoise (06°30'N) jusqu'à la latitude de Savè (08°02'N), la présence de l'Equateur Météorologique qui est sujette aux perturbations pluviogéniques n'induit pas toutefois les précipitations à la même proportion dans ces différentes stations synoptiques. Néanmoins, la progression des mouvements latitudinaux de l'Equateur Météorologique évolue dans le même sens que la pluviométrie surtout à partir des 07°10'N (station synoptique de Bohicon) et pour induire une pluviométrie maximale de 90% en moyenne durant la série 2014 à 2018 aux environs des 09°21'N (station synoptique de Parakou).

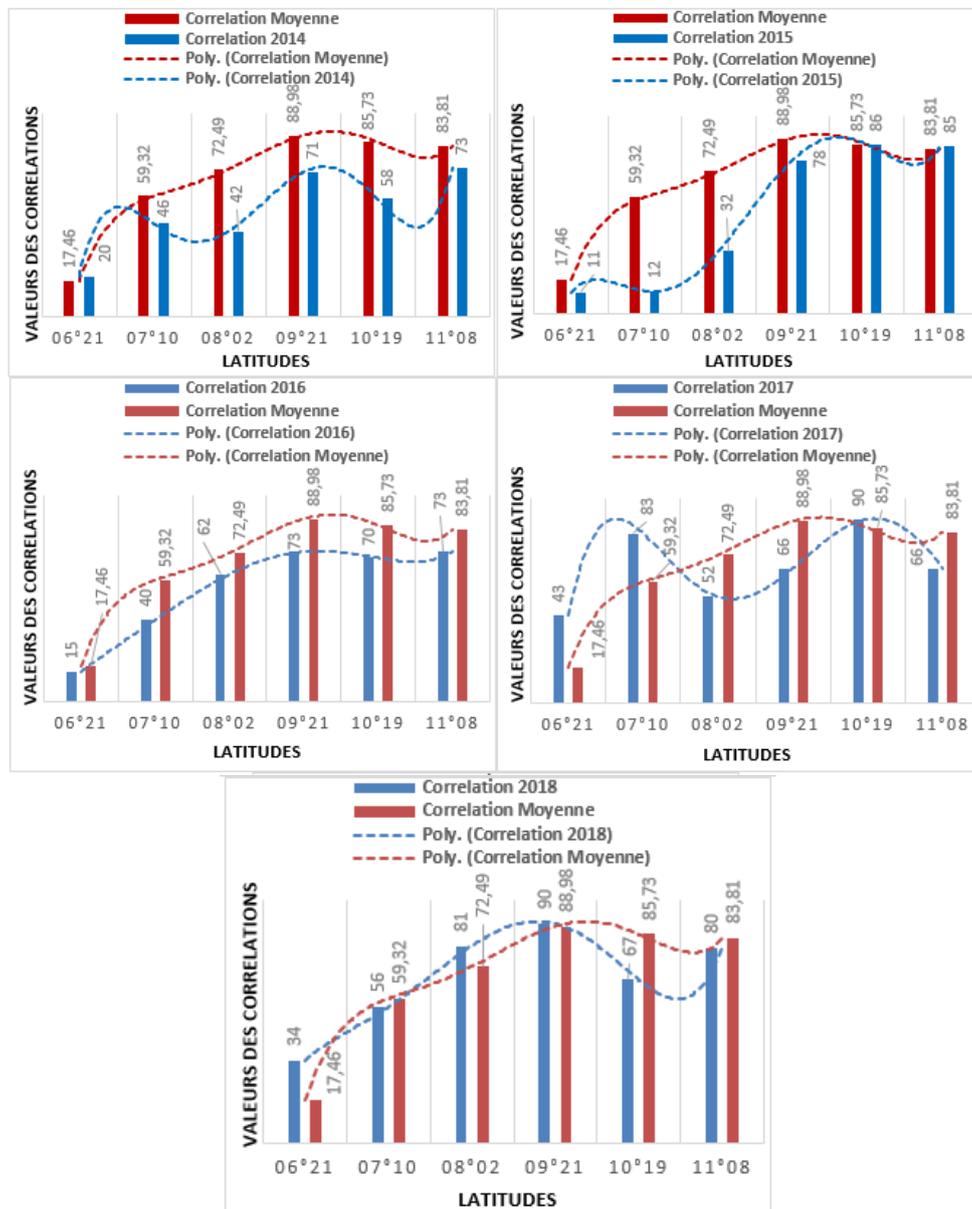


Figure 4 : Valeurs des coefficients de détermination issues des relations entre les latitudes de l'EM et la pluviométrie dans les stations synoptiques du Bénin (2014-2018)
 Source des données : (ASECNA-Bénin, 2018) et (Météo-Bénin, 2018)

Ainsi, globalement au fur et à mesure que la trace au sol de l'Equateur Météorologique balaie en latitude, le territoire béninois et atteint la latitude de Bohicon, il devient l'un des paramètres favorisant les abats pluvieux. Ceci confirme le caractère pluviogénique de l'Equateur Météorologique durant ses déplacements saisonniers vers le nord.

3-3. Directions dominantes des vents du Bénin et pluviométrie dans la partie côtière

Dans l'objectif de détecter les paramètres qui déterminent la pluie dans la partie côtière du Bénin, il est observé les situations des vents dominants en année humide (2014) et sèche (2015). L'analyse fréquentielle des vents dominants à travers sa représentation dans les figures à contour filaire permet d'obtenir les directions dominantes des vents sur la côte béninoise durant les douze mois des années à pluviométrie déficitaire et excédentaire.

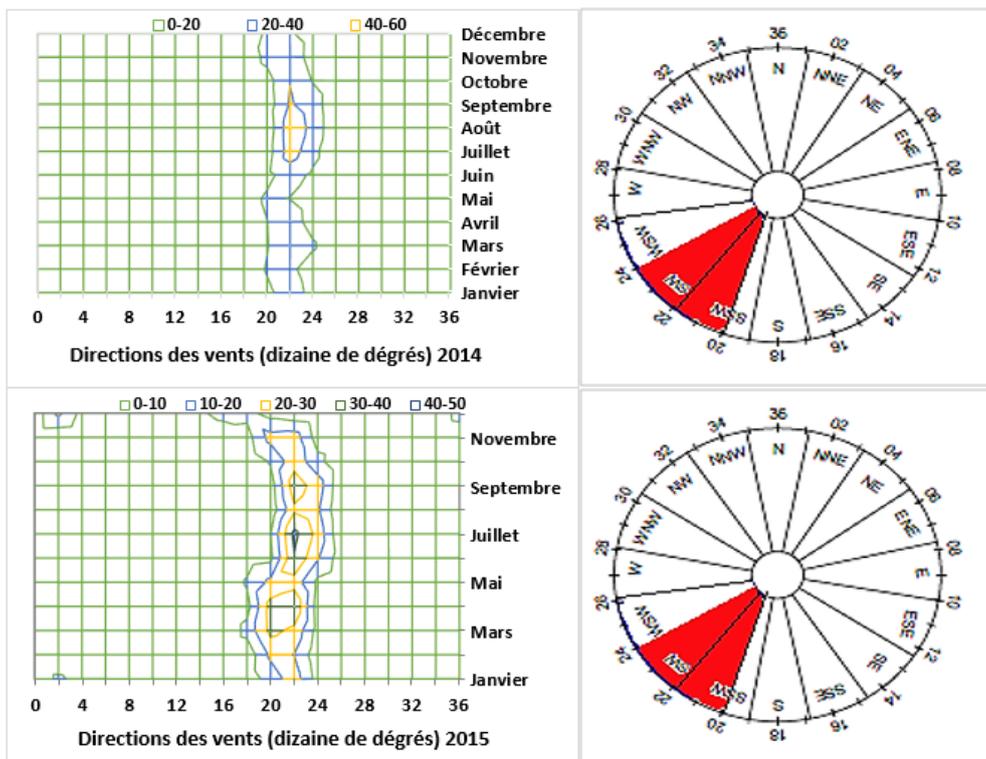


Figure 5 : Fréquences d'observations des vents dominants à Cotonou 2014 et 2015

Figure 6 : Roses des vents à Cotonou 2014 et 2015

Sources des données : Météo-Bénin, 2014-2015

En admettant que la direction des vents dominants est celle qui a la plus grande fréquence, l'analyse de la **Figure 5** à contour filaire permet d'identifier en 2014, qui est une année humide, une prédominance des vents dont les directions sont comprises dans la plage $[200^{\circ}-240^{\circ}]$. Cette plage d'orientation des vents dominants en année humide est représentative des directions des vents sud-sud-ouest (SSW), sud-ouest (SW) et ouest-sud-ouest (WSW). Ces vents en moyenne soufflent presque de manière permanente durant toute l'année humide 2014. Ainsi, de janvier à décembre les proportions de vents SSW, SW et WSW sont comprises entre 0 et 60 %. Mais, de janvier à juin et d'octobre à décembre, ces mêmes plages des vents (SSW, SW et WSW) règnent à des taux de 0 à 40 %. Durant cette même année, les valeurs des vents les plus remarquables sont concentrées de mi-juin à mi-septembre à des taux allant de 40 à 60 %. La partie côtière du Bénin en année humide est alors sous la présence presque permanente des vents SSW, SW et WSW durant toute la période.

De l'analyse des vents de l'année 2015 (année sèche), il apparaît une même représentativité des vents qui constituent celui de la plage des années humides (cas de 2014). Ils regroupent toujours les vents à dominance SSW, SW et WSW. Au début de la grande saison pluvieuse en année sèche, les fréquences de cette plage de vents (SSW, SW et WSW) ne dépassent guère 30 % (avec une plage fréquentielle de [20 %-30 %]). Et au cœur de la grande saison pluvieuse toujours en année sèche, de mi-juin à début juillet sont enregistrés la plage des proportions des vents dominants compris entre [40 %-50 %]. Lors de la petite saison pluvieuse, les fréquences des vents prédominants sont semblables à la situation du début de la grande saison pluvieuse. En générale, que ça soit durant les années humides ou bien sèches, le vent le plus dominant est celui de direction sud-ouest (SW) (**Figure 7**) c'est-à-dire une direction de 220°.

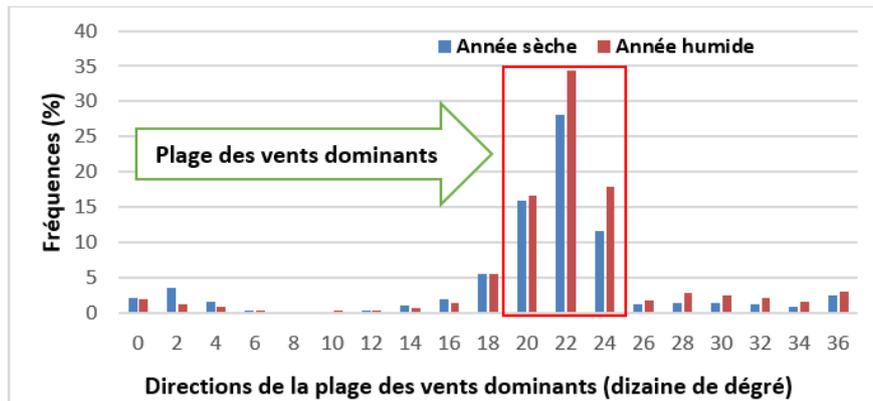
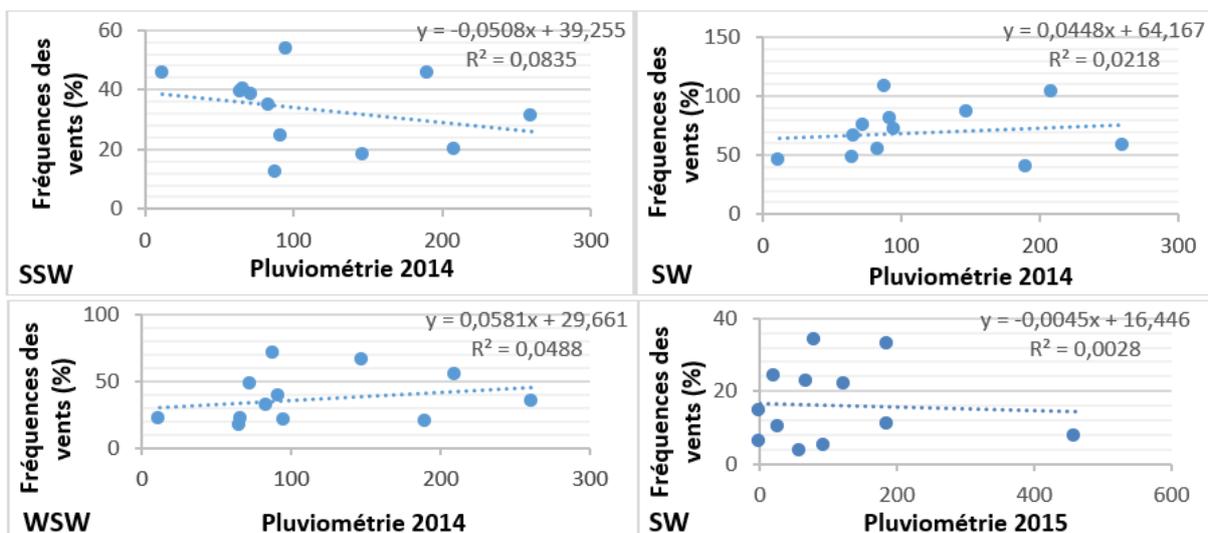


Figure 7 : Représentation graphique des directions dominantes du vent dans la partie côtière du Bénin (Station synoptique de Cotonou)
Source des données : Météo-Bénin, (2014 - 2015)

Et en année humide la fréquence des vents SW, SSW et WSW contenue dans la plage est plus élevée qu'en année sèche. Ainsi, il faut s'intéresser aux relations existantes entre la pluie et la plage des vents durant les années sèches et humides. Les côtes béninoises sont marquées par une présence permanente de la mousson qui est imputée à l'influence de la plage des vents dominants de directions SW ; SSW et WSW. Cependant, en dépit de cette existence permanente des vents dominants, leurs relations avec les précipitations que ça soit durant les années sèches ou humide sont très faibles voir quasi inexistante.



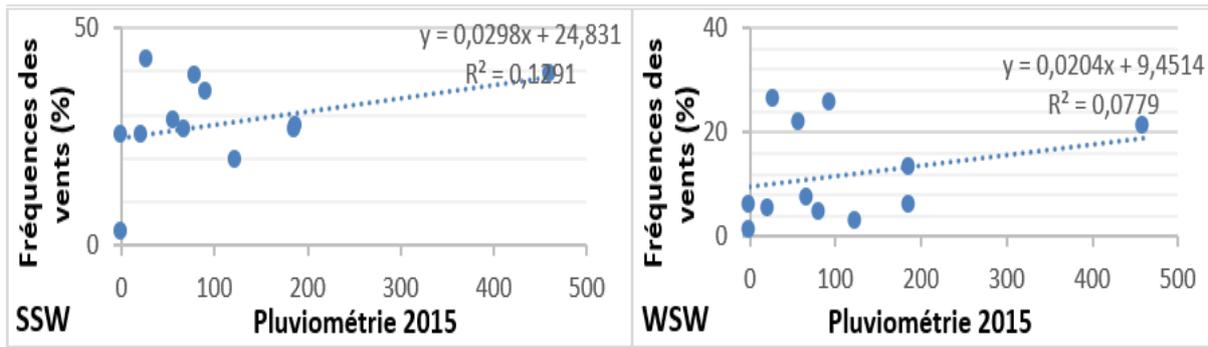


Figure 8 : Relations entre les vents dominants et la pluviométrie en années sèche et humide
 Source des données : Météo-Bénin, (2014 - 2015)

L'autre type de vent qui est influent généralement sur les côtes est relatif au vent de direction sud-nord (S) avec une direction de 180° et une force comprise généralement entre [2 m/s et 10 m/s]. Ces derniers font penser au phénomène de brise de mer. Mais ici au Bénin, ils sont à des proportions très négligeables.

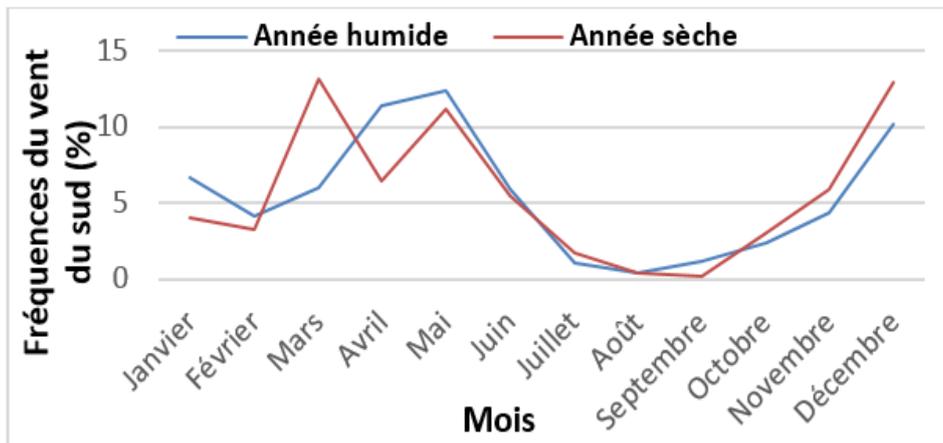


Figure 9 : Fluctuation mensuelle du vent de direction sud-nord
 Source des données : Météo-Bénin, (2014 - 2015)

Ces vents de direction sud-nord liés aux brises de mer ne représentent qu'en moyenne 6 % des directions des vents que ça soit en année humidité (2014) ou sèche (2015). Les valeurs maximales de la direction de vent sud-nord sont essentiellement enregistrées en saison sèche. Durant l'année 2015, considérée comme sèche, le taux de sa présence avoisine 13 %. Ce taux est enregistré en décembre et en mars sur les côtes béninoises. Par contre, en année humide (2014), ce vent de direction sud-nord est repéré en début de la saison pluvieuse précisément en avril et mai avec des fréquences respectives de 11,42 % et 12,36 %. Les résultats de la **Figure 10** font ressortir aussi de très faibles relations entre les vents de direction sud (180°) affiliés à la brise de mer et la pluviométrie sur la côte du Bénin. Ainsi, il existe une présence sporadique de la brise de mer sur la côte béninoise et cette fréquentation induit de très faible précipitation dans cette partie du Bénin.

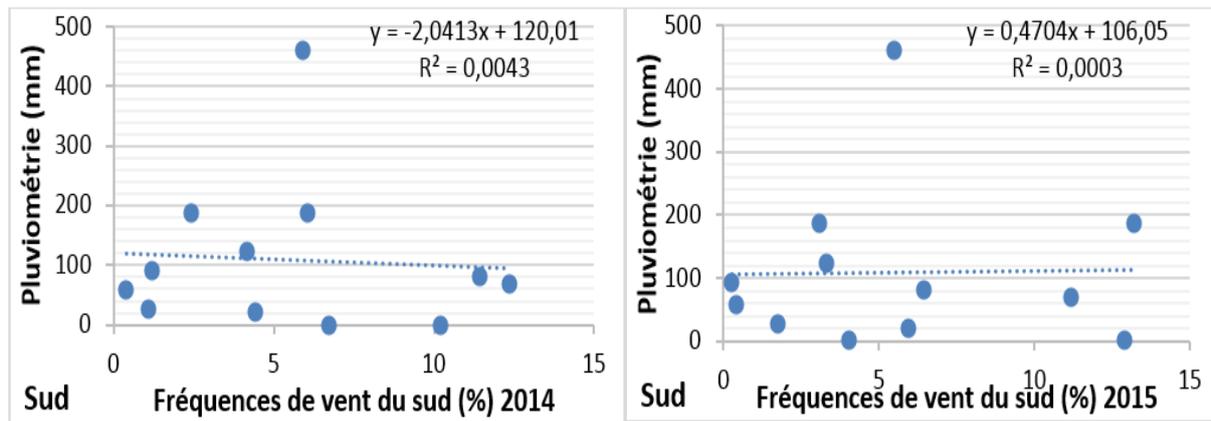


Figure 10 : Corrélations entre pluviométrie et fréquences mensuelles de vent du sud 2014 - 2015
 Source des données : Météo-Bénin, (2014 - 2015)

4. Discussion

Les positions latitudinales journalières oscillatoires de l'Equateur Météorologique sur le Bénin ont été suivies sur 1825 situations. Cette méthodologie basée sur le recueil des données auprès de l'ASECNA-Bénin a été d'une grande utilité dans la mesure où les analyses réalisées ont abouti à des résultats satisfaisants dans la compréhension du climat au Bénin. [1] a utilisé la même méthodologie de collecte des données auprès de l'ASECNA au Sénégal pour analyser les migrations de l'Equateur Météorologique. Il a été aussi utilisé la corrélation linéaire qui est une méthode fréquemment utilisée pour estimer l'intensité d'une relation linéaire entre deux variables. Le carré du coefficient de corrélation noté R^2 et appelé coefficient de détermination correspond à la part de variance commune entre deux variables analysées. L'existence d'une forte valeur du coefficient de corrélation n'implique pas forcément de causalité entre deux paramètres. Les interprétations ont été faites alors avec une certaine prudence et les résultats ont été rattachés à des mécanismes météorologiques. Durant la période quinquennale de 2014 à 2018 au Bénin, les migrations journalières de l'Equateur Météorologique sont caractérisées par des oscillations discontinues et irrégulières à des amplitudes latitudinales journalières relativement faible qui varient entre 1 et 5 degrés. Il est aussi enregistré des amplitudes latitudinales journalières de forte proportion allant jusqu'à 8 degrés surtout en début de la saison pluvieuse. Ce résultat est proche de celui de [16] qui attribut ces amplitudes latitudinales journalières de faible proportion à la pulsation diurne s'exerçant au sol et qui se caractérise généralement par un retrait de l'Equateur Météorologique vers le Sud au cours de la nuit et par son avancée vers le Nord l'après-midi d'une part, d'autre part, les amplitudes latitudinales journalières de forte proportion sont attribuées à des incursions accidentelles et brèves. Ces oscillations sont susceptibles de se manifester en toutes saisons. Toutefois, quatre phases sont décelées dans la migration saisonnière de l'Equateur Météorologique. La première phase va de décembre à janvier où l'Equateur Météorologique oscille autour des latitudes $06^{\circ}30'N$ sur les côtes du Bénin, la seconde phase allant de février à avril, sa présence est bien permanente sur le Bénin. La troisième phase voit l'Equateur Météorologique oscillé en latitude de mai à septembre au-dessus de la limite septentrionale du pays et la quatrième phase d'octobre à novembre, où l'Equateur Météorologique se repositionne sur le Bénin pour rejoindre les côtes. Ces quatre phases de la migration saisonnière de l'Equateur Météorologique identifiée au Bénin sont proches des résultats obtenus par [17]. En effet, ce dernier montre qu'en Afrique Occidentale, la première phase est notée en janvier où l'Equateur Météorologique se cantonne dans sa position la plus méridionale, à la deuxième phase de juillet, l'Equateur Météorologique se décale très au nord. La troisième phase pour [17] survient en juillet-août-

septembre, période à laquelle l'Equateur Météorologique atteint sa position la plus septentrionale et la quatrième phase concerne un retrait rapide de l'Equateur Météorologique qui s'achève en janvier. Cette recherche sur les oscillations latitudinales de l'Equateur Météorologique présenterait peu d'intérêt pratique si elle n'engageait pas la relation Equateur Météorologique et pluviométrie. Ainsi, les résultats des recherches révèlent une inégale relation entre la présence latitudinale de l'Equateur Météorologique et la pluviométrie au Bénin. La faible valeur moyenne des coefficients de déterminations ($R^2 = 17,49 \%$) montre que les événements pluvieux sont faiblement liés à la présence latitudinale oscillatoire de l'Equateur Météorologique sur les côtes béninoises de 2014 à 2018. Par contre déjà à la latitude de Bohicon ($07^{\circ}10'N$), jusqu'à celle de Kandi ($11^{\circ}08'N$), la relation entre le tandem pluviométrie et la latitude oscillatoire de l'Equateur Météorologique est nettement significative avec des valeurs moyennes du coefficient de détermination qui sont de $59,32 \%$ à Bohicon, $72,49 \%$ à Savè, $88,98 \%$ à Parakou, $85,73 \%$ à Natitingou et $83,81 \%$ à Kandi. Ainsi, la capacité pluviogénique de l'Equateur Météorologique au Bénin est plus perceptible qu'à partir de la latitude de Bohicon. Dans une étude menée par [18] sur les Migrations de l'Equateur Météorologique et précipitations au Sénégal, il est indiqué que la présence de l'Equateur Météorologique sur le continent coïncide avec le démarrage de l'hivernage. Par ailleurs, les migrations saisonnières de l'Equateur Météorologique sont la source des contrastes saisonniers et spatiaux qui caractérisent les précipitations [1]. Cependant, aux temps du déplacement vers le Nord de l'Equateur Météorologique, il se comporte comme un front froid en donnant des nuages cumuliformes très bourgeonnants et des averses parfois orageuses et c'est l'alizé boréal qui est animé d'un mouvement ascendant le long de la surface de l'Equateur Météorologique; comme cet air est humide, un déplacement vertical assez faible suffit à amener sa condensation [19].

De plus pour [20], la translation en été boréal de l'Équateur météorologique se caractérise par une épaisseur de mousson variable mais suffisante pour permettre le développement des formations nuageuses liées aux lignes de grains mais, lorsque le processus avorte, il aboutit à des orages dits locaux avec des précipitations généralement à caractère orageux plus abondantes au fur et à mesure que l'on se rapproche de la zone de convergence intertropicale et que le potentiel précipitable mis à la disposition des perturbations devient plus considérable. L'analyse des vents dans la partie côtière du Bénin, fait apparaître que ça soit en année humide et sèche, les vents du secteur SSW, SW et WSW sont prédominants. En année humide ces vents prédominent de 40 à 60 % durant les mois de juillet, août et septembre et en année sèche les taux les plus représentatifs s'observent en juillet de 40 et 50 %. [3, 21] dans une étude similaire en Afrique de l'Ouest mentionnent que ces vents sont à l'origine des alizés de l'hémisphère sud (sud-est), une fois l'équateur géographique franchi, ces vents chargés d'humidité sont déviés par la composante horizontale de la force de Coriolis pour former le « flux de mousson » de sud-ouest et d'avril à novembre, ce flux de mousson souffle sur les côtes du Golfe de Guinée [22]. Ainsi, les résultats de la corrélation entre la plage des vents dominants de directions SSW, SW et WSW et la pluviométrie à la station synoptique de Cotonou montrent qu'il n'y a pas de corrélation significative entre les deux paramètres. La permanence de la mousson sur la partie côtière du Bénin pendant la saison pluvieuse ne garantit pas forcément une régularité des pluies. Les résultats de [18] au Sénégal sont en concordance avec ces observations au Bénin. De plus, les analyses des précipitations et des fréquences de la mousson au Bénin de [4] sur l'année 2014 montrent une incohérence entre les pluies et les fréquences de couverture de la mousson. Alors que [23] attribue les nombres de jours de pluie durant les saisons pluvieuses dans le Bénin méridional aux vents dominants de direction sud-ouest. Sans doute, malgré les imprécisions qui sont détectées entre la pluviométrie et la mousson, cette dernière reste une des conditions primordiales à la survenance des événements pluvieux.

5. Conclusion

Au terme de cette étude, les résultats révèlent quatre phases dans les migrations de l'Equateur Météorologique au Bénin. A la première phase, de décembre à janvier l'Equateur Météorologique se cantonne sur les côtes béninoises. A la deuxième phase, qui dure de février à avril, l'Equateur Météorologique balaie de la côte jusqu'à la partie septentrionale du Bénin en faisant des mouvements d'aller et retours. A la troisième phase migratoire, de mai à septembre, l'Equateur Météorologique migre vers des positions les plus septentrionales en dehors du Bénin oscillant parfois autour des 25°N. Et à la quatrième phase qui couvre d'octobre à novembre, l'Equateur Météorologique marque à nouveau sa présence sur le Bénin en se positionnant sur la partie méridionale. Cette migration saisonnière de l'Equateur Météorologique se caractérise par des mouvements oscillatoires discontinus et irréguliers en latitude. Les amplitudes latitudinales journalières varient essentiellement de 1 à 5 degrés avec parfois des incursions profondes pouvant atteindre 8 degrés. Aussi, la présence latitudinale de l'Equateur Météorologique sur le Bénin constitue le siège des instabilités pluviométriques. Mais, la partie côtière (station synoptique de Cotonou) se révèle être à l'abri de cette présence. De plus, la présence quasi permanente des vents de direction SW ; SSW et WSW attribués à la mousson source d'apports hygrométrique important, induit faiblement la pluie sur les côtes béninoises. Avec ces résultats, le champ des recherches climatique reste ouvert pour pouvoir détecter les facteurs déterminants dans la survenance des évènements pluvieux au Bénin surtout dans sa partie côtière.

Références

- [1] - M. YADE, "Migrations de l'Equateur Météorologique, précipitations enregistrées et calendrier agricole au Sénégal de 2004 à 2013". Thèse de doctorat/Université Cheikh Anta Diop De Dakar, (2016) 330 p.
- [2] - M. DALIBARD, "Changements climatologiques en zone intertropicale africaine durant les derniers 165.000 ans. Paléontologie". Université Claude Bernard-Lyon I, , Français. <NNT : 2011LYO10032>, (2011)
- [3] - B. SULTAN, "L'étude des variations et du changement climatique en Afrique de l'Ouest et ses retombées sociétales". Habilitation à diriger des recherches/Université Pierre et Marie Curie, (2011) 137 p.
- [4] - P. SAGNA, "Mousson en Afrique de l'ouest en 2014: application au Benin, au Burkina-Faso, à la Côte d'Ivoire et au Sénégal". Colloque en hommage aux Professeurs HOUSSOU C.S., HOUNDAGBA C.J. et THOMAS O. Université Abomey-Calavi Bénin 26 septembre, (2018) 50 p.
- [5] - C. M. PATRICOLA and K. H. COOK, "Northern African climate at the end of the twenty-first century: an integrated application of regional and global climate models". *Climate Dynamics*, 35 (2010) 193 - 212
- [6] - J. GAZEUX, E. FLAOUNAS, P. NAVEAU and A. HANNART, "Inferring change points and nonlinear trends in multivariate time series: Application to West African monsoon onset timings estimation". *J. Geophys. Res.*, (2011), doi: 10.1029/2010JD014723 in press
- [7] - R. Marteau, B. Sultan, V. Moron, A. Alhassane, C. Baron, and S.B. Traoré, "The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger". *Agr. For. Meteorol.*, in revision, (2011)
- [8] - P. SAGNA, "L'évolution du climat au Sénégal". In, Les cahiers du Plan n° 1, Changement climatique, sécurité alimentaire et développement humain, (2010) 12 - 13
- [9] - P. ROUDIER, "Climat et agriculture en Afrique de l'Ouest : Quantification de l'impact du changement climatique sur les rendements et évaluation de l'utilité des prévisions saisonnières. Milieux et Changements globaux". Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS), Français. <NNT : 2012EHESnnnn>, (2012)

- [10] - H. T. CODJO, "Changements climatiques et aménagements hydro-agricoles pour la réduction de la vulnérabilité du paysannat dans la basse vallée de l'Ouémé". Thèse de Doctorat/Université d'Abomey-Calavi, (2017) 234 p.
- [11] - S. S. HOUNZINME, "Vulnérabilité des cultures vivrières face à la variabilité climatique dans les départements du Borgou et de l'Alibori au Bénin". Thèse de Doctorat/EDP/FASHS/UAC, (2019) 208 p.
- [12] - I. YABI, M.S. ISSA et F. AFOUDA, "Instabilité intra-saisonnière des pluies dans le département de l'Atacora". In : Climatologie appliquée. Presented at the 29^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lausanne Besançon, (2016) 387 - 392
- [13] - J. EGAH, M. N. BACO, R. S. LOKOSSOU, F. T. MOUTOUAMA, P. B. I. AKPONIKPE, D. FATONDI, A. J. DJENONTIN, C. R. TOSSOU et N. SOKPON, "Incidence économique des techniques exogènes de conservation de l'eau et des sols au Bénin". Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), Vol. 1, N° 75, Juin (2014) 47 - 57
- [14] - F. AZONSI, A. TOSSA, M. KPOMASSE, F. LANHOUSI, A. ZANNOU et A. GOHOUNGOSSOU, "*Atlas hydrographique du Bénin : Un Système d'Information sur l'hydrographie*". DANIDA/Programme d'appui au développement du secteur Eau et Assainissement, (2008) 22 p.
- [15] - V. S. GBAGUIDI, G. A. GBAGUIDI, E. ADJOVI, K. B. AMEY, M. ZANKPE, A. E. DANVI, et E. ALODEHOU, "Cartographie des directions dominantes des vents au Bénin : outil de conception et de dimensionnement des ouvrages". *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*(Togo), Série E, 13 (1) (2011) 1 - 16
- [16] - H. ISNARD, "Le mécanisme du climat de l'Ouest Africain". *L'information géographique*, Vol. 16, N°3, 1952 (2015) 98 - 100
- [17] - K. L. PESSON, "Analyse de la dynamique du FIT et le type de temps associé en Côte d'Ivoire". Master II en Sciences et Gestion de l'Environnement/Géosciences et Environnement/Université Nangui-Abrogoua. Côte d'Ivoire, (2019) 105 p.
- [18] - M. YADE, "Migrations de l'Equateur Météorologique et précipitations au Sénégal". Editions universitaires européennes, (2015) 84 p.
- [19] - E. FLAOUNAS, "Analyse du mécanisme de la mise en place de la mousson Africaine dynamique régionale ou forçage de grande échelle". Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, (2010) 199 p.
- [20] - P. SAGNA, M. YADE et P. C. SAMBOU, "Migrations de l'Equateur Météorologique, fréquences de la mousson et importance des précipitations au Sénégal en 2008 et 2009". *Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines*, N° 42/B (2012) 60 - 75
- [21] - L. DESCROIX, A. DIONGUE NIANG, G. PANTHOU, A. BODIAN, Y. SANE, H. DACOSTA, M. MALAM ABDU, J-P. VANDERVAERE et G. QUANTIN, "Evolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : la Sénégalie et le bassin du Niger moyen". *Climatologie*, Vol. 12, (2015) 25 - 43
- [22] - M. K. BADAMELI, T. K. T. TCHAMIE, F. LEMOU et L. ISSAOU, "Analyse du rythme pluviométrique actuel de Lomé". Colloque sur Risques et catastrophes climatiques: Vulnérabilité et Adaptation en Afrique de l'Ouest Hommage aux Professeurs BOKO Cotonou 27 et 30 septembre, (2016) 78 - 88
- [23] - A. B. P. CHABI, "Essai de caractérisation spatio-temporelle des pluies journalières en milieu subéquatorial au Bénin". Thèse de Doctorat/Université d'Abomey-Calavi, (2018) 248 p.