

Relation Entre Éclairs Nuage-Sol et Précipitations Pendant la Mousson de 2006 au Bénin

Houngninou B. Etienne

*Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin
01 BP 1946 Cotonou (BENIN)
E-mail: houngnb@yahoo.fr*

Adéchinan A. Joseph

*Faculté des Sciences Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin
E-mail: adechinanjoseph@yahoo.fr*

Moumouni Sounmaïla

*Ecole Normale Supérieure, Université de Parakou, Bénin
BP 1681 Abomey Calavi (BENIN)
E-mail: sgonrouwa@yahoo.fr*

Guédjé K. François

*Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route (ESTBR)
Université d'Abomey-Calavi, Bénin
E-mail: guedjefranco@yahoo.com*

Allé C. S. Ulrich Y

*Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin
E-mail: ulrichalle@yahoo.fr*

Kougbéagbédè Hilaire

*Faculté des Sciences Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin
E-mail: hilars83@gmail.com*

Houngninou T. Erik

*Faculté des Sciences Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin
E-mail: houngnerik@yahoo.fr*

Résumé

Cette étude présente la relation entre les éclairs nuage-sol (CG) et les précipitations pendant la mousson de 2006, à l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO) au Bénin. Les données d'éclairs sont obtenues à partir du réseau LINET et celles des précipitations proviennent de 49 pluviographes. Les résultats montrent que la densité spatiale des éclairs (fl pour flash) varie considérablement. La moyenne est de 26 fl / km². Le nombre d'éclairs nuage-sol croît globalement avec la latitude mais décroît avec la longitude. Les échelles temporelles et spatiales considérées pour déterminer le ratio pluie-éclair sont respectivement, 1 mois et 100 km². Ce ratio est le rapport entre la masse des précipitations (en kg) et le nombre d'éclairs nuage-sol (fl), sur un espace commun. Les valeurs de ce ratio varient entre 1,5 10⁷ et 49 10⁷ kg/fl avec une

moyenne de 7,2 10⁷ kg/fl. Le coefficient de corrélation moyen entre les éclairs nuage-sol et les précipitations au cours de la mousson de 2006 est de 0,55. La part des précipitations convectives sur l'ensemble des précipitations enregistrées est estimée à 50% au Nord-Ouest, 40% au Sud-Est, 22% au Nord-Est et 21% au Sud-Ouest de l'OHHVO.

Mots-clés: éclair nuage-sol, précipitation, ratio pluie-éclair, mousson

Abstract

The study that is submitted to you highlights the relationship between Cloud-to-Ground lightning (CG) and precipitations during the monsoon of 2006 in Benin at the Oueme Upper Valley Hydrometeorological Observatory. The lightning data used are obtained from the LINET network and the ones of the precipitations are from the 49 rain gauges. The results show clearly that the spatial density of the lightning (fl per flash) greatly vary with an average of 26 fl/km². The number of the cloud-to-ground lightning globally increases with latitude whereas it decreases with longitude. Temporal and spatial scales used to determine the value of rain yield (i.e the ratio of total precipitation to CG flash counted over a common area) are respectively 1 month and 100 km². These values vary between 1.5 10⁷ and 49 10⁷ kg/fl with an average 7.9 10⁷ kg/fl. The average correlation coefficient between the precipitations and the cloud-to-ground lightning during the monsoon of 2006 is 0.55. The contribution of the convective precipitations to the total rain fall is estimated to 50% in the North-West, 40 % in the South-Est, 22 % in the North-Est and 21 % in the South-West of the Oueme Upper Valley Hydrometeorological Observatory.

Keywords: Cloud-to-ground lightning, precipitation, rain yield, monsoon

1. Introduction

Au début des années 1960, Battan (1965) a montré qu'il existe un lien entre les éclairs et les précipitations. Dans ses travaux, les éclairs ont été dénombrés visuellement et les précipitations mesurées par un réseau de pluviomètres. Avec le développement de nouveaux systèmes de détection et de localisation des éclairs, de nombreuses études ont été réalisées. Elles ont porté sur la corrélation spatio-temporelle entre l'activité électrique des éclairs et les précipitations (Petersen and Rutledge, 1998 ; Tapia et al., 1998 ; Soula et al., 1998; Carey et Rutledge, 2000; Soriano et al., 2001; Zhou et al., 2001; Kar et al., 2003; Kochtubajda et al., 2013). Bien que ces études aient confirmé l'existence d'un probable lien entre les éclairs et les précipitations, il existe des variations entre les différents résultats obtenus selon : les conditions environnementales (Petersen et Rutledge, 1998; Takayabu, 2006), le cycle de vie de l'orage (Tapia et al., 1998), la région dans laquelle se produit l'orage (Holle et al., 1994) et le type d'éclairs considéré (Piepgrass et al., 1982; Soula et Chauzy, 2001). Par ailleurs, la littérature reste encore rare sur la relation éclairs-précipitations en Afrique sub-saharienne. Ces insuffisances peuvent s'expliquer par la quasi inexistence de réseaux d'observation de l'activité électrique atmosphérique et la faible densité des réseaux d'observation des précipitations.

A la faveur du programme AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Moussoon Africaine), l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO) au Nord du Bénin a été instrumenté pour la compréhension de la Moussoon Ouest-africaine. Les observations ont été élargies aux éclairs grâce à l'implantation du réseau de détection d'éclairs dénommé Lightning detection Network (LINET). Les données d'éclairs obtenues au cours de cette période d'observation

intensive ont déjà fait l'objet d'une publication (Höller et al., 2009). Cette dernière a mis l'accent sur les caractéristiques des éclairs et leur implication dans la production de l'oxyde d'azote (NO_x)

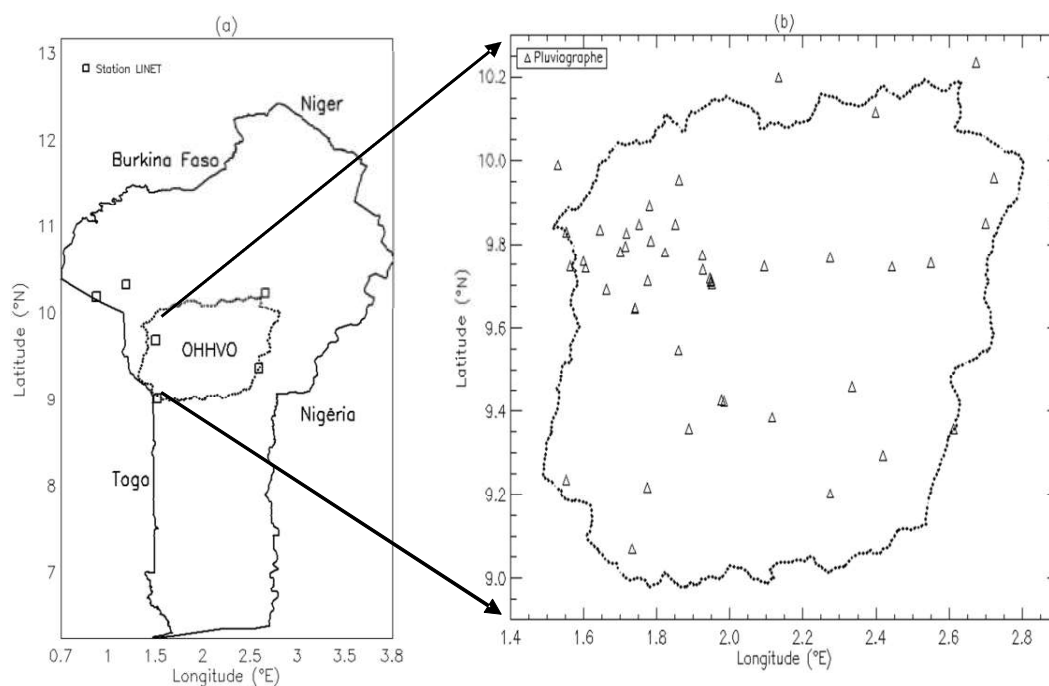
La présente étude constitue un autre volet de l'analyse des données du réseau LINET. Elle vise à quantifier la relation entre éclairs nuage-sol et précipitations au Bénin et, plus précisément, dans la zone de l'OHHVO. Une telle étude a l'avantage de produire la cartographie des éclairs dans d'autres régions à précipitations connues. Cette cartographie permettra de dimensionner à l'avenir, les protections contre la foudre dans lesdites régions et d'établir des plans de maintenance ou d'investissement par les exploitants de réseaux de télécommunication.

2. Méthodologie

2.1. Zone D'étude

La région d'étude (OHHVO) est située au Nord du Bénin, entre les latitudes 9° N et 10,2° N et les longitudes 1,5°E et 2,8°N et couvre une superficie d'environ 15000 km² (Figure 1). Elle est caractérisée par un climat de type soudanien avec une saison des pluies allant de mi-mars à fin octobre et un cumul annuel moyen en précipitation de 1200 mm sur la période 1954-2005 (Le Lay et Galle, 2005 ; Lawin, 2007). Les deux principales villes de cette région sont : Parakou (2,6°E ; 9,3°N) au Sud-Est et Djougou (1,6°E ; 9,6 °N) située à une centaine de kilomètres au Nord-Ouest de Parakou. En dehors de la chaîne montagneuse de l'Atacora qui culmine à une altitude de 658m, le relief est peu marqué dans la région, en témoignent les altitudes par rapport au niveau de mer de Djougou, 480 m et de Parakou, 393 m.

Figure 1: (a) Situation géographique du Bénin avec les limites de l'OHHVO et la localisation des stations LINET, (b) réseau de pluviographes de l'OHHVO en 2006.



2.2. Données Utilisées

Deux types de données ont été utilisés dans cette étude : il s'agit des données d'éclairs obtenues à partir du réseau LINET et des données de précipitation provenant du réseau pluviographique de l'OHHVO.

Le réseau LINET est constitué d'un ensemble de six stations (Figure 1a). Chaque station LINET dispose d'un récepteur d'éclairs composé de deux capteurs, d'un GPS et d'un système d'acquisition de données. Le principe de détection du LINET est basé sur la mesure du champ électromagnétique dans une gamme de fréquences LF et VLF. Chaque capteur du système détecte l'impulsion électromagnétique avec un retard qui est proportionnel à la distance qui le sépare de l'éclair. La vitesse de propagation de l'onde et la distance entre les capteurs étant connues et constantes, il suffit donc de calculer la différence de temps d'arrivée qui existe entre les capteurs deux à deux pour obtenir un ensemble d'équations dont chacune décrit une hyperbole qui définit l'ensemble des localisations possibles de l'éclair. Le point d'intersection des hyperboles est la solution unique qui indique la position de la source du rayonnement. Cette technique, dite de triangulation, nécessite au minimum trois capteurs dont la base de temps doit être synchrone.

Le déploiement du réseau LINET entre le 18 juin et le 18 novembre 2006 sur l'OHHVO a permis d'enregistrer plusieurs variables liées aux éclairs dans cette région. Au nombre de ces variables on peut citer : la position géographique (longitude et latitude), la date, l'heure d'occurrence, l'amplitude du courant de décharge et le type d'éclair (nuage-sol (CG) et intra-nuage (IC)). Dans le cadre de cette étude, seules les données d'éclairs CG ont été analysées au regard de la littérature (Soula et Chauvy, 2001).

Quant au réseau pluviographique de l'OHHVO, il était composé de 55 pluviographes en 2006. Le taux de fonctionnement annuel moyen (1999-2006) des pluviographes étant de 83% (Lawin, 2007), seules les stations qui présentaient un taux de fonctionnement en 2006 supérieur à 83% ont été retenues. En définitive, 49 stations pluviographiques ont été utilisées dans cette étude.

2.3. Répartition Spatiale de la Densité et de L'intensité des Eclairs Nuage-Sol

La densité des éclairs est définie comme le nombre d'éclairs CG par unité de surface. Cette grandeur exprimée en nombre d'éclairs (flash (fl)) par km² a permis de comparer le degré de foudroiement de différentes régions de l'OHHVO. La répartition spatiale de la densité des éclairs CG sur l'OHHVO a été analysée en substituant ce dernier par une grille spatiale de points de dimensions 0,1° × 0,1°.

Par ailleurs, la distribution des éclairs CG en fonction de la longitude a également été étudiée. À cet effet, des classes d'amplitude 0,1° de longitude ont été constituées et dans chaque classe, le nombre d'éclairs CG a été déterminé. Ensuite, le coefficient de corrélation entre le nombre d'éclairs CG et la borne inférieure de chaque classe a été calculé. La même démarche a été adoptée pour analyser la distribution des éclairs CG en fonction de la latitude.

2.4. Détermination Du Ratio Pluie-Eclair

D'après Kar et al. (2003), le ratio pluie-éclair (exprimé en m³/fl ou kg/fl) est défini comme le rapport entre le volume ou la masse de précipitation et le nombre d'éclairs CG enregistré pendant une période et pour une superficie donnée (Eq. 1)

$$(RPE)_i = \frac{R(t, \diamond_i)}{N(t, \diamond_i)} \quad (\text{Eq 1})$$

où, $(RPE)_i$ est le ratio pluie-éclair correspondant à la station i ; $R(t, \diamond_i)$ est le cumul de précipitation enregistré à la station i pendant la durée t ; $N(t, \diamond_i)$ est le nombre total d'éclairs CG dénombré pendant la durée t dans le domaine Δx_i délimité autour du pluviographe i ; Δx_i représente l'aire du domaine délimité autour du pluviographe i et t est la durée d'accumulation de la pluie.

Dans la littérature, il existe une gamme variée d'échelles spatio-temporelles pour la détermination du ratio pluie-éclair. Notons que les échelles temporelles et spatiales généralement utilisées sont respectivement d'un mois et de 0,1° × 0,1° autour de la station pluviométrique de référence (Soriano et al, 2001 ; Kar et al, 2003).

Ainsi, dans le cadre de cette étude, le ratio pluie-éclair a été défini comme le rapport entre la pluie cumulée sur un mois et le nombre d'éclairs CG enregistré sur une superficie de 100 km² autour

du pluviographe considéré. Pour le calcul de ces ratios, la distribution spatiale des précipitations a été supposée uniforme sur l'aire délimitée autour du pluviographe (Soriano et al, 2001).

Plusieurs études (Tapia et al, 1998, Soriano et al, 2001, Kar et al., 2003) ont montré que les précipitations convectives peuvent être estimées à partir du ratio pluie-éclair. Dans ces études, les précipitations enregistrées sur un mois sont considérées comme convectives, lorsque le ratio pluie-éclair de ce mois est trois fois inférieur aux ratios pluie-éclair des mois précédents, à la fois à la station où les précipitations ont été enregistrées et aux stations environnantes. La même démarche a été adoptée dans la présente étude pour estimer les précipitations convectives à l'échelle du pluviographe. Pour ce faire, huit pluviographes ont été choisis sur la base de leur proximité avec les stations LINET.

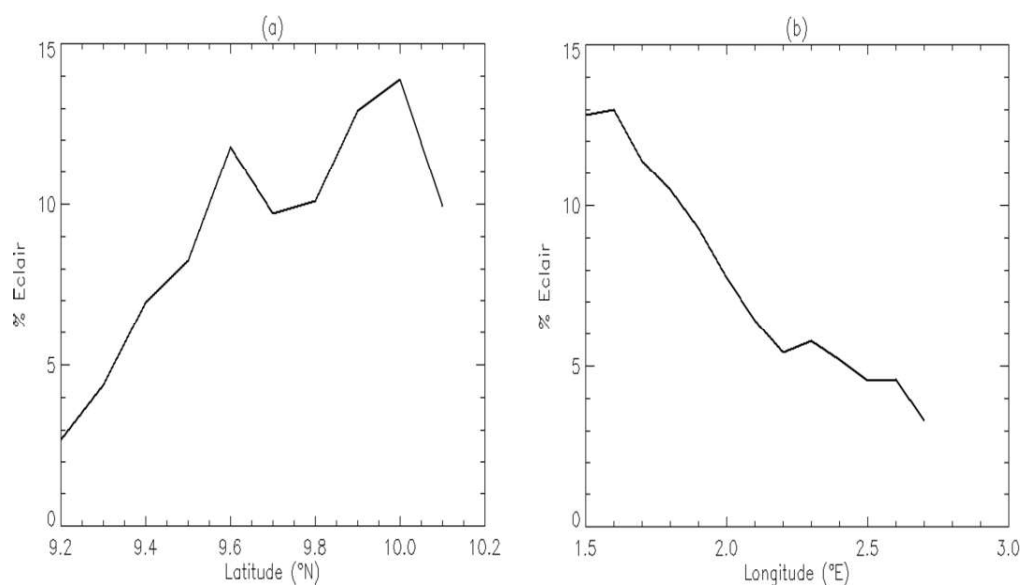
3. Résultats et Discussions

3.1. Distribution Spatio-Temporelle des Eclairs Nuage-Sol et des Précipitations

3.1.1. Distribution Spatiale de L'activité des Eclairs Nuage-Sol et Répartition des Précipitations

La figure 2a présente l'évolution du nombre d'éclairs CG en fonction de la latitude. Il apparaît que le nombre d'éclairs augmente avec la latitude. La bonne corrélation ($R = 0,95$) qui existe entre le nombre d'éclairs CG et la latitude confirme cette observation. Cette évolution peut s'expliquer par la présence de la chaîne montagneuse de l'Atacora au Nord-Ouest de l'OHHVO. Cette influence de l'orographie sur l'occurrence des éclairs CG a également été soulignée par Soriano et al. (2002) sur la Péninsule Ibérique en Espagne. Ces auteurs ont trouvé une forte occurrence des éclairs CG dans les zones montagneuses avec un coefficient de corrélation de 0,93.

Figure 2: Evolution de l'effectif (en pourcentage) des éclairs CG, (a) en fonction de la latitude, (b) en fonction de la longitude.

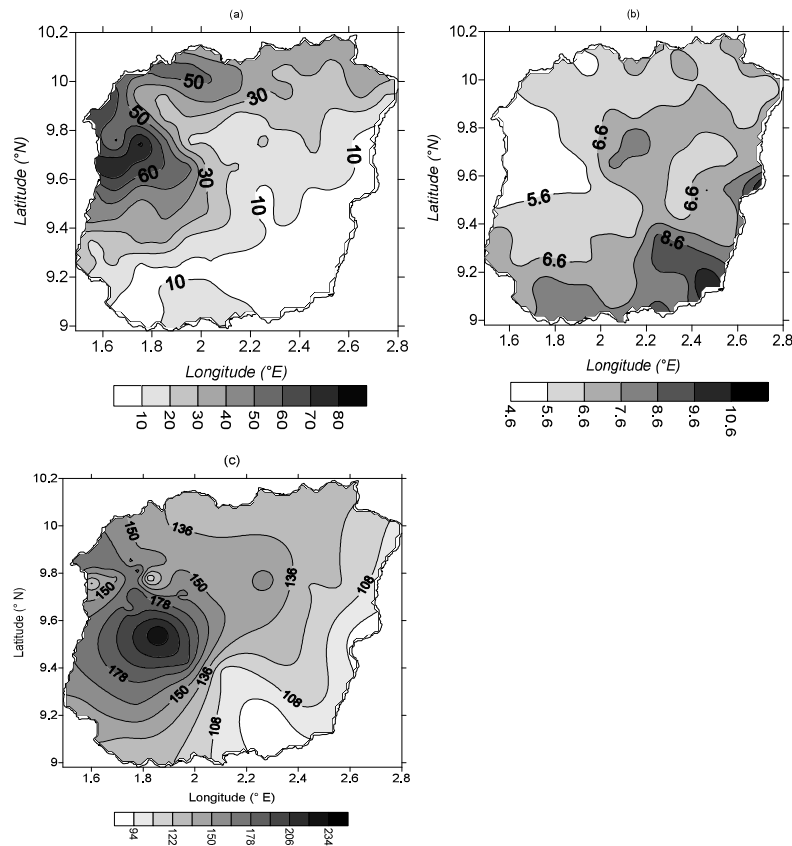


Cette influence de la chaîne de l'Atacora sur le nombre d'éclairs est également visible lorsqu'on évolue de l'Est vers l'Ouest de l'OHHVO (Figure 2b). La corrélation entre le nombre d'éclairs CG et la longitude est de -0,97.

La Figure 3a montre la distribution spatiale de la densité des éclairs CG sur l'ensemble du domaine d'étude. La densité moyenne des éclairs CG sur la zone d'étude est de 26 fl / km². La région Nord-Ouest est celle qui enregistre la plus forte densité d'éclairs. Cette forte densité d'éclairs dans la région Nord-Ouest confirme l'influence de la chaîne de l'Atacora sur l'occurrence des éclairs. Par

ailleurs, la configuration des vents de basses altitudes peut également influencer la variabilité spatiale de la densité des éclairs CG (Doukouré, 2011).

Figure 3: Distribution spatiale pendant toute la période d'analyse: (a) de la densité des éclairs CG (fl/km^2), (b) de l'amplitude moyenne du courant de décharge des éclairs CG (kA/km^2), (c) du cumul mensuel moyen des précipitations.



La Figure 3b présente la carte de l'amplitude moyenne du courant de décharge des éclairs CG, pour un maillage de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. L'intensité moyenne des éclairs CG est plus élevée dans la région Sud-Est que dans la région Nord-Ouest de l'OHHVO. Cette répartition spatiale de l'amplitude moyenne du courant de décharge des éclairs CG est contraire à celle de leur densité. Cette observation se rapproche des résultats obtenus par Oliveira et al. (2011), à São Paulo au Sud-Est du Brésil. Ces auteurs ont montré que pendant l'été, les régions où il pleut abondamment ont une densité d'éclairs élevée mais avec de faibles intensités.

Etant donné que les précipitations et les éclairs sont deux phénomènes liés au nuage d'orage, il est important d'examiner aussi la répartition spatiale des précipitations. L'analyse de l'organisation spatiale des champs de précipitations mensuelles de l'année 2006 (Figure 3c), montre un gradient Est-Ouest peu marqué. La zone Nord-Ouest semble être plus arrosée en 2006 que la zone Sud-Est. Ce résultat confirme celui de Lawin et al. (2010), qui ont mis en évidence un gradient longitudinal Est-Ouest dont la valeur moyenne est de $1,4 \text{ mm}/\text{km}$. En effet, les montagnes peuvent créer des zones de convergences alimentées en chaleur favorisant ainsi le développement des orages (Soriano et al, 2002). La répartition spatiale des précipitations sur l'OHHVO peut être aussi liée aux perturbations du Jet d'Est Africain, qui joue un rôle dominant dans l'organisation des pluies dans les systèmes convectifs de méso-échelle (Diedhiou et al, 1999).

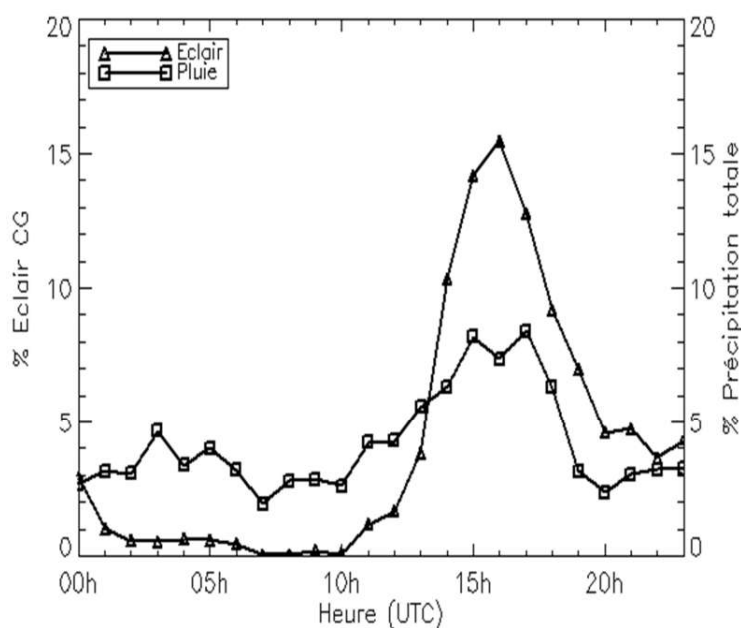
3.1.2. Distribution Temporelle de L'activité des Eclairs Nuage-Sol et des Précipitations

Sur la Figure 4 est représentée l'évolution de l'effectif moyen (en pourcentage) des éclairs CG en fonction de l'heure de la journée.

D'une manière générale, on remarque que le maximum d'éclairs CG est enregistré dans l'après-midi. L'activité électrique des éclairs CG est faible la nuit et la matinée. La majorité de ces éclairs semble apparaître entre 14 h et 17 h (UTC) avec un pic bien remarquable à 16 h (UTC). En effet, avec le réchauffement du sol dû à l'activité solaire, la température au sol atteint sa valeur maximale autour de 15 h (UTC) (Doukouré, 2011). Le sol qui devient donc très chaud, entraîne une montée d'air chaud, favorisant ainsi de fortes convections localisées, et donc la formation de cellules orageuses. Ce maximum d'éclairs CG atteint à 16 h (UTC) peut être aussi lié au déplacement vers le centre Nord du Bénin, de grands clusters d'orages, qui ont été formés dans l'après-midi dans les régions montagneuses au-dessus du centre du Nigéria (Fink et al., 2006). A partir de 17 h (UTC), on assiste à une baisse significative de l'activité électrique jusqu'à 22 h (UTC), où elle connaît à nouveau, une légère augmentation. L'activité électrique observée dans la nuit peut s'expliquer par le maintien d'une forte instabilité convective, longtemps après le coucher du soleil sur l'OHHVO. Signalons que l'intensité moyenne horaire varie entre 6 et 11kA environ. Le matin, elle fluctue beaucoup. On note les plus fortes valeurs de l'intensité moyenne entre 6 h et 10 h (UTC) avec le pic le plus important de 11 kA atteint à 10h (UTC).

La Figure 4 montre aussi que l'évolution horaire des précipitations se rapproche de celle des éclairs CG sur l'OHHVO. Les plus faibles cumuls de précipitations sont enregistrés le matin. A partir de 11 h (UTC), les précipitations augmentent progressivement et atteignent leurs valeurs maximales entre 16 h et 17 h (UTC). On observe juste après, une baisse significative des précipitations jusqu'à 20 h (UTC), puis une remontée lente tard dans la nuit. Cette variabilité temporelle est liée aux perturbations de la circulation générale de l'atmosphère, lesquelles conditionnent le taux de vapeur d'eau et les facteurs de formation des nuages (Doukouré, 2011).

Figure 4: Evolution horaire de l'effectif des éclairs CG et des précipitations sur l'OHHVO pendant la mousson de 2006.



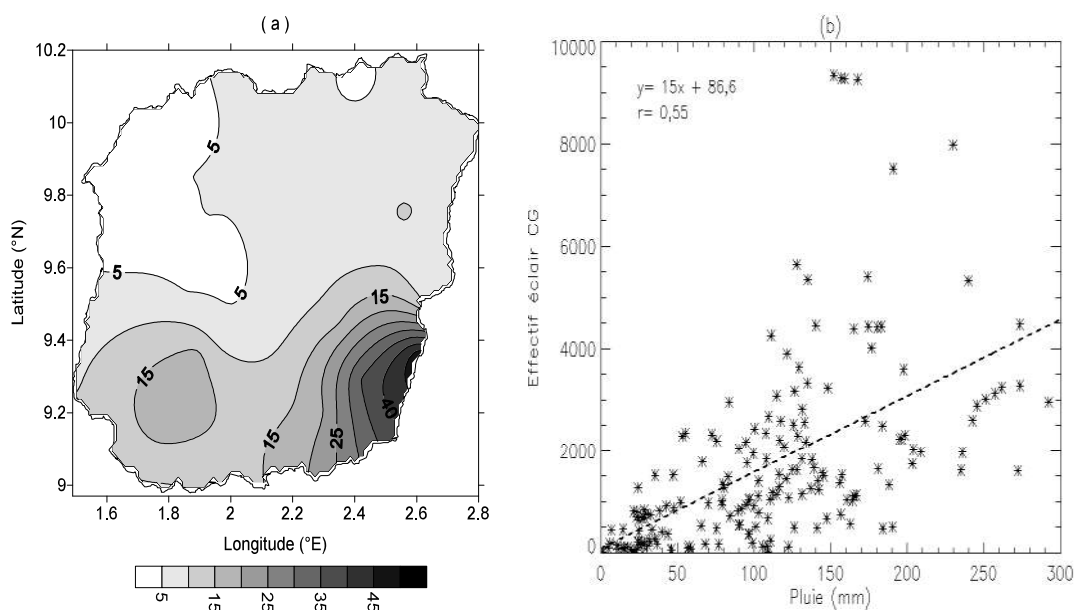
3.2. Relation Entre Précipitations et Eclairs Nuage-Sol

Les relations entre l'activité électrique des éclairs CG et les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité (Katsanos et al, 2006). Ces relations dépendent de la position, du type et du stade de développement du nuage, de la technique utilisée pour mesurer les précipitations, du type d'éclair considéré et d'autres facteurs météorologiques (Rakov and Uman, 2003). Les valeurs du ratio pluie-éclair trouvées dans la littérature, varient de moins de 10^7 kg/fl, sur le continent et dans les régions arides, à $3000 \cdot 10^7$ kg/fl dans les régions océaniques (Bert et al, 2009).

Sur l'OHHVO, les valeurs du ratio pluie-éclair calculées à partir des précipitations varient entre $1,5 \cdot 10^7$ kg/fl et $49 \cdot 10^7$ kg/fl, avec une moyenne de $7,2 \cdot 10^7$ kg/fl pour toute la période d'analyse. Ces valeurs sont comparables à celles trouvées dans la littérature (Soula et al, 2001). La Figure 5a montre la distribution spatiale des valeurs du ratio pluie-éclair calculé pour les 49 pluviographes utilisés. Ces valeurs du ratio pluie-éclair augmentent graduellement de l'Ouest à l'Est et du Nord au Sud de l'OHHVO. Les plus fortes valeurs sont trouvées dans la zone Sud-Est alors que les plus faibles valeurs sont signalées au Nord-Ouest de l'OHHVO. Cette distribution spatiale du ratio pluie-éclair est en accord avec la répartition spatiale des éclairs CG et des précipitations totales (Figure 3). En effet, le climat de notre zone d'étude se rapportant à celle d'une région tropicale, il est influencé par le passage de la zone de convergence intertropicale. A mesure que l'on s'éloigne du Sud, la couche d'air humide s'épaissit, les cumulus deviennent plus abondants, les précipitations augmentent, et les vents d'Est dirigent les perturbations vers l'Ouest (Vyve, 2006). De plus, la position de la chaîne de l'Atacora influence, non seulement la quantité des précipitations, mais aussi leur distribution spatiale.

Nous avons représenté sur la Figure 5 b, les effectifs des éclairs CG en fonction des cumuls mensuels des précipitations correspondants. Le coefficient de corrélation entre les éclairs CG et les précipitations sur l'OHHVO pendant toute la période d'analyse est de 0,55. Ce coefficient est atténué par les précipitations stratiformes. En effet, après l'arrêt des derniers coups d'éclairs CG, les pluviographes continuent d'enregistrer de faibles pluies qualifiées de stratiformes. Notons toutefois que la valeur du coefficient de corrélation trouvée dans cette étude entre les précipitations et les éclairs CG, est comparable à celle trouvée par Kar et al. (2003). Ces auteurs ont trouvé un coefficient de corrélation de 0,54 entre les éclairs CG et les précipitations pendant la période de mousson en Corée du Sud.

Figure 5: (a) Distribution spatiale du ratio pluie-éclair (en 10^7 kg/fl) sur des grilles de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ pendant la mousson de 2006, (b) évolution de l'effectif des éclairs CG en fonction des cumuls mensuels de précipitation totale correspondants.



3.3. Estimation des Précipitations Convectives

Le Tableau 1 présente les coordonnées géographiques, les valeurs du ratio pluie-éclair total, les valeurs du ratio pluie-éclair convectif, ainsi que les pourcentages des précipitations convectives pour les huit stations pluviographiques sélectionnées. Les valeurs présentées dans le Tableau 1 donnent une idée générale sur la relation entre éclairs CG et précipitations convectives sur l'OHHVO. Il ressort de l'analyse de ce Tableau que le pourcentage moyen de précipitations convectives est maximal à l'Ouest de l'OHHVO. En effet, le maximum de précipitations convectives survient à Djougou (au Nord-Ouest de l'OHHVO) alors qu'on note le minimum à Bembèké (au Nord-Est).

Tableau 1: Pourcentages de précipitations convectives estimés à partir des ratio pluie-éclair convectifs sur 8 stations pluviographiques.

Zone	Station [lon, lat]	Ratio pluie-éclair total (10^7 kg/fl)	Ratio pluie-éclair convectif (10^7 kg/fl)	Pourcentage de pluie convective	Pourcentage moyen
Nord-Ouest	Djougou (1,66 ; 9,69)	2,40	1,34	56	50
	Bimi (1,53 ; 9,99)	3,11	1,38	44	
Sud-Ouest	Sarmanga (1,77 ; 9,21)	18,50	7,75	42	40,5
	Pénésolou (1,55 ; 9,23)	10,20	3,95	39	
Nord-Est	Bembèké (2,67 ; 10,23)	6,75	0,70	10	22
	Ina ceta (2,72 ; 9,96)	8,01	2,73	34	
Sud-Est	Bétérou (2,27 ; 9,20)	17,50	5,05	29	21,5
	Koukoubou (2,42 ; 9,29)	5,65	0,70	12	

4. Conclusion

Dans cette étude, nous avons présenté la relation entre les éclairs nuage-sol et les précipitations pendant la mousson de 2006 sur l'OHHVO, au Bénin. Cette relation a été quantifiée après une analyse de la distribution spatio-temporelle des éclairs CG et des précipitations dans la zone.

En somme, le domaine d'étude est régulièrement soumis à des épisodes de fortes pluies et de foudroiements intenses pendant la période de mousson. L'effet orographique induit par la présence de la chaîne de l'Atacora à l'Ouest de l'OHHVO influence la distribution spatiale des éclairs CG et des précipitations. La densité moyenne des éclairs CG sur toute la zone est de 26 fl/km^2 . Le nombre d'éclairs CG croît globalement avec la latitude du Sud au Nord de l'OHHVO, mais décroît avec la longitude de l'Ouest à l'Est. Il apparait une tendance générale où, plus il y a d'impacts au sol, moins leur amplitude est élevée. Aussi, l'évolution diurne des éclairs CG et celle des précipitations semblent-elles suivre la même dynamique avec les pics d'éclairs et de précipitations atteints dans l'après-midi.

La relation entre les éclairs nuage-sol et les précipitations a été quantifiée en utilisant le ratio pluie-éclair défini comme le rapport entre la masse de précipitation et le nombre d'éclairs nuage-sol, sur un espace commun. Ce rapport est calculé avec une échelle temporelle de 1 mois et une résolution spatiale de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ autour de chaque station pluviographique. Les valeurs du ratio pluie-éclair obtenues varient entre $1,5 \cdot 10^7 \text{ kg/fl}$ et $49 \cdot 10^7 \text{ kg/fl}$ avec une moyenne de $6,36 \cdot 10^7 \text{ kg/fl}$. Les plus faibles valeurs de ce ratio sont observées au Nord-Ouest de l'OHHVO (région de Djougou) alors que les plus fortes valeurs sont obtenues au Sud-Est de l'OHHVO (région de Parakou). Le coefficient de

corrélation entre les éclairs CG et les précipitations et sur l'OHHVO pendant la moussoon de 2006 est de 0,55. Cette valeur est atténuée par la prise en compte des précipitations stratiformes dans les calculs.

La part des précipitations convectives sur les précipitations totales a été estimée à partir du ratio pluie-éclair sur huit pluviographes. Le pourcentage moyen de précipitations convectives obtenu est de 50 % au Nord-Ouest; 40 % au Sud-Est; 22 % au Nord-Est et 21 % au Sud-Ouest de l'OHHVO. Notons toutefois, que la taille de notre échantillon est limitative et donc les données d'observations futures permettront d'affiner nos analyses.

Références

- [1] Battan J. L., 1965. "Some factors governing precipitation and lightning from convective clouds". *J. Atmos. Sci.*, 22, pp. 79–84.
- [2] Bert H. D., 2009. "Lightning: Principles, Instruments and Applications". *Springer Science+Business Media B.V.* DOI 10.1007/978-1-4020-9079-0 20.
- [3] Carey L.D., and S. A. Rutledge, 2000. "The relationship between precipitation and lightning in tropical island convection: a C-band polarimetric radar study", *Mon. Wea. Rev.*, 128, pp. 2687 – 2710.
- [4] Diedhiou A., Janicot S., Viltard A., de Felice P. and H. Laurent, 1999. "Easterly wave regimes and associated convection over West Africa and tropical atlantic : Results from the NCEP/NCAR and ECMWF reanalyses". *Clim. Dyn.* 15, pp. 795-822.
- [5] Doukouré M., 2006. "Variabilité des flux turbulents de surface au sein du bassin versant d'ARA au Bénin". *Thèse de Doctorat*, Université de Grenoble, 146p.
- [6] Fink A. H., Vincent D. G. and V. Ermert, 2006. "Rainfall Types in the West African Sudanian Zone during the Summer Monsoon 2002". *American Meteorological Society*, 134, pp. 2143-2164.
- [7] Holle, R.L., Watson A.I., López R.E., MacGorman D.R., Ortiz R., and W. D. Otto, 1994. "The life cycle of lightning and severe weather in a 3-4 June 1985 PRE-STORM MCS". *Mon. Wea. Rev.* 122, pp. 1798-1808.
- [8] Höller H., Betz H. D., Schmidt K., Calheiros R. V., May P., Houngninou E. and G. Scialom, 2009. "Lightning characteristics observed by a VLF/LF lightning detection network (LINET) in Brazil, Australia, Africa and Germany". *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, pp. 7795–7824.
- [9] Kar S. K. and H. Kyung-Ja, 2003. "Characteristic Differences of Rainfall and Cloud-to-Ground Lightning Activity over South Korea during the Summer Monsoon Season". *Mon. Wea. Rev.*, 131, pp. 2312-2323.
- [10] Lawin, A. E., 2007. "Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la haute vallée de l'Ouémé à partir des coordonnées pluviographiques AMMA-CATCH Benin". *Thèse de Doctorat*, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- [11] Lawin, A. E., Afouda A., Gosset M. And Th. Lebel, 2010. "Caractéristiques événementielles des pluies en zone soudanienne: apport des données à haute résolution AMMACATCH à l'analyse de la variabilité de la moussoon Ouest africaine en climat soudanien". *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*. 13 (1), pp. 1-22.
- [12] Le Lay M. and S. Galle, 2005. "Variabilité interannuelle et intra-saisonnière des pluies aux échelles hydrologiques. La moussoon ouest-africaine en climat soudanien". *Journal des Sciences Hydrologiques* 50, pp. 509-524.
- [13] Oliveira R. A. J. and E. V. Mattos, 2011. "The Spatial-Temporal Relationship between Cloud-to-Ground Lightning and Precipitation Distributions in the State of São Paulo". *XIV International Conference on Atmospheric Electricity*, Rio de Janeiro, Brazil.
- [14] Petersen, W. A. and S. A. Rutledge, 1998. "On the relationship between cloud-to-ground lightning and convective rainfall". *J. Geophys. Res.*, 103, pp. 14025–14040.

- [15] Piepgrass, M. V., E. P. Krider and C. B. Moore, 1982. "Lightning and surface rainfall during Florida thunderstorm", *J. Geophys. Res.*, 87, pp. 11193-11201.
- [16] Rakov V.A. and M. A. Uman, 2003. "Lightning. Physics and Effects". *Cambridge University Press*, pp. 1-20.
- [17] Sheridan, S. C., Griffiths J. F., and R. E Orville, 1997. " Warm Season Cloud-to-Ground Lightning–Precipitation Relationships in the South-Central United States". *Weather And Forecasting*, 12, pp. 449-458.
- [18] Soriano, L. R., E. D. Pablo, and E. G. Diez, 2001. "Relationship between convective precipitation and cloud-to-ground lightning in the Iberian Peninsula". *Mon. Wea. Rev.*, 129, pp. 2998–3003.
- [19] Soula, S., S. Chauzy, 2000. "Some aspect of the correlation between lightning and rain activity in thunderstorm". *Atmos. Res.*, 56, pp. 355-373.
- [20] Takayabu, Y.N., 2006. "Rain-yield per flash calculated from TRMM PR and LIS data and its relationship to the contribution of tall convective rain". *Geophys. Res. Lett.*, 33, L18705, doi:10.1029/2006GL027531.
- [21] Tapia, T., J. A. Smith and M. Dixon, 1998. "Estimation of convective rainfall from lightning observations". *J. Appl. Meteor.*, 37, pp. 1497–1509.
- [22] Vyve, V.N., 2006. "Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la pluie au Fakara, Niger". *Travail de fin d'études pour l'obtention du grade de bio-ingénieur*.
- [23] Zhou, Y., X. Qiel, and S. Soula, 2001. "A study of the relationship between cloud-to-ground lightning and precipitation in the convective weather system in China". *J. Annales Geophysicae.*, 20, pp. 107–113.