

RELATIONS ENTRE RELIEF, SYSTEMES CONVECTIFS ET PRECIPITATION DANS LE FOUTA DJALLON EN GUINEE

S.M. SALL, A.T. GAYE

*Laboratoire de Physique de l'Atmosphère Siméon Fongang,
Ecole Supérieure Polytechnique, BP 5085 Dakar, Sénégal.
E-mail : smsall@ucad.sn*

Résumé

Dans le but de mieux comprendre l'influence de l'orographie sur la dynamique des précipitations en Afrique, nous avons observé simultanément les précipitations journalières et la dynamique des systèmes convectifs au niveau des montagnes du Fouta Djallon en Guinée.

Nous avons ainsi calculé la densité d'apparition et de disparition de ces systèmes en fonction de la hauteur du relief, ainsi que l'évolution de la taille, de la température minimale, de l'écart entre la température maximale et minimale et de la variation diurne de ces systèmes. Ces résultats montrent que le Fouta Djallon stimule les systèmes convectifs. L'analyse de l'énergie statique humide et de l'énergie statique saturée montre que l'atmosphère au-dessus des montagnes est fortement perturbée. Cependant, à cause de l'importance de leur vitesse moyenne, les systèmes convectifs sont entraînés à l'Ouest où ils donnent beaucoup de précipitations.

Abstract

With the goal better understand the influence of African mountain on dynamic rainfall, we have simultaneously observed the daily rainfall and dynamic of convective systems over the Fouta Djallon mountains in Guinée.

We have computed the density of apparition and clearing the systems according to height of mountain, the size evolution, the minimal temperature, the difference between maximum and minimum temperature and diurnal variation of systems. These result show that de mountain is a potential source of convective systems. The analysis of static humid energy and static humid saturated energy show that the atmosphere over the mountain is very disrupt. However, the importance of average speed of convective systems is one cause of their movement from west were we give much rainfall.

Mots-clés : Relief, systèmes convectifs, pluie, réanalyses, suivi automatique

Keywords : Mountain, convective systems, rainfall, reanalyses, automatic tracking

Introduction

L'utilisation simultanée des images du canal infrarouge du satellite Météosat, de données pluviométriques et des réanalyses du modèle du NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) a permis de suivre à grande échelle spatiale l'évolution temporelle des systèmes convectifs de méso-échelle et la distribution spatio-temporelle des précipitations autour des montagnes du Fouta Djallon en Guinée ; ceci dans le but de mieux comprendre l'influence de l'orographie sur la dynamique des précipitations en Afrique de l'Ouest. Les pluies journalières montrent des écarts importants de précipitations autour de ces montagnes. La problématique sur le rôle de l'orographie est importante pour la prévision opérationnelle dans cette région.

De nombreuses études ont été réalisées dans le but de décrire les caractéristiques de ces systèmes convectifs qui semblent se générer dans les régions où existent des accidents de relief : plateaux, collines ou massifs montagneux (Houze (1977), Martin et Schreiner (1981), Desbois et al. (1989), Arlene et al. (1993), Rowell et Milford (1993), Sali et al. (1999)). Cependant le rôle de l'orographie dans l'activité des précipitations en Afrique de l'Ouest n'est toujours pas bien connu.

Ce travail entreprend d'expliquer les variations pluviométriques observées entre les versants Est et Ouest du Fouta Djallon. Dans la première partie, nous présentons les données et méthodes d'analyse et dans la deuxième partie, les résultats et discussions.

1. Données et méthodes

1.1. Suivi des systèmes convectifs

Le suivi des nuages a commencé avec l'arrivée des premiers satellites géostationnaires de la série ATS (Application Technology Satellites) en 1966. C'est ainsi que Fujita et al. (1968) et Fujita (1969) ont déterminé le champ de vent à l'aide du déplacement des nuages en utilisant des séquences de photographies. Endlich et al. (1971) utilisant des images digitalisées sur lesquelles ils repèrent des centres de brillance arrivent à obtenir des vecteurs de déplacement des nuages par la technique ISODATA (Itérative Self-Organising Data Analysis) développée par Bail et Hall (1976). Cependant cette étude a été limitée par l'impossibilité d'affecter une altitude aux nuages, puisque les satellites de cette époque ne disposaient pas de capteurs infrarouges. Avec l'apparition du satellite géostationnaire SMS-GOES, les études précédentes ont été relancées et le canal infrarouge donnant accès à l'altitude du sommet du nuage est mis à profit. Wolf et al. (1977) présentent une amélioration de la première méthode de suivi automatique établie par Endlich et al. (1971) qui utilisait l'algorithme ISODATA. Au cours des années 1970, d'autres techniques manuelles ou semi-manuelles ont vu le jour (Bauer, 1976 ; Novak et Young, 1976). Les inconvénients majeurs de ces techniques sont le temps nécessaire pour effectuer un suivi et la dépendance des résultats à l'opérateur.

Dans le travail qui suit, nous utilisons les images du canal Infrarouge (10.5 à 12.5 (m) du satellite METEO SAT à la résolution temporelle d'une image toutes les 30 minutes et de résolution spatiale 5 km x 5 km au nadir point subsatellite. La fréquence élevée de ces images offre un bon échantillonnage du déplacement et de la modification continue des nuages au cours du temps. Ainsi il existe une surface en commun entre le même nuage sur deux images successives qui est la base de la méthode que nous utilisons, développée par Laurent (1996) et qui s'inspire de celle de Arnaud et al. (1992). L'algorithme de la méthode est composé de deux parties différentes : la méthode directe qui permet de détecter les divisions d'amas et la méthode inverse par laquelle les fusions d'amas sont repérées.

L'identification des masses nuageuses se fait par un seuillage dans le canal infrarouge. La structure des nuages dépendra donc du seuil choisi. En climat sahélien, le seuil -40°C est souvent utilisé pour séparer les nuages pluvio-gènes des autres. Ce seuil a été défini à partir des travaux d'Arkin (1979) qui a établi une relation entre la quantité de pluie cumulée et l'aire couverte par le nuage pour différents seuils de température donnés. Les résultats révèlent un coefficient de corrélation maximum pour un seuillage à 10 km d'altitude, qui correspond à l'isotherme 235 K (figure 1). En tenant compte de ce résultat et afin de minimiser les erreurs liées aux petits amas, aux nuages stratiformes et aux systèmes de courte durée de vie, les critères suivants sont retenus pour caractériser les Systèmes Convectifs :

- Température inférieure à -40°C
- Taille équivalente à un disque de rayon supérieur à 100 km
- Durée de vie supérieure ou égale à 3h

Dans la zone d'étude, qui s'étend entre les longitudes 25° Ouest et 20° Est et les latitudes 0° et 20° Nord, zone couvrant l'essentiel du relief Ouest Africain, les Systèmes Convectifs ont été suivis en automatisant la procédure présentée ci-haut.

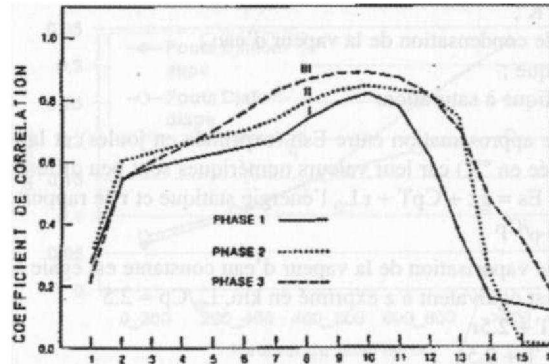


Figure 1 : Coefficient de corrélation entre la quantité de pluie cumulée sur 6 heures et la fraction recouverte par les nuages pour la zone d'étude de GATE, en fonction du seuil de radiance correspondant à une hauteur donnée de nuage (d'après Arkin, 1979).

1.2. Structure énergétique autour du relief

Dans le but d'estimer l'importance des mouvements descendants et ascendants qui caractérisent la dynamique des systèmes convectifs, nous avons calculé les valeurs moyennes de l'énergie statique humide (Esh) et à saturation (Eshw) pour chaque zone autour de la montagne (voir figure 2). Chacune des deux grandeurs représente la somme de trois termes : l'énergie potentielle, la chaleur sensible et la chaleur latente.

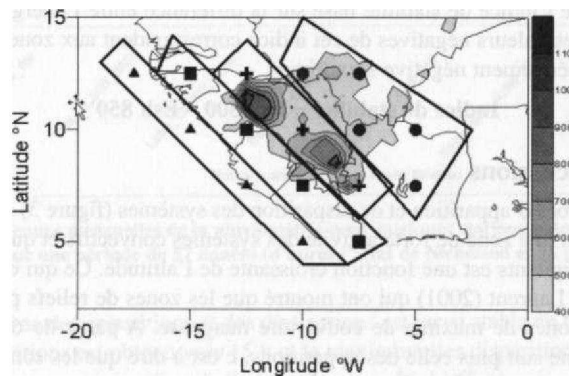


Figure 2 : Zones choisies autour du Fouta Djallon et les points de grille pour l'analyse des données du NCEP, zone située à l'est de l'axe des montagnes (09), au dessus du relief (X), l'ouest des montagnes sur terre (•) et sur mer

Ces quantités sont exprimées par les équations :

$$Esh = gz + CpT + Lq$$

$$Eshw = gz + CpT + Lq_w$$

Où

z : altitude en km ;

g : accélération de la pesanteur ;

Cp : chaleur spécifique de l'air à pression constante ;

T : température en °K ;
 L : chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau ;
 q : humidité spécifique ;
 q_w : humidité spécifique à saturation.

Nous avons fait une approximation entre Esh (exprimée en joules) et la température potentielle équivalente @_e (exprimée en °K) car leur valeurs numériques sont peu différentes. En effet :

@_e = Es/Cp avec Es = gz + CpT + r. L₀ l'énergie statique et r le rapport de mélange.
 0_e = gz/Cp + T + r.L₀/Cp

La chaleur latente de vaporisation de la vapeur d'eau constante est égale à L₀ = 2508 j /g
 g = 9.8 m/s², z/Cp est équivalent à z exprimé en km, **hJCP** ~ 2.5

On a : @_e = 9.8z + T + 2.5r

D'où : Esh - 9.8z + T + 2.5r

Eshw » 9.8z + T + 2.5r_w

Ces grandeurs ont été calculées à partir des données de ré analyses du modèle du NCEP où : z représente l'altitude géopotentielle, T la température et r l'humidité spécifique. Nous avons exprimé r_w à partir de la relation suivante :

r_w = 100r/ H où H représente l'humidité relative, déterminée par l'équation :

H = 100P/0.622/re_w P étant le niveau

ew = (exp(A+2.433502.ln(T) + 21.2409642))/100

où A = -6096.9385/T - 0.02711193T + 0.0000167395T²

La structure perturbée de l'atmosphère correspond à un gradient vertical (surface - couches moyennes) minimal de ces grandeurs qui indique la tendance à l'homogénéisation verticale qui caractérise une tour chaude (Dhonneur, 1984).

Nous avons calculé l'indice de stabilité basé sur la différence entre l'énergie statique à 500 et à 850 hPa. Les plus fortes valeurs négatives de cet indice correspondent aux zones perturbées.

Cette quantité, généralement négative s'exprime :

$$\text{Indice de stabilité} = \text{Esh 500} - \text{Esh 850}$$

2. Résultats et discussions

L'examen des courbes d'apparition et de disparition des systèmes (figure 3) montre que le versant Est du Fouta Djallon est une zone de forte activité des systèmes convectifs et que la densité d'apparition des systèmes précipitants est une fonction croissante de l'altitude. Ce qui est en accord avec les résultats de Mathon et Laurent (2001) qui ont montré que les zones de reliefs principaux en Afrique correspondent à des zones de maxima de couverture nuageuse. A partir de 600 km, la courbe de densité de disparition ne suit plus celle des apparitions, c'est à dire que les sommets des montagnes du Fouta sont favorables à l'initiation des systèmes, mais ces systèmes vont se dissiper à l'Ouest de l'axe du relief. Les données de l'atlas de Nicholson et al. (1988) montrent que la pluviométrie sur le sommet de ce relief n'est guère plus élevée que sur les autres parties (figure 4). On observe sur cette figure que les stations sur les bordures continentales, sous l'influence des brises de mer recueillent une quantité importante de précipitations.

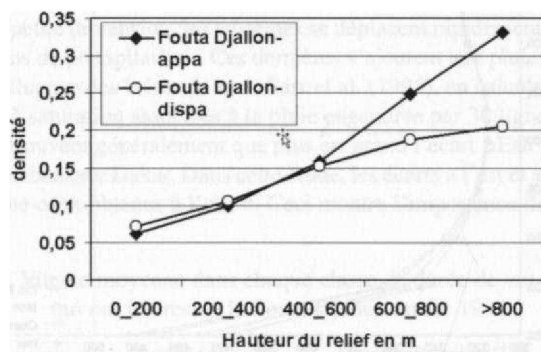


Figure 3 : Densité d'apparition et de disparition des systèmes précipitants en se déplaçant d'Est en Ouest jusqu'au sommet du relief du Fouta Djalon de 1989 à 1998.

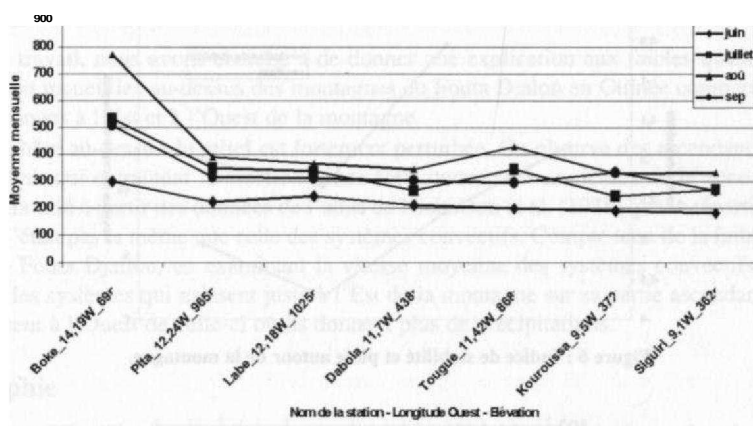


Figure 4 : Moyennes mensuelles de la pluviométrie pour quelques stations autour du Fouta Djalon pour une période de 57 années (d'après l'atlas de Nicholson et al. (1998)).

La variation diurne des apparitions et des dissipations est quasi stable en fonction de l'altitude. Le maximum des apparitions est obtenu vers 15 h et le maximum des disparitions vers 18 h. On observe également un nombre assez significatif d'apparition vers 01 h. Ce dernier est plus marqué sur les zones de faible altitude autour des reliefs. Entre 0 et 200 m d'altitude, la taille des systèmes convectifs croît de 640 km² à 1157 km² ; ensuite elle décroît en fonction de l'altitude jusqu'à 806 km². L'examen du nombre de présence des maxima de la taille en pourcentage du nombre d'apparition sur chaque niveau d'altitude montre que les systèmes précipitants mettent plus de temps sur les zones du relief vers 200 km d'altitude. La température minimale dans les systèmes décroît en fonction de la latitude jusqu'à 300 km. Puis elle se stabilise autour de -71.5 °C. L'écart entre les températures maximales et minimales est presque constant. Indépendant du relief, il avoisine 30°C.

Les profils verticaux de l'énergie statique humide autour de la montagne (figure 5) et l'indice de pluie (figure 6) montrent que l'atmosphère à l'est et au-dessus de la montagne est plus perturbée que sur les autres régions. Dans ces zones fortement perturbées, l'air chaud et humide des basses couches est transporté vers le haut. Cette ascendance entraîne la formation des nuages précipitants (figure 7).

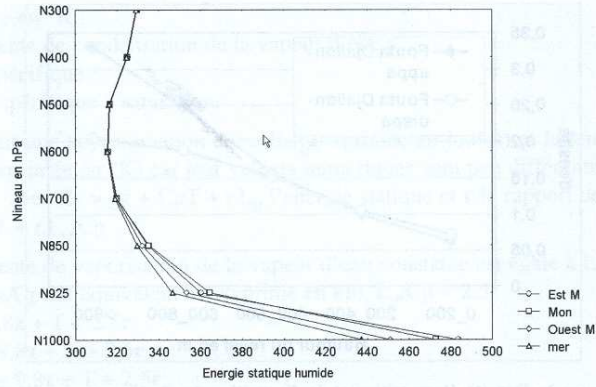


Figure 5 : Energie statique humide autour de la montagne.

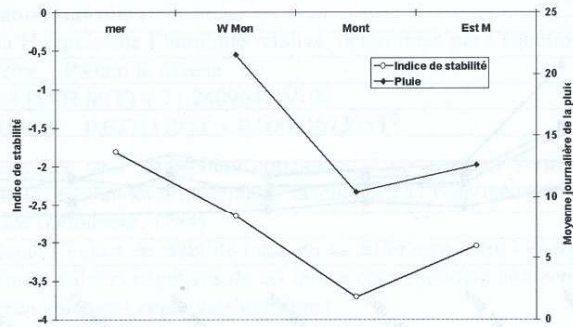


Figure 6 : Indice de stabilité et pluie autour de la montagne.

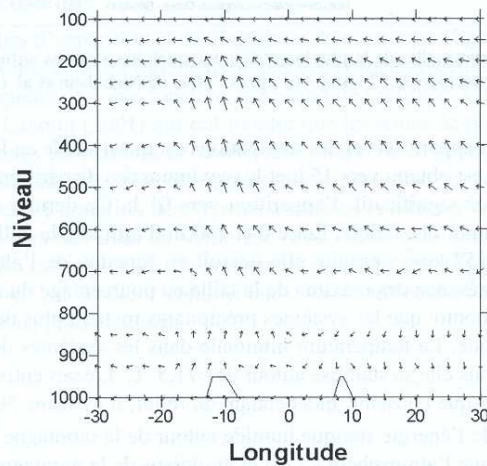


Figure 7 : Direction de la résultante entre le vent vertical (Pa/10mn) et le vent zonal (m/s) sur la latitude 10°N de 30°W à 30°E, au dessus du Fouta Djalon (10°W) et le plateau de Jos (8°E) moyenne du mois d'août.

Ces systèmes se propagent avec des vitesses moyennes suffisamment élevées (tableau 1). Le relief de Fouta Djallon étant de petite dimension, les systèmes se déplacent rapidement vers l'Ouest de la montagne où ils donnent plus de précipitations. Ces dernières s'ajoutent aux pluies reçues sur les bordures continentales sous l'influence des brises de mer. Sarr et al. (1995), en calculant les valeurs de l'énergie statique humide et à saturation associées à la pluie engendrée par 30 lignes de grains en direction de la région de Dakar, trouvent généralement que plus est grand l'écart $AE_{sh} = E_{shsol} - E_{shmin}$, plus fortes sont les pluies tombant sur Dakar. Dans cette étude, les écarts à l'est et au-dessus des montagnes sont plus importants que ceux obtenus à l'ouest. Ceci montre l'importance des pluies liées aux effets de brise.

Tableau 1 : Vitesse moyenne dans chaque classe de durée de vie des systèmes qui ont intéressés le Fouta Djallon en été 1994.

durée de vie	durée_vie<=3h	3h<durée_vie< 10h	durée_vie>10h
Vitesse moyenne (m/s)	10,37	11,49	15,58

Conclusion

Dans ce travail, nous avons cherché à de donner une explication aux faibles quantités de pluie habituellement recueillies au-dessus des montagnes du Fouta Djallon en Guinée comparée aux précipitations obtenues à l'Est et à l'Ouest de la montagne.

L'atmosphère au-dessus du relief est fortement perturbée. On observe des ascendances marquées de masses d'air qui entraînent la création d'une forte convection au-dessus de la zone. Par ailleurs nous avons montré à partir des données de l'atlas de Nicholson et al. (1988) que la répartition des précipitations n'était pas la même que celle des systèmes convectifs. Compte tenu de la faible dimension du relief du Fouta Djallon, en examinant la vitesse moyenne des systèmes convectifs, on se rend compte que les systèmes qui naissent juste à l'Est de la montagne sur sa partie ascendante se retrouvent facilement à l'Ouest de celle-ci où ils donnent plus de précipitations.

Bibliographie

- ARKIN P. A. 1979 : The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 1382-1387.
- ARLENE G., LAING et MICHAEL FRITSCH J., 1993 : Mesoscale Convective Complexes in Africa. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2254-2263.
- ARNAUD Y., DESBOIS M., et MAIZI J., 1992 : Automatic tracking and characterization of African convective systems on Meteosat pictures. *J. Appl. Meteor.*, **31**, 443-453.
- B A L L G. H. et HALL D. J. 1976 : A clustering technique for summarizing multivariate data. *Behavioral Science*, *12*, pp 153-155.
- BAUER K. G. 1976 : A comparison of cloud motion winds with coinciding radiosonde winds. *Monthly Weather Review*, **104**, 922-931.
- DESBOIS M., KAYIRANGA T. et GNAMIEN B., 1989 : Diurnal cycle of cloudiness over tropical Africa observed from Meteosat : Geographic characterization and interannual variations. *Ann. Geophys.*, *1*, 395-404.
- DHONNEUR G 1984 : *Traité de météorologie tropicale*. Tome 1. Direction de la météorologie, France, 150 p.

