
PROBLEMATIQUE DE LA PRÉVISIBILITÉ DES JOURS PLUVIEUX PAR LES STRUCTURES ATMOSPHÉRIQUES DANS LA STATION DE DOUALA AU CAMEROUN

Auteur : Anafak Manetsa, Crescencia

Promoteur(s) : Erpicum, Michel

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement

Année académique : 2016-2017

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/3290>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Faculté des sciences

Faculté des bioingénieurs

Département des Sciences et Gestion de
l'Environnement

**PROBLEMATIQUE DE LA PRÉVISIBILITÉ DES JOURS
PLUVIEUX PAR LES STRUCTURES ATMOSPHÉRIQUES DANS LA
STATION DE DOUALA AU CAMEROUN**

Rédigé par :

ANAFAK MANETSA Créscencia

MEMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS
LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

ANNÉE ACADÉMIQUE 2016-2017

Promoteur : Pr Michel ERPICUM

Copyright

«Toute reproduction du présent document, par quelque procédé qu'avec l'autorisation de l'autorité académique de l'Université de Liège / l'Université catholique de Louvain

* L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) de l'Université de Liège / de l'Université catholique de Louvain

Le présent document n'engage que son auteur

Auteur de ce document : ANAFK MANETSA Crésencia.
 Adresse : se.crescencia@grahscorfciamanetsa@gmail.com
canafak@student.uclouvain.be; crescencia.anafak@student.uclouvain.be

Faculté des sciences

Faculté des bioingénieurs

Département des Sciences et Gestion de
l'Environnement

PROBLEMATIQUE DE LA PRÉVISIBILITÉ DES JOURS
PLUVIEUX PAR LES STRUCTURES ATMOSPHÉRIQUES DANS LA
STATION DE DOUALA AU CAMEROUN

Rédigé par :

ANAFAK MANETSA Créscencia

MEMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS
LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

ANNÉE ACADÉMIQUE 2016-2017

Promoteur : Pr Michel ERPICUM

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de mon Promoteur, le professeur Michel ERPICUM, un des doyens en climatologie, qui malgré ses occupations et son agenda très serré a accepté de diriger ce travail

Merci aux coordinateurs du Master de Spécialisation en Sciences et Gestion de l'Environnement pour les Pays en Développement Bernard TYCHON de l'Université de Liège Charles BIELDERS de l'Université Catholique de Louvain et leur assistant Antoine DENIS.

Merci à tous les enseignants du Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement pour les Pays en Développement promotion 2016-2017.

Merci à tous mes camarades de la promotion 2016 du Master de Spécialisation en Sciences et Gestion de l'Environnement pour les Pays en Développement avec qui cette année académique s'est passée sans encombre.

Un merci très chaleureux à toutes les personnes qui nous ont soutenus de loin pour que cette formation se déroule dans de bonnes conditions, il s'agit ainsi de ma famille (mon feu Père, ma mère, mes frères et sœurs) et de mes amis (Alain, Carine, Françoise, Williamide, Eliane)

Merci, enfin, à tous ceux qui ont intervenu d'une manière ou d'une autre lors de mon année académique 2016-2017.

Crésencia.

R É S U M É

Les inondations récurrentes subies depuis quelques décennies dans la capitale économique du Cameroun (ville de Douala) rendent sa population de plus en plus vulnérable. Elles arrivent aussi bien après des événements pluvieux importants ou non. Cette ville côtière au relief quasi plat, a une pluviométrie abondante, 4000 mm en moyenne par année. Les pluies sont fréquentes et il n'existe pas de véritables mois secs. En été boréal (juin, juillet et août), il pleut tous les jours avec des cumuls pluviométriques de 5 jours successifs pouvant atteindre 400 mm. Caractériser les structures atmosphériques à l'aide des radiosondages de l'aéroport de Douala selon les hauteurs d'eau récoltées entre 0.1 mm et 20 mm, 20 mm à 50 mm ou 50 mm à 100 mm, peut constituer une piste à explorer dans le but d'aider la prévision grossière des précipitations en vue d'une meilleure gestion des inondations. Il semble toutefois qu'il est loin d'être suffisant d'utiliser ces radiosondages pour améliorer la prévision de l'intensité des lames d'eau et que les caractéristiques environnementales justifient davantage l'augmentation des crues et des inondations sur le littoral camerounais.

Mots clés: Inondations, population, pluviométrie, structures atmosphériques prévisibilité, Cameroun.

A B S T R A C T

The recurrent floods in the economic capital of Cameroon (Douala) have made its population increasingly vulnerable in recent decades. These recurrent floods occur irrespective of whether there are rainfalls or not. This coastal city, with an almost flat relief, characterised by abundant rainfall, 4000 mm on average per year. The rains are frequent there and there are no real dry months. In the boreal summer (June, July and August), it may even rain every day for 5 consecutive days with a cumulative rainfall of up to 400 mm. Characterizing atmospheric structures using radiosonde at Douala airport according to the heights of water observed, generally between 0.1 mm and 20 mm, 20 mm to 50 mm or 50 mm to 100 mm, can constitute a track to be explored with the aim of forecasting rough precipitation with a view for better flood management. It seems however, that using these radiosondages to better improve our forecast on the intensity of blades of water is sufficient and that other environmental factors justify the upsurge of floods in the Littoral Region of Cameroon.

Keys word: Floods, population, rainfall, atmospheric structure, predictability precipitation, Cameroon.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT	iv
SOMMAIRE	v
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1.
DÉLIMITATION DU SUJET	1
CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	2
CONTEXTE SCIENTIFIQUE	8
OBJECTIFS	9
HYPOTHESES	10
METHODOLOGIE	10
CHAPITRE I : •TAT DES LIEUX DE L•TUDE	12
I.0. INTRODUCTION.....	12
I.1.Le Cameroun un territoire situé au fond du golfe de Guinée.....	12
I.2. Un relief essentiellement constitué de basses terres de la station de Douala.....	13
I.3. Des réalités climatiques au Cameroun schéma météorologique africain et un climat de mousson à paroxysmes pluviaux d•t• dans la station de Douala.....	14
I.4. Des formations végétales variées.....	18
I.5. Les cours d'eau de la ville de Douala.....	19
I.6. Plus de 3 millions d'habitants , Douala et plus de 80% de constructions.....	20
I.7. CONCLUSION.....	21
CHAPITRE II : LES CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES DE LA STATION DE DOUALA	22
II.0. INTRODUCTION.....	22
II.1. Des régimes pluviométriques mensuel et pentadaire unimodaux dans la station de Douala.....	22
II.2. Régimes journaliers absolus des pluies.....	23
II.3. Autres caractéristiques de la variation annuelle des pluies à la station de Douala.....	25
II.3.1. Variabilité pluviométrique et nombre de jours de pluies.....	25
II.3.2. Variabilité pluviométrique et moment d'occurrence des pluies.....	25
II.4. DISCUSSION.....	27
II.5. CONCLUSION.....	28
CHAPITRE III : LES STRUCTURES ATMOSPHÉRIQUES PLUVIEUSES DE LA STATION DE DOUALA	29
III.0. INTRODUCTION.....	29

III.1. Les caractéristiques atmosphériques par niveau de pression en temps de pluie.....	29
III.1.1. De faibles variations des géopotentiels, des maximums en Pleine Saison des Pluies (PSP)	30
III.1.2. Les températures élevées et constantes, mais légèrement fléchies en Saison des Pluies (PSP).....	31
III.1.3. Un flux de mousson permanent au sol et des flux d,Est et d,Ouest gnfralisfs dans la moyenne et haute troposphère.....	32
III.1.4. Un gradient vertical humide assez fort dans la basse et moyenne troposphère et quasi nul dans la haute troposphère.....	34
III.2. Les structures atmosphériques moins pluvieuses, moyennement pluvieuses et très pluvieuses	36
III.2.1. Les Géopotentiels de dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum).....	36
III.2.2. Les températures dans la station de Douala de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum).....	37
III.2.3. L, humidité relative de dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie maximum).....	38
III.2.4. L, énergie statique humide et ses composantes • Douala.....	39
III.2.5. Les sondages extrêmes en été boréal.....	40
III.2.5.1. Instabilité et nébulosité.....	40
III.2.5.2. Types de temps analyse des indicateurs de la convection des jours de plus de 50 mm de pluie.....	43
III.3. L'analyse des radiosondages par les régressions.....	45
III.4. DISCUSSION.....	47
III.5. CONCLUSION.....	51
CONCLUSION GÉNÉRALE	52
BIBLIOGRAPHIE	55

LISTE DES FIGURES

Figure 0.1. Le Cameroun au sein du continent africain (, l'extrême gauche), la ville de Douala dans la région du littoral du Cameroun (au centre).....	2
Figure 0.2. Evolution de la population de la ville de Douala/Cameroun.....	4
Figure 0.3. La ville de Douala en vert étalement urbain en rose routes bitumées (octobre 2008).....	5
Figure 0.4 Méthodologie de sélection des radiosondages des jours pluvieux disponibles à Douala.....	11
Figure 1.1. Les pentes au sein de l'agglomération de Douala (bassin versant du Wouri) Sourcezone 32N, WGS 84, image Aster 2015, USGS.....	13
Figure 1.2. Une humidité permanente et „lev„e de l'estuaire du Wouri , Douala. Sourcezone 32N, WGS 84, image Aster 2015, USGS.....	15
Figure. 1.3. Schéma météorologique saisonnier camerounais.....	17
Figure 1.4. Affectation des sols de Douala et de ses environs réalisée. Sourcezone 32N, WGS 84, image Landsat 8 2014, USGS.....	18
Figure 1.5. Les bassins hydrographiques du fleuve Wouri à Douala au Cameroun. Sourcezone 32N, WGS 84, image Aster 2015, USGS.....	19
Figure 1.6. Bassins versants et topographie de la station de Douala. Sourcezone 32N, WGS 84 image Aster 2015, USGS.....	20
Figure 2.1. Régime moyen des pluies dans la station de Douala (1980).....	23
Figure 2.2. Régime journalier absolu des pluies dans la station de Douala (1980).....	23
Figure 2.3. Totaux mensuels minimaux et maximaux des précipitations à Douala (1980).....	24
Figure 2.4. Comparaison entre nombre de jours de pluie et quantités de pluie.....	25
Figure 2.5. Une forte fréquence de précipitations nocturnes à Douala.....	26
Figure 2.6. Occurrence pentadaire des pluies de moins de 20 mm, entre 20 mm et 50 mm et de plus de 50 mm de pluie.....	26
Figure 3.1. Évolution moyenne annuelle des altitudes géopotentielle de quelques surfaces isobares Douala (1999-2005).....	30
Figure 3.2. Évolution moyenne saisonnière des températures sur Douala (1999).....	31
Figure 3.3. Évolution moyenne des vitesses des vents sur Douala (1999).....	32
Figure 3.4. Structures moyennes pentadaires des vents-dessus du Cameroun à 1200 et à 0000 (1999).....	34
Figure 3.5. Évolution hygrométrique sur Douala 1999-2005.....	35
Figure 3.6. Profils verticaux des géopotentiels au-dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum).....	36
Figure 3.7. Profils verticaux des températures au-dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum).....	37
Figure 3.8. Profils verticaux de l'humidité relative au-dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum).....	38
Figure 3.9. Profils verticaux de l'énergie potentielle (GZ), de l'énergie latente (Lq), de l'énergie sensible (CpT) et de l'énergie statique humide (ESH) du 22 août 2004 (D1. Courbes rouges) et de la moyenne du mois de juillet 1999-2005 (D2. Courbes bleues).....	40
Figure 3.10. Base et sommet des nuages des jours très pluvieux de l'été, boréal, Douala.....	41
Figure 3.11. Nébulosité et types de temps en fonction de la structure du FIT (Front InterTropical).....	42
Figure 3.12. Structures atmosphériques très pluvieuses du 22 juin 2001 à Douala un cumulonimbus potentiellement géant des jours de plus de 50 mm.....	44
Figure 3.13. Structure de l'atmosphère au-dessus de Douala et les pluies associées du 25 juillet 2017.....	45
Figure 3.14. Zones à risque d'inondation, l'ouest de Douala (Meva, 2013).....	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1. Apport des maximums sur la somme des quantités de pluies.....	24
Tableau 2.2. Apport des classes de pluies sur l'évolution des cumuls saisonniers à la station de Douala (mm).....	27
Tableau 3.1. Données statistiques mensuelles du nombre de jours par tranches de quantités de pluie pour la période 1999-2005 à Douala.....	29
Tableau 3.2. Vents moyens sur Douala (1999-2005).....	33
Tableau 3.3. Matrice de corrélation des variables troposphériques saisonnières de Douala avec les lames d'eau en mm.....	45
Tableau 3.4. Matrice de corrélation des tranches de pluies de [50 mm et plus].....	46
Tableau 3.5. Matrice de corrélation des tranches de pluies de [100 mm et plus].....	46

LISTE DES PLANCHES

Photo 0.1. La ville de Douala inondée les voitures noyées au quartier Bonapriso (photo a et c), de même que les maisons (photo d) un déplacement quasi impossible des piétons (photo b), août 2009.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

A2. Deuxième pentade du mois d'avril

ACMAD . African Center of Meteorological Application for development

ASECNA. Agence pour la Sécurité de la Navigation aérienne en Afrique et à Madagascar

DSP. Début de la Saison des Pluies

EPCD ou CAPE. Energie Potentielle Convective Disponible

FIT . Front Inter tropical

FSP. Fin de la Saison des Pluies

JEA. Jet Est Africain (600 hPa)

JET. Jet Est Tropical (entre 200 et 150 hPa)

M1. Première pentade du mois de mars

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration

PSP. Pleine Saison des Pluies

SADSP. Structures Atmosphériques de Début de Saison des Pluies

SAFSP. Structures Atmosphériques Fin de Saison des Pluies

SAGSP. Structures Atmosphériques Grande Saison des Pluies

STP. Structures Troposphériques Pluvieuses

INTRODUCTION GÉNÉRALE

DÉLIMITATION DU SUJET

Les prévisions locales sont effectuées en utilisant les résultats des analyses des centres de prévision numérique internationaux. L'une des difficultés d'utilisation de ces produits vient, l'inadéquation des modèles et de la faiblesse du réseau en milieu tropical. On cherche à améliorer la prévision locale du temps en nous appuyant sur une étude approfondie des données des radiosondages pour déterminer et suivre les structures atmosphériques pluvieuses sachant que les radiosondages contiennent des informations relatives à la structure verticale de la troposphère et à son contenu en vapeur d'eau.

Cette étude est réalisée dans la ville de Douala, capitale économique du Cameroun sujette à des inondations de plus en plus sévères. La situation de cette ville à l'embouchure du fleuve Wouri par où passe le flux de mousson est un atout pour mieux comprendre ses mécanismes. C'est donc un site privilégié d'étude des phénomènes atmosphériques sur cette partie du continent africain. De plus, c'est une des rares villes du pays à disposer d'une station météorologique complète contrôlée par l'ASECNA où sont réalisés des radiosondages de manière régulière deux fois par jour: 12 h et 00 h. La ville de Douala convient pour l'étude des phénomènes atmosphériques à l'échelle synoptique telle que définie par le GARP (Expérience Tropicale du GARP dans l'atlantique) en 1974.

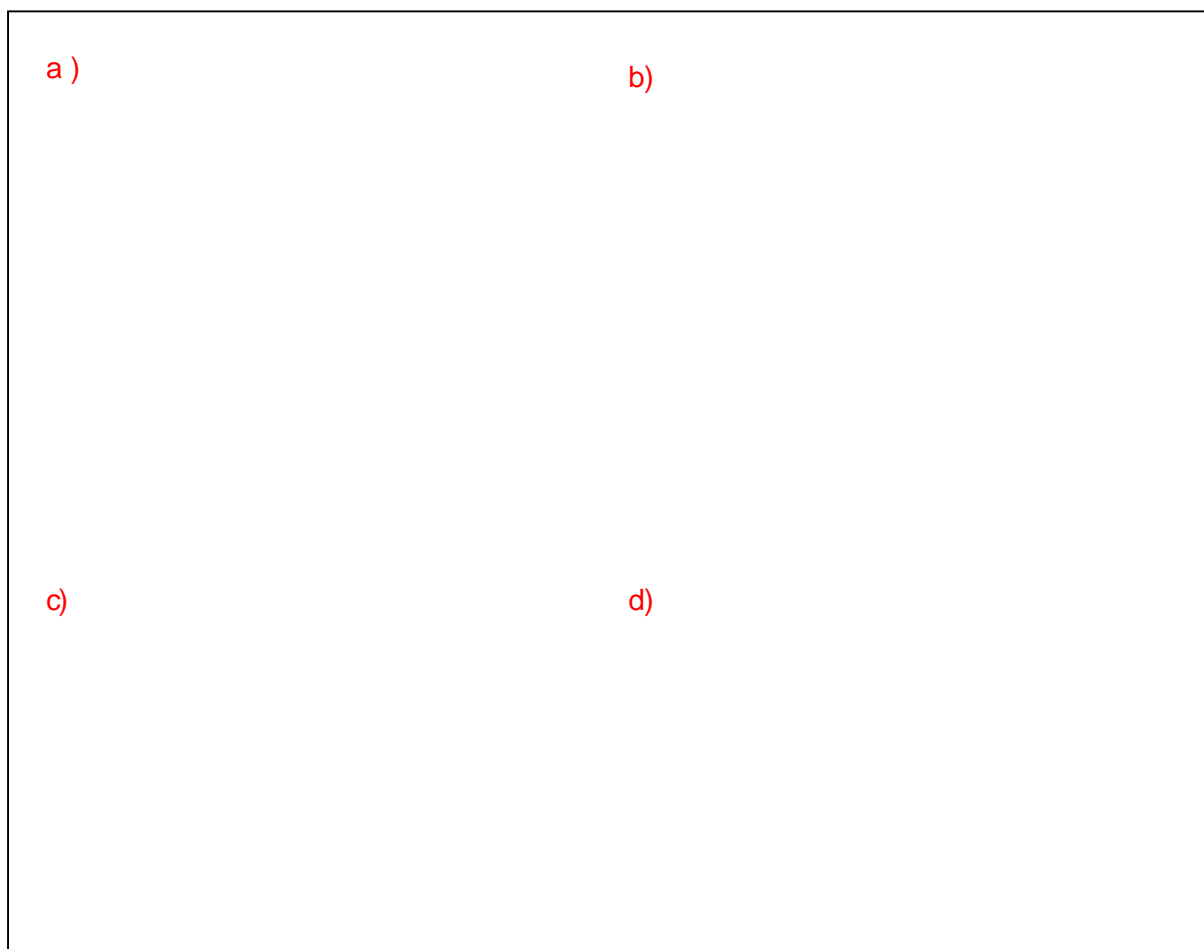
Cette étude s'étend de 1999 à 2005, période pour laquelle nous disposons des radiosondages journaliers de la station de Douala. Depuis le mois de mars de cette année, nous avons également récolté depuis le site WEB du Laboratoire des Ressources Aériennes (ARL) de la NOAA, les données météorologiques d'altitude et de surface <http://www.arl.noaa.gov/index.php>. Ce site offre l'avantage de fournir des prévisions météorologiques partout dans le monde.

Figure 0.1. Le Cameroun au sein du continent africain (, l'extrême gauche), la ville de Douala dans la région du littoral du Cameroun (au centre).

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

La ville de Douala est située à 4°1 de latitude Nord et à 9°44 de longitude Est, au fond de l'estuaire du Wouri, sur la côte ouest africaine, altitude moyenne de 104. Depuis des décennies cette ville connaît des inondations. Ces inondations sont rfcurrentes • plus de 80% au cours de l,ftf boréal et seulement 20% en début de saison et en fin de saison de pluie se l, pas une

période du plein épanouissement de la saison atlantique sans que la population ne souffre des effets immédiats à travers des inondations, surtout par une nappe phréatique qui est presque à fleur de surface dans les bas-fonds.



Source: http://www.bonaberi.com/ar,cameroun_inondations_meurtrieres_a_douala

Photo 0.1. La ville de Douala a été inondée au quartier Bonapriso de même que les maisons sur le plateau de même que les piétons août 2009.

Très souvent la ville de Douala est inondée après 24 heures de pluies violentes et torrentielles causant de graves dommages humains et matériels en particulier. En août 2004, 2009 et 2011 ces pluies intenses ont provoqué de nombreux morts et détruit des infrastructures. C'est le cas dans les quartiers Badjo, Bonapriso, Akwa, New Bell, Nkomba, Manbanda, Mbanya qui se sont retrouvés sous les eaux isolant surtout les populations des bidonvilles du reste du monde (photo 01).

De plus, comme la ville de Douala est la capitale économique du Cameroun, elle est le Centre des affaires et le poumon économique du pays, elle est convoitée par les populations venant des autres régions du pays et même de l'étranger pour la recherche du travail. Son taux d'accroissement démographique moyen est supérieur à 4% (recensement de 1976, 1987 et 2005). Cette ville qui comptait 170 000 habitants à l'indépendance est passée à près de 400 000

au premier recensement de la population du Cameroun en 1976 (Mainet, 1986). Lors du recensement général de la population et l'habitat de 1987, la ville de Douala comptait 1 500 000 habitants. Lors de celui de 2005, elle est passée à 1 907 479 habitants (BUCREP, 2005). L'augmentation régulière de cette population s'est donc traduite par une demande accrue d'espace urbain pour le logement et l'installation des activités de toutes sortes.

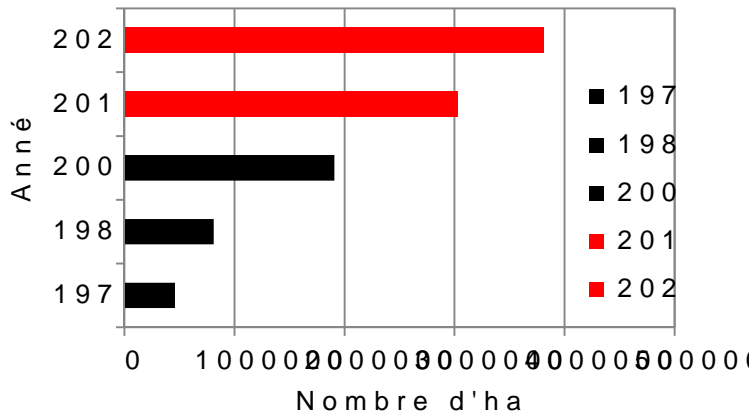


Figure 0.2. Evolution de la population de la ville de Douala/Cameroun.

Cette croissance démographique rapide s'est traduite par des constructions anarchiques, une saturation des infrastructures, un accueil, finalement urbain non contrôlé et l'envahissement de « espaces fragiles ». La ville qui se limitait autour de l'espace portuaire désormais de nouveaux quartiers qui échappent au contrôle de la Direction du Plan et de l'Aménagement Urbain. Et les populations pauvres, s'éloignent du centre urbain, où les logements sont chers et le prix du m² exorbitant en allant vers la périphérie et surtout dans les zones marécageuses qui coûtent moins chers et qui sont parfois gratuits. Dans ces zones, on trouve des gîtes par excellence à l'origine du paludisme et des foyers de choléra. Seulement 65 000 personnes sont abonnées à CAMWATER sur plus de deux millions d'habitants. En 2004, 70 000 puits superficiels (1,5m) ont été recensés. Le réseau de drainage des eaux usées complet et peu entretenu est parfois obstrué et déborde dans la ville en saison de pluie.

Figure 0.3. La ville de Douala en vert étalement urbain en rose routes bitumées (octobre 2008)

L'incertitude en ce qui concerne le déroulement des saisons et des phénomènes atmosphériques est devenue un sujet de préoccupation nationale au Cameroun. En effet, parfois, les pluies commencent tôt dès le mois de janvier, puis s'arrêtent également tôt dès le mois de mars finalisant ainsi les campagnes agricoles. En 2012, alors qu'on attendait les pluies à partir de la deuxième quinzaine du mois de mars, on a plutôt observé une sécheresse plus longue d'un mois qui a surpris tout le monde et convaincu le sceptique de l'existence d'un changement climatique dans le pays. Par contre, la deuxième décennie du mois de février a connu de grandes quantités de pluies, déroutant ainsi les paysans qui se sont aussitôt mis à semer.

Ces aléas pluviométriques touchent aussi les mois de juillet, d'août et de septembre, qui sont pourtant considérés comme les plus pluvieux dans l'ensemble du pays. Ainsi observe-t-on des interruptions prolongées de pluies d'une à deux semaines en pleine saison des pluies ou des situations brutales de ces dernières quand elles ne se prolongent pas indéfiniment. En juillet et août 1967, on a observé dans la station de Douala des périodes de cinq jours sans aucune goutte de pluie. L'apparition des grosses pluies de plus de 50 mm est aussi problématique.

En effet, sur un échantillon de 217 jours des mois d'août (2005) de la station de Douala, plus de 25 jours ont enregistré plus de 50 mm de hauteur de pluie. En plus, les 130,5 mm d'eau du 2 août 2004 sont tombés au cours de la nuit du 2. Le 5 août 2004, 131 mm d'eau ont été enregistrés dans la journée et seulement 6,5 mm dans la nuit, ce qui a entraîné des inondations récurrentes dans cette station. Il devient donc urgent que les structures étatiques et les autres structures renforcent la vigilance climatique dans cette ville à travers une prévision météorologique pouvant aider les populations à mieux organiser leurs activités.

La distribution des grosses pluies au cours de l'année est de plus en plus capricieuse dans la mesure où elles ne donnent pas l'impression de se concentrer lors de périodes bien déterminées. On se demande ce qui peut bien être l'origine d'un tel désordre. Pourtant dans cette ambiance d'incertitude générale, certains scientifiques (Assani, 1999; Berlin, 2007; Boudi, 2009) indiquent une diminution des précipitations de l'ordre de 15 à 20 % dans l'ensemble de la zone. Dans cette même zone, des fluctuations pluviométriques fortes ont été observées.

Avant la décennie 1960, la station de Douala, par exemple, recevait régulièrement environ 5000 mm de pluies par an. Mais depuis la décennie 1970, les déficits pluviométriques

atteignent 23.8%, soit 1187 mm de pluies. Les records annuels ont été enregistrés de cette décennie avec 32.2% (610 mm). C'est d'ailleurs au cours de cette période que des totaux annuels d'environ 2000 mm de pluies (en 1982, 2569 mm de pluies; en 1983, 2799 mm de pluies; en 1984, 2595 mm de pluies) ont été constatés.

Les explications de ces anomalies divergent. Suchocki (1972 et 1988) et Tsalefac (1979, 1983, 1990 et 1999) associent ces fluctuations à l'évolution du FIT. Ainsi, les études relatives à la variabilité climatique sont essentiellement fondées sur l'analyse statistique des données de quantifs de pluie recueillies par les pluviomètres. L'arrivée précoce ou tardive des pluies est liée aux fluctuations du FIT. Un FIT situé à une latitude très basse (2°N) explique la sécheresse qui règne dans le pays tandis qu'un FIT à latitude de 20°N crée des conditions de fortes pluies.

Cette analyse de la variabilité climatique fondée sur l'appréciation des lames d'eau recueillie et l'évolution du FIT nous paraît insuffisante. En effet, le pluviomètre enregistre sans distinction les quantifs d'eau précipitée quelle que soit leur origine et additionne aussi bien celle d'une averse, celle d'une longue pluie fine ou celle d'un orage. Étudier uniquement les quantités de pluies dans le but de détecter les fluctuations anormales climatiques ne peut permettre d'accéder facilement aux causes. En plus des fluctuations du FIT, il faut prendre aussi en considération les caractéristiques thermodynamiques de la masse d'air. D'ailleurs, on observe des cas où la hauteur du FIT en latitude s'accompagne paradoxalement pas d'une plus grande pluviométrie dans la ville. Ainsi d'une année sur l'autre, on peut noter des mois de août et de septembre plus ou moins pluvieux alors que le FIT est haut en latitude. Quelles sont les relations entre les structures atmosphériques et les catégories de lames d'eau de Douala ? 0 à 20 mm (minimum), 20 à 50 mm (normale), 50 à 100 mm (maximum). Cette étude se focalise donc sur l'analyse des conditions météorologiques des jours de pluies, période à laquelle les habitants de Douala ont connu et connaissent encore des inondations très sévères. Alors, quels types de structures atmosphériques pour quelles quantités de pluies ? Est-il possible de prédire ces pluies à travers l'étude des structures atmosphériques ?

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Plusieurs méthodes ont été développées afin de mieux comprendre les processus climatiques et ce qui les détermine (constat des lectures personnelles)

• Climatologie analytique ou séparative approche en surface

L'étude des différents éléments du climat (températures, précipitations, pressions, vents, etc) est le fondement de la climatologie séparative. Le climat d'un lieu est déterminé à partir de l'état moyen de l'atmosphère. Pour ce faire, on calcule la moyenne des paramètres observés sur une période de temps relativement longue. On s'efforce ensuite de regrouper les moyennes et les autres paramètres statistiques pour caractériser le climat considéré.

• Climatologie dynamique: approche en altitude

Dans cette perspective l'atmosphère est considérée comme le principal facteur expliquant la variabilité des précipitations en Afrique en général et au Cameroun en particulier. En effet, plusieurs chercheurs trouvent que les fluctuations anormales des précipitations sont liées soit aux structures du FIT (types de temps) ou soit aux structures énergétiques.

Climatologie synthétique ou approche par type de temps Pierre Pédelaborde approfondit cette approche par type de temps en 1957. Pour lui, le type de temps est « combinaison originale des éléments du temps engendrés par une situation météorologique particulière. ». Les caractères géophysiques (reliefs isobariques), les caractères géographiques et les effets sur l'aspect du temps sont des critères lui permettant de dresser une typologie des temps. C'est ainsi qu'il passe successivement en revue les types de temps cycloniques et les types de temps anticycloniques pour le compte du bassin parisien en Europe, par contre, ce sont les structures du FIT qui participent à l'explication des climats de la région et le manque ou l'excès de pluie (Suchel JB, 1972 et 1988; Roux M, 1972, 1983 et 1993; Tsalefac, 1983 et 1999; Morell, 1967; Fofack J, 1993; Dhonneur, 1978).

L'approche énergétique La méthode énergétique des pluies est fondée sur le fait qu'une pluie est une énergie par conséquent, quantifier l'énergie disponible dans l'atmosphère donne une information sur les quantités de pluie et explique mieux la variabilité des précipitations observées en surface.

• Vers une approche systémique ou approche de prévision des quantités de pluie par télédétection spatiale

Une approche systémique est un champ interdisciplinaire relatif à l'étude d'objets dans leur complexité. Dans le cadre de cette section, nous essayons de caractériser la variabilité climatique de l'environnement. Ainsi, Pour expliquer la variabilité des quantités de pluie, la caractérisation de la dynamique des masses d'air seule n'est pas suffisante. Bien que le climat soit le principal responsable de l'évolution des milieux naturels il dépend, lui aussi des textures de ce milieu naturel. C'est dans cette optique qu'Escourou (1980) insiste sur les facteurs géographiques du climat. La répartition de l'énergie solaire en fonction de la sphéricité de la terre, des mouvements de la terre et du dynamisme de l'atmosphère ont permis de diviser la terre en zone climatique. Ces zones climatiques bien que globalement homogènes possèdent des disparités liées aux conditions du site et de l'environnement. La déforestation diminue l'évapotranspiration et provoque une modification du climat à l'échelle mondiale aussi bien qu'à l'échelle locale. La forêt absorbe la lumière, là où le sol nu renvoie l'essentiel de l'énergie du soleil vers l'atmosphère. La température ambiante peut localement augmenter de plus de 10°C après déforestation en zone tropicale. Ce réchauffement local modifie la pression atmosphérique, qui joue sur le déplacement des masses d'air et des cellules de tempêtes. Les cycles pluviométriques sont donc modifiés à l'échelle mondiale, provoquant sécheresses et inondations anormales. Bien que Sené et al, (2002) et Hangnon et al (2015) semblent dire que ces inondations ne sont pas à imputer à une quelconque fluctuation des pluies, mais au contraire à une urbanisation rapide et non contrôlée des villes de l'Afrique subsaharienne. Cette recherche, inscrit dans le sillage de cette approche par type de temps. Comme Pierre Pédelaborde, les types de temps seront déterminés suivant trois critères. Le premier critère va concerner les éléments géophysiques (structure isothermique, structure thermique, structure hygrométrique et structure des vents). Le deuxième critère sera la composante géographique (la situation de Douala). Les effets de ces composantes thermodynamiques et géographiques sur l'aspect du temps (sondages moyens du Début de la Saison des Pluies, sondages moyens de la Pleine Saison des Pluies et sondages moyens de la Fin de la Saison des Pluies) en fonction des lames d'eau recueillies constitueront le troisième critère.

OBJECTIFS

La mousson atlantique amène un trop plein d'humidité qui est à l'origine de couvertures nuageuses denses donnant lieu à des précipitations qui peuvent aller jusqu'à une semaine sans interruption. Ces événements sont appelés localement « pluie de 7 jours » à Douala. Dans ce travail, nous allons mettre en évidence cette part de la mousson, en

caractérisant la convection des jours de pluie de hauteur comprise 0,1 à 20 mm (minimum), 20 à 50 mm (normale), 50 à 100 mm (maximum)

HYPOTHESES

Les structures atmosphériques des jours très pluvieux sont caractérisées par des types de temps convectifs, une moindre impulsion atmosphérique et une très forte humidité de la quasi-totalité de la colonne troposphérique. La convection des jours de plus de 50 mm de pluie à Douala est aussi l'origine de la formation de gros et grand cumulonimbus démarrant à 100 m du sol et se développant très souvent jusqu'à 15 000 m dans la haute troposphère. Les masses d'air étant plus chaudes que la normale, ces nuages convectifs sont continuellement nourris par la chaleur latente emmagasinée dans l'océan atlantique au large de Douala d'où l'occurrence importante de très fortes quantités de pluie.

METHODOLOGIE

La typologie des précipitations journalières est définie par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 1990). Les différentes classes sont déterminées en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur comprise entre 0,1 à 20 mm (minimum), 20 à 50 mm (normale), 50 à 100 mm (maximum). De manière générale, la classe de plus de 50 mm est celle des fortes pluies. Il faut cependant tenir compte des caractéristiques de chaque station pour revoir ce seuil à la hausse ou à la baisse.

Pour identifier les radiosondages correspondant aux pluies, la figure 0.4 montre comment le choix sera effectué. Le cumul des pluies dans la station de Douala se fait chaque jour à 8 h (pluies de nuit) et à 18 h (pluies de jour). Les radiosondages sont effectués à 12h et à 00 h locales (TU+1). Par exemple, entre 18 h et 8 h dans la nuit du 1er au 2 août 2004, il a été observé 136,5 mm de pluie. Pour l'étude de la structure atmosphérique de cette tranche temporelle très pluvieuse, c'est le radiosondage du 02 août 2004 à 00 h qui a été retenu. Les analyses effectuées par le Laboratoire de Recherche Aérologique de la NOAA a permis d'observer les sondages quotidiens et les paramètres de surface associés.

Pour établir le lien entre les structures atmosphériques et les quantités de pluies, nous allons caractériser les structures pluvieuses barométriques, hygrométriques, thermiques et ventées, nous allons calculer l'Energie Statique Humide (ESH) et ses composantes et ensuite nous allons dresser leurs profils verticaux tout en les comparant avec les moyennes de

saison. De plus, le tracé du profil vertical de l'atmosphère sur les 761 mes est aussi utilisé afin de ressortir les types de temps pluvieux.

Il sera aussi question de mettre en évidence numériquement l'influence des paramètres thermodynamiques sur les pluies. Certains de ces paramètres sont liés entre eux et il n'est pas possible de choisir directement ceux à retenir. Seule une régression multiple permet d'effectuer ce choix. En effet, il s'agit de choisir les paramètres susceptibles d'expliquer les fortes pluies. Le test des paramètres thermodynamiques par niveau de pression standard des vitesses des vents, de l'altitude géopotentielle, de l'humidité spécifique, de l'humidité relative, des températures du thermomètre sec et du point de rosée s'est effectué au travers d'une corrélation avec les quantités de pluies. Le choix est porté sur les dix paramètres dont le poids dans les régressions est supérieur à ceux des autres paramètres. Le choix des prédicteurs se fera au travers d'une régression simple entre chaque variable et les quantités de pluies. Des forts coefficients de corrélation (4 premiers), issus de ces relations, sont sélectionnés. Il s'agit des températures à 850 hPa et à 500 hPa, de l'altitude géopotentielle à 850 hPa, à 700 hPa.

Figure 0.4. Méthodologie de sélection des radiosondages des jours pluvieux disponibles à Douala

Notre analyse s'articule autour de trois chapitres

- Tout d'abord, l'état des lieux de l'étude,
- Ensuite, les caractéristiques pluviométriques de la station météo de Douala
- Et enfin, la typologie des structures atmosphériques pluvieuses à Douala en fonction des quantités de pluie (faibles), 20 à 50 mm (moyennes), 50 à 100 mm (fortes)

CHAPITRE ÉTAT DES LIEUX DE L'ÉTUDE

I. 01. INTRODUCTION

L'étude des structures atmosphériques dans une région ne peut se passer de la prise en compte de son substratum qui influence l'évolution des flux dans les basses couches. Or dans le cas de la ville de Douala le substratum est très varié et est susceptible d'influencer les masses d'air qui y arrivent. Dans ce chapitre, nous présentons le contexte physique de l'étude en partant de l'hypothèse que l'organisation des structures atmosphériques est liée aux conditions physiques particulières de la station de Douala. Pour vérifier l'hypothèse énoncée ci-dessus, nous nous sommes servis principalement des travaux de Morin S (1979), de Suchel JB (1972, 1988), de Tsalefac (1999), de Lethouzey (1968) et d'Olivier (1986). Les cartes sont produites grâce au logiciel SAGA GIS. Une fois la carte d'altitude (DEM) intégrée dans le logiciel, on comble d'abord les « puits » qui constituent des imperfections dans le DEM. Une fois que le DEM est comblé (Filled DEM), on génère la carte des pentes, ensuite celle des bassins versants, puis la carte d'indice d'humidité. Pour finir on exporte les résultats vers ArcGIS pour faciliter l'interprétation.

I. 1. Le Cameroun un territoire au fond du golfe de Guinée

Le Cameroun s'étend entre 1°38' et 13°05' de latitude Nord (du golfe de Guinée jusqu'au lac Tchad), sur environ 1275 kilomètres. Ce qui lui donne le privilège d'être au contact de plusieurs domaines et d'une gamme variée de nuances climatiques : 3/5 environ des terres camerounaises sont situées dans le domaine équatorial et 2/5 sont dans le domaine tropical.

La situation du Cameroun au fond du golfe de Guinée, dans l'océan atlantique est une ouverture pour le flux très humide de mousson. En effet, à cet endroit, les eaux sont non seulement chaudes, mais l'orientation perpendiculaire au vent de la côte camerounaise confère un atout majeur • la masse d'air en question. Ainsi, le pays est fortement approvisionné en humidité et cette dernière diminue progressivement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte 98% d'humidité relative à Douala, 90% à Yaoundé, 70% à Ngaoundéré et 50% • Kousséri en période d'hivernage la diminution est liée à la continentalité de certaines stations (Kousséri et Ngaoundéré) par rapport • d'autres plus proches de la mer

(Douala) Direction de la Météorologie Nationale du Cameroun, 2012 Le Cameroun est aussi un territoire constitué d'une grande diversité topographique.

I.2 Un relief essentiellement constitué de basses terres à l'est de Douala

Les 475 442 km² du Cameroun sont constitués de deux grands traits du relief assez paradoxaux. Il s'agit des hautes terres du sud/centre du pays et des basses terres côtières du nord. Les hautes terres occupent 84% du territoire national tandis que les basses terres n'occupent que 16%.

Les basses terres n'occupent qu'une superficie limitée du territoire camerounais, environ 16%. Ces basses terres, du nord au sud; la plaine du nord, la cuvette de la Bafouf, la cuvette de Ndian et de Mamfe et la plaine côtière (Olivry JC, 1986)

Figure 1.1. Les pentes au sein de l'agglomération de Douala (bassin versant du Wouri)
Source: zone 32N, WGS 84, image Aster 2015, USGS.

La plaine côtière d'une profondeur maximale de 360 km, s'étend le long de la frontière nigériane au nord-ouest (cuvette de Mamfé) se rétrécit aux abords du Mont Cameroun, s'évase dans le bassin sédimentaire de Douala et se prolonge en un mince cordon jusqu'à la frontière de la Guinée équatoriale. Elle comprend trois secteurs: le secteur de Kribi,

le bassin de Douala et le bassin N'dian. Le secteur de Kribi est constitué d'un bas plateau de 300 • 500 m, se relève de l'ocfan • l'ouest vers la zone de contact du plateau sud camerounais. Le bassin de Douala est le plus vaste ensemble de la plaine côtière. Il atteint sa plus grande largeur au niveau des vallées du Nyong, de la Sanaga et du Wouri. Le bassin de N'dian et la cuvette de Mamfe forment les basses terres du nord du mont Cameroun. Ce sont des cuvettes en forme d'hémicycle qui s'appuient sur le mont Cameroun, les Rumpi hills et les monts Bamboutos. Adossés • l'est sur des montagnes, ils s'ouvrent sur la plaine côtière nigériane.

L'altitude et la disposition de ces reliefs favorisent un accueil différentiel au vent de mousson humide venant de l'ocfan atlantique, où les quadrants sont dissymétriques dans la plaine côtière du Cameroun

1.3 Des réalités climatiques au Cameroun : schéma météorologique africain et un climat de mousson à paroxysmes pluviaux à la station de Douala

Deux principales masses d'air régnaient alternativement au Cameroun, l'air tropical maritime (humide et chaud) venant de l'anticyclone de l'Atlantique au sud et l'air tropical continental (sec et chaud) venant de l'anticyclone des Açores au Nord. Grâce • la force de Coriolis, les alizés venant du sudest sont déviés vers la droite dans l'hémisphère nord et deviennent des vents du sud-est encore appelés mousson atlantique.

La masse d'air tropical maritime ou équatorial venant du bassin du Congo se caractérise par des vents du secteur SSW, SWSW et par une très forte tension de la vapeur d'eau, l'humidité étant fréquemment supérieure • 25g/m³ • quelques dizaines de mètres au-dessus du sol. Son gradient thermique normal est compris entre le gradient de l'adiabatique sèche et celui de l'adiabatique saturée. Ceci engendre des phénomènes de condensation qui vont de pair avec de puissants mouvements ascendants pendant la saison des pluies.

De décembre en février, le flux de mousson s'arrête au large de l'ocfan atlantique et par conséquent est incapable de fournir des pluies (cf. fig. 3). La quasi-totalité du pays a un ciel clair • cette époque de l'année. L'harmattan, très puissant entretient donc ce temps sec.

De mars à avril, le flux de mousson balaie tout le Sud Cameroun : le temps devient de plus en plus pluvieux suivant les régions et leurs effets de surface. L'harmattan n'interfère

plus que le grand Nord Cameroun et prolonge ainsi la saison sèche, mais sur l'Adamaoua, se confrontent la pluie et la brume sèche.

Les mois de juillet, août et de septembre marquent le moment de l'année où le flux de mousson est très puissant. Pendant cette période, cette masse d'air humide est hors du Cameroun, est le paroxysme de mousson au littoral et à Douala. Le soleil est complètement caché par des nuages de types stratocumulus ou cumulus. Ce plafond nuageux a un double effet pendant le jour, il retient et réfléchit une fraction importante des rayons solaires, réduisant ainsi de façon appréciable, l'apport énergétique du soleil. Au cours de nuit, en l'absence du rayonnement solaire, la terre restitue par radiation l'énergie emmagasinée. Mais celle-ci est en partie bloquée par le grand nuageux qui l'empêche de se perdre dans l'atmosphère.

Figure 1.2. Une humidité permanente et élevée de l'estuaire du Wouri, Douala.
Source: zone 32N, WGS 84, image Aster 2015, USGS.

Du mois d'octobre au mois de novembre, la mousson diminue en puissance et la quantité des pluies commence à progresser faiblement. La saison sèche s'installe dans le nord dès la fin du mois d'octobre et l'air saharien amorçe sa descente vers le sud. Ainsi les régions de l'Extrême Nord, du Nord et de l'Adamaoua sont couvertes de brume sèche. Au Sud du

pays, les pluies accompagnées de quelques violentes orages et averses diminuent progressivement en novembre.

Ainsi, les masses d'air qui évoluent au Cameroun expliquent certainement l'organisation des structures atmosphériques qu'on y trouve et l'existence des régions climatiques. En ce qui nous concerne dans le cadre de cette étude, dans la ville de Douala un climat de mousson • paroxysmes pluviaux. Ce climat se trouve sur la façade côtière depuis le Rio del Rey jusqu'à l'estuaire du fleuve Sanaga. Il se caractérise par des pluies abondantes (4000 mm/an (station de Douala) à 10 000 mm/an sur le versant du mont Cameroun exposé au vent de mousson (station de Diboundja). Comme les températures moyennes sont élevées (26°C), la chaleur domine un climat moite dont les rigueurs sont à peine atténuées par l'altitude.

Figure. 1.3. Schéma météorologique saisonnier camerounais

1.4. Des formations végétales variées

En fonction de la densité du couvert végétal et du type de espèces végétales (R. Letouzey, 1968; DM. Mbog, 1999; ENVI-REP Cameroun, 2014), on distingue à Douala :

- La forêt biafréenne sempervirente à forte abondance en Caesalpiniaceae, mais aussi en Mimosaceae et Fabaceae avec un fort potentiel de transpiration qui maintient en permanence l'humidité.
- La forêt atlantique littorale à *Lophira alata* (Ochnaceae famille ou azobé nom vernaculaire), *Sacoglottis gabonensis* (Blumiriaceae : famille ou bidou: nom vernaculaire), *Coula edulis* (Olacaceae) et *Cynometra hancei* (Caesalpiniaceae). La destruction de la forêt dense par le feu et les défrichements laisse place à une forêt secondaire.
- La mangrove atlantique, zone à *Avicennia* à partir de la terre ferme à une zone à *Rhizophora racemosa*

La forte pression anthropique de ces milieux naturels pourrait expliquer sa vulnérabilité face aux fluctuations climatiques observées. (fig. 1.4)

Figure 1.4. Affectation des sols de Douala et de ses environs réalisée Source: zone 32N, WGS 84, image Landsat 8 2014, USGS.

1.5 Les cours d'eau de la ville de Douala

La ville de Douala est bâtie sur la rive gauche du fleuve Wouri qui est répartie à son tour en neuf principaux bassins versants Mbanya, Mboppi, Besseké, Tongpassa, Bonbongo, Papas, Ngoua, Kondi et Nsapou. Le Wouri descend des Samboutos. Après avoir reçu sur sa rive droite le Moungo et à sa rive gauche la Dibamba, il pénètre dans le large estuaire du Cameroun. (Atlas du Cameroun, 1978)

Ces fleuves côtiers du nord qui descendent des hauts plateaux de l'ouest, de régime camerounien, ont une période crue correspondant à la saison des pluies (mars) et une période d'étiage en saison sèche (novembre).

Figure 1.5. Les bassins hydrographiques du fleuve Wouri à Douala au Cameroun
Source: zone 32N, WGS 84, image Aster 2015, USGS.

La platitude du relief de Douala et l'incision des nombreux cours d'eau qui y sont observés peuvent aussi être de grands facteurs de vulnérabilité de cette ville la plus peuplée du Cameroun.

Figure 1.6 Bassins versants et topographie de la station de Douala Source: zone 32N, WGS 84, image Aster 2015, USGS.

1.6. Plus de 3 millions d'habitants à Douala et 60% de constructions anarchiques

La ville de Douala est la capitale économique du Cameroun. Elle est estimée à plus de 3.027 370 en 2015 (BUCREP, 2010). Le taux annuel moyen de cette croissance serait de 5% sur les 30 dernières années. Ce qui est largement en deçà du taux national estimé à 2.8%. D'ailleurs, à l'horizon 2035, cette population triplera (confère contexte et objectifs). C'est en fait la principale raison du choix de cette ville pour notre étude. Une ville qui a une grande importance sur le plan économique, qui a autant de problèmes, mérite qu'on s'y attarde afin, si possible, de trouver des pistes de réflexions qui pourront aider les décideurs à la viabiliser.

I.7 CONCLUSION

Dans ce premier chapitre, il était question de présenter le contexte physique humaine l'étude. Il ressort que le milieu physique de la ville de Douala est diversifié. Il est constitué d'un relief bas. Cette topographie intervient dans l'organisation de la convection et de la pluviométrie. La situation de cette ville • l'embouchure de l'île Wouri où pénètre le flux d'humidité explique l'omniprésence des précipitations. Aujourd'hui, ce climat moyen présente de nouvelles fluctuations qui déstabilisent la végétation et l'hydrographie qui lui sont tributaires, ainsi que les activités humaines la forêt dense de la région côtière recule progressivement devant l'exploitation forestière et l'extension des cultures et l'élévation des températures exacerbent une évaporation élevée des nappes d'eau renforçant ainsi le cycle de l'eau. Quelles sont donc les caractéristiques pluviométriques de cette station? C'est ce qui fera l'objet du chapitre deux.

CHAPITRE LES CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUE STATION DE DOUALA

II. INTRODUCTION

Dans le cadre de ce chapitre, nous allons étudier les pluies que donnent les structures atmosphériques pluvieuses étudiées. Pour cela, la meilleure manière de procéder est de décrire d'abord les régimes pluviométriques moyens et extrêmes, ensuite et enfin de donner les autres caractéristiques de cette variabilité pluviométrique (nombre de jours de pluie, occurrence des pluies et tendances pluviométriques), tout en admettant que sont identifiables les structures atmosphériques très pluvieuses, les structures atmosphériques moyennement pluvieuses et structures atmosphériques faiblement pluvieuses. Pour parvenir à ce résultat, nous allons utiliser les données pluviométriques de la station de Douala 1920-2009, disponibles au service de la Météorologie Nationale du Cameroun de Bonadjo (Douala).

II.1 Description pluviométrique mensuel et pentadécadaires dans la station de Douala

La station de Douala est caractérisée par l'omniprésence des pluies même en saison dite «sèche». La délimitation de la saison dite des pluies n'est pas facile à effectuer. Pour y parvenir, l'indice de Gaussien ($P \geq 2T$) qui permet d'identifier les périodes sèches a été utilisé. Ainsi dans cette station, la saison des pluies débute au mois de mars et s'achève au mois de novembre. Il en découle que au cours de l'année la pluviométrie connaît une cadence trimestrielle avec des périodes d'accroissement et de retrait suivants

Décembre, janvier et février (pluviométrie hivernale faible).

Mars, avril et mai (période de transition, accroissement régulier des pluies)

Juin, juillet, août et septembre (apogée pluvial estival)

Octobre et novembre (période de transition, diminution régulière des pluies)

Ce qui montre bien que les précipitations tombent toute l'année dans la station de Douala (figure 2.1).

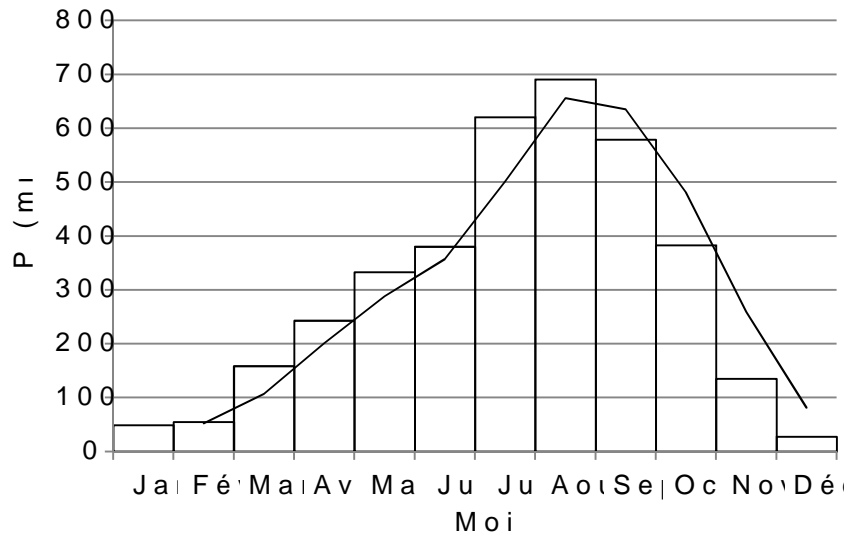


Figure 2.1. Régime moyen des pluies dans la station de Douala (1980-2009)

La saison des pluies débute dès que l'on enregistre une hauteur de pluie d'au moins 20 mm sur deux jours consécutifs. La saison sèche ne correspond en fait qu'à l'atténuation des pluies car aucun mois ne reçoit moins de 30 mm de pluie. Cependant, c'est à partir du mois de mars que les totaux mensuels de pluies dépassent 100 mm. C'est pourquoi, ce mois est considéré comme le début de la saison des pluies et le mois de novembre comme celui de la fin de la saison humide avec moins de 100 mm. De plus, en compte du nombre de jours de pluie par mois montre que les mois de décembre, de janvier et de février ont enregistré un taux < 30% d'occurrence de jours de pluie, soit respectivement 7/31, 7/31 et 9/28.

11.2. Régime journalier absolu des pluies

Par régime absolu, on entend la quantité maximale et minimale de pluie reçue en une journée pluviométrique.

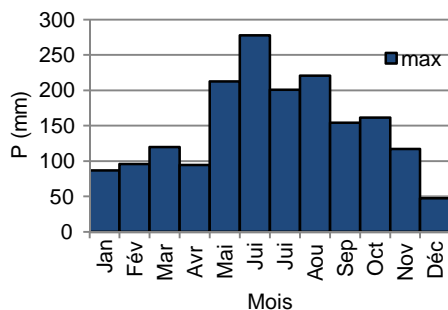


Figure 2.2. Régime journalier absolu des pluies dans la station de Douala (1980-2009)

Au cours de la période d'étude (1980-2009), le mois de juin est celui qui enregistre le plus de précipitation en 24 heures. On peut en effet y recueillir plus de 200 mm de pluie en une seule journée. Tous les mois de l'année ont enregistré d'ailleurs plus de 20 mm de pluie. Au cours des autres mois de l'année, l'exception du mois sec de décembre, des journées recueillant au moins 50 mm de pluies peuvent être observés

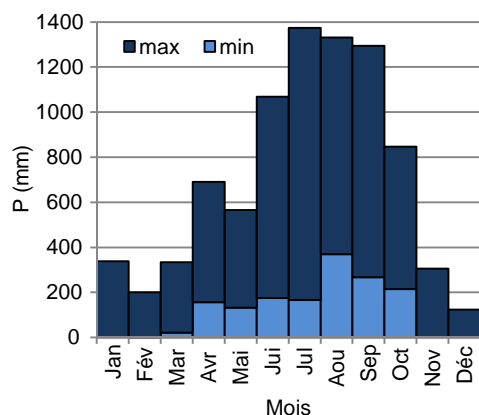


Figure 2.3. Totaux mensuels minimaux et maximaux des précipitations à Douala (1980-2009)

Les totaux mensuels minimaux et maximaux des précipitations à la station de Douala permettent d'apprécier l'amplitude des variations auxquelles on peut s'attendre d'une année à l'autre. On constate en effet qu'on a atteint total de moins de 400 mm au mois d'août, ce qui est anormalement bas.

Les maximums ont contribué à hauteur de 16,76% environ sur le total de la pluviométrie de l'année indiquée pour la période pluvieuse.

Tableau 2.1. Apport des maximums sur la somme des quantités de pluie

	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov
Max (mm)	312,9	534,6	433,1	894,4	1207,9	961,3	1027,2	631,8	305,2
Années du max	1985	1994	1993	2007	1981	2002	2006	1999	1986
Total (mm)	3499	4121	3617	4207	4565	4392	4484	3704	4120
Apport en %	8,94	12,97	11,97	21,26	26,46	21,89	22,91	17,06	7,41

Les totaux mensuels maximums ont contribué pour 23,13% de la grande saison des pluies (Juin, juillet, août et septembre) et les années concernées ont un total moyen de pluie de 4412 mm, ce qui est largement au-dessus de la moyenne annuelle

11.3. Caractéristiques de la variabilité des pluies à la station de Douala

11.3.1. Variabilité pluviométrique et nombre de jours de pluies

La figure 2.4 indique le nombre de jours de pluie et la quantité d'eau recueillie par mois.

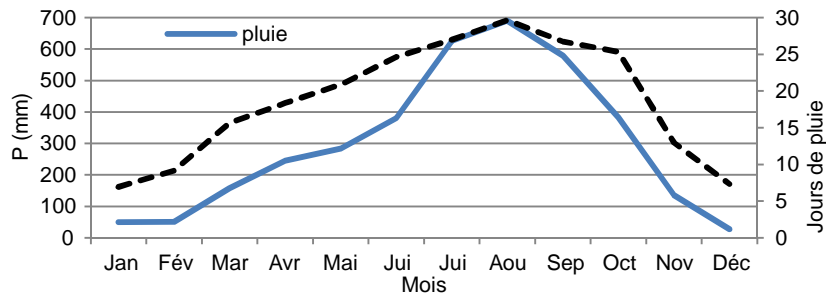


Figure 2.4. Comparaison entre nombre de jours de pluie et quantités de pluie

Cette figure montre que le nombre de jours de pluie augmente pratiquement au même rythme que les quantités de pluie. Sauf en juillet et août où les précipitations sont plus intenses. La quantité d'eau moyenne enregistrée le mois d'août (689 mm) correspond au plus grand nombre de jours de pluie (30 jours). Le mois de juillet n'enregistre en moyenne que 25 jours de pluie pour 625 mm de pluie alors que les mois de juin et de septembre avec une moyenne de 25,6 et 25,8 jours de pluie ont enregistré respectivement 380,5 et 579 mm de pluie.

11.3.2. Variabilité pluviométrique et fréquence des pluies

Une évolution beaucoup plus fine des précipitations journalières en tenant compte du moment d'occurrence et de l'importance de la tranche d'eau recueillie aux seuils de moins de 20 mm, entre 20 mm et 50 mm permet de juger de l'influence des grosses pluies sur les totaux pentadaires et mensuels. Pour ce faire, nous considérons la fréquence d'apparition des événements pluvieux et leur moment d'occurrence.

Deux périodes sont considérées, celle de 8 à 18h (pluies diurnes) et celle de 18 à 8 h (pluies nocturnes). Elles permettent d'apprécier le rythme journalier des pluies de la station.

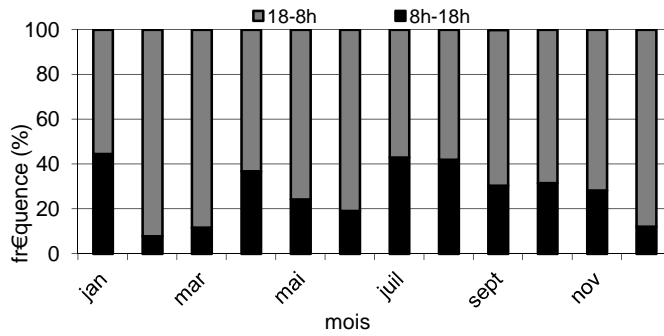


Figure 2.5. Une forte fréquence des précipitations nocturnes à Douala

Plus de 75% des précipitations tombent la nuit à Douala (fig. 2.5). Tous les mois reçoivent l'essentiel de leurs précipitations pendant la nuit (plus de 50%). De plus, la fréquence des pluies varie d'un mois à l'autre. En effet, les mois de janvier, de juillet et de novembre enregistrent environ 40% de leur précipitation en journée alors que les mois de février, de mars et de décembre reçoivent moins de 15% de leur pluie pendant la même période.

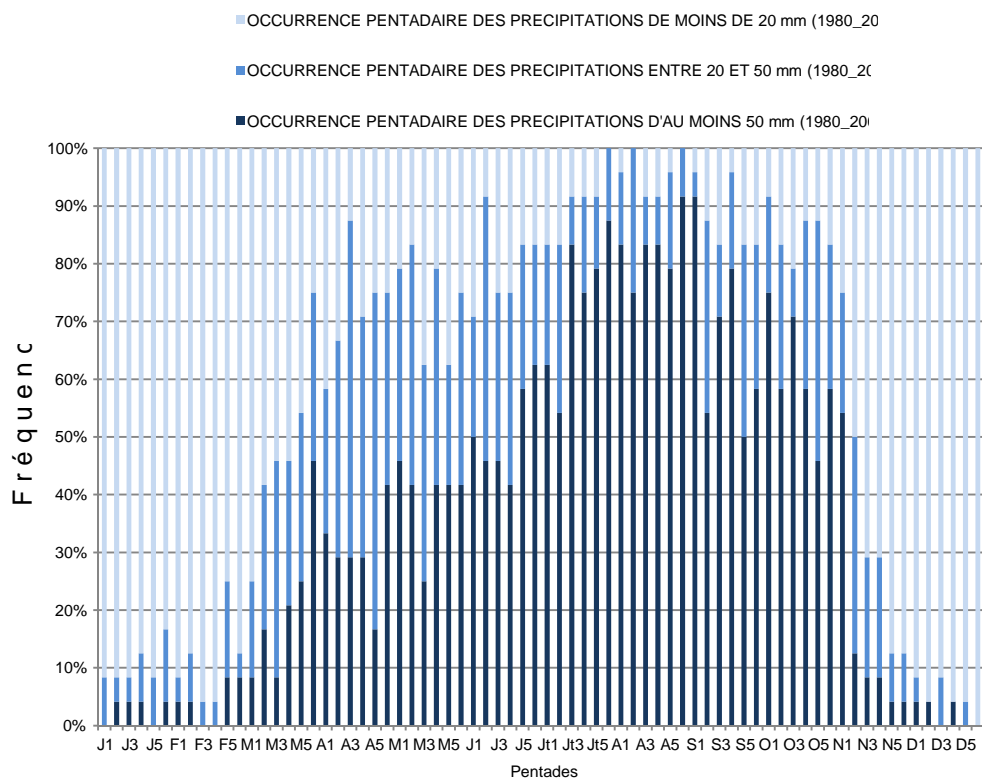


Figure 2.6. Occurrence pentadaire des pluies de moins de 20 mm, entre 20 et 50mm et d'au moins 50mm de pluie

Il ressort de la figure 2.6 que : au fur et à mesure que s'installe la saison des pluies, les faibles quantités de pluie journalière cèdent progressivement la place aux jours plus pluvieux comme ces derniers diminuent aussi quand s'installe la saison sèche. En effet, les quantités de pluie évoluent en fonction de la saison de pluie. Au fur et à mesure qu'on se rapproche de la pleine saison pluvieuse, le seuil de moins de 20 mm diminue et cède la place au fil des pentades au seuil d'au moins 20 mm. De même, le seuil de 50 mm semble se concentrer, en majorité, dans les pentades de juin, juillet, août et septembre.

Tableau 2.2. Apport des classes de pluies sur l'évolution des cumuls saisonniers dans la station de Douala (mm)

	Ja	Fé	Ma	Av	Ma	Ju	Ju	Ao	Se	Oc	No	Dé
20 à 50 mm	13,2	19,8	68,0	108,7	115,8	137,7	192,7	213,7	192,7	144,7	51,4	9,8
50 à 100 mm	13,2	6,6	36,8	61,7	57,8	101,7	201,7	204,7	141,7	109,7	17,6	0,0
plus de 100 mm	0,0	0,0	5,0	0,0	22,2	49,5	149,7	121,7	90,6	34,2	10,0	0,0
20 à 50 mm (%)	36,8	39,7	43,0	44,3	40,8	36,8	29,8	31,6	35,8	36,3	40,3	37,7
50 à 100 mm (%)	36,7	13,0	23,3	25,1	20,5	27,0	31,2	30,3	26,4	27,6	13,8	0,0
plus de 100 mm (%)	0,0	0,0	3,2	0,0	7,8	13,7	23,2	18,0	16,9	8,6	7,8	0,0
Total des proportions	26,4	26,8	109,7	170,7	195,7	288,7	543,7	539,7	424,7	288,7	79,0	9,8
Total en %	73,6	52,0	69,4	69,3	69,7	76,6	84,2	79,9	79,0	72,5	61,8	37,7
Total annuel (mm)	35,8	50,8	158,7	246,7	282,7	377,7	645,7	675,7	537,7	397,7	127,7	26,7

Il ressort de ce qui précède que les différentes classes pluviométriques retenues sont proportionnelles à l'importance de la quantité d'eau qui tombe mensuellement. Les tranches les plus copieuses (classes 50 à 100 mm et de plus de 100 mm) tombent en saisons des pluies (PSP) et les plus faibles en saisons sèches, en début de saison des pluies (DSP) et en fin de saison des pluies (FSP).

II. DISCUSSION

Le régime pluviométrique de la station de Douala est de type tropical humide en ce sens qu'on n'y observe pas de fléchissement pluvial qui apparaît en juillet dans des stations situées plus à l'intérieur du pays. Cette particularité est liée non seulement à la quasi permanence du flux de mousson, mais aussi à l'environnement montagneux de la station et à sa position à l'estuaire du Wouri qui canalise vers l'intérieur les influences maritimes. Du fait de la conjonction de ces facteurs, on observe en cette période de août de l'année des bruines conformément à la position en latitude de l'aire australe également des orages de

forte intensité dès que se déclenchent les perturbations soit orographiques soit dynamiques. C'est d'ailleurs cette conjonction de facteurs favorables aux pluies dans la zone qui a fait dire

- Suchel J.B (1972, 1988) qu'on se trouve en période de pluies paroxysmiques dans « l'empire de mousson ». Il pleut pratiquement toute l'année dans cette station, bien que tous les mois soient pourvus de pluie, l'application de la formule de Gausson ($P > 2T$) ou de Birot ($P > 4T$) dans cette station, montre qu'il existe des mois secs (décembre, janvier et février). Les périodes pluvieuses sont par conséquent séparées dans la station de Douala mais ont de la peine à s'arrêter. Elles tombent surtout dans la nuit (pluies nocturnes) et provoquent des inondations dans la quasi-totalité des zones basses. De toute la période d'étude (1980-2009), le démarrage de la pluviométrie et son arrêt ont varié très peu avec le temps, ce qui n'a pas fait le cas des quantités de pluie reçues. Cette moyenne peut être améliorée par un changement d'échelle mensuelle à l'échelle des pentades. Effet, la distribution pentadaire fait apparaître des séquences pluvieuses et les séquences sèches nécessaires pour l'identification des structures atmosphériques pluvieuses.

II.5. CONCLUSION

Dans ce chapitre, il fait question d'étudier la pluviométrie dans la station de Douala la station de Douala dans la plaine côtière. Pour cela, nous avons, au pas de temps inter-annuel, mensuel et pentadaire, utilisé plusieurs approches parmi lesquelles celle des régimes de pluie, celle du nombre de jours de pluie, celle de l'occurrence des jours de pluie et celle des tendances pluviométriques. L'image moyenne la plus typique de la distribution pluviométrique est fondée sur l'échelle mensuelle. Le domaine de mousson s'illustre par des quantités de pluie supérieures à 3000 mm (station de Douala). Un autre aspect de cette étude que les quantités de pluie varient d'une structure atmosphérique pluvieuse à une autre, la corrélation entre ces quantités de pluie et les structures atmosphériques pluvieuses (chapitre III) donnera le poids de cette relation.

CHAPITRE I LES STRUCTURES ATMOSPHÉRIQUES PLUVIOMÉTRIQUES DE LA STATION DE DOUALA

III. INTRODUCTION

L'étude des caractéristiques du milieu naturel et des caractéristiques pluviométriques de la station de Douala soulève une question importante qui est celle de rechercher l'origine des pluies tout en admettant qu'il existe trois types de structures atmosphériques associées aux quantités de pluies. Ce chapitre s'articulera autour de l'identification des structures atmosphériques pluvieuses donnant lieu aux quantités de pluies de moins de 20 mm, entre 20 mm et 50 mm, entre 50 mm et 100 mm et enfin à plus de 100 mm de pluies. Pour parvenir à ce résultat, nous allons nous appuyer sur les données journalières de radiosondage et de pluviométrie pour dresser le profil thermodynamique de chaque classe de pluies et établir des corrélations entre la pluie et quelques variables thermodynamiques pertinentes.

Tableau 31. Données statistiques mensuelles du nombre de jours par tranches de quantités de pluies pour la période 1992-2005 à Douala

	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov
moins de 20 mm	76	92	89	121	125	112	117	117	74
entre 20 et 50 mm	12	24	27	31	32	66	46	34	15
50 à 100 mm	4	4	8	15	14	19	14	12	1
100 mm et plus	0	0	2	4	9	9	4	2	1
nombre de jours de pluies	92	120	126	171	180	206	181	165	91

De ce tableau, il ressort que les classes de pluies journalières de moins de 20 mm sont celles qui sont les plus fréquentes dans la station de Douala et que celles de la tranche de plus de 100 mm sont les plus rares. Cette dernière tranche est tout de même plus fréquente en été boréal.

III.1. Les caractéristiques atmosphériques par niveau de pluie

Parlant de l'évolution de l'état de la troposphère en hivernage, il s'agit d'étudier les paramètres météorologiques donnés par le radiosondage tels que le géopotential, la température, l'humidité et les vents (vitesse et direction).

III.1. Des faibles variations des géopotentiels, avec des maximums en Pleine Pluie (PSP)

L'altitude géopotentielle est différente de l'altitude géométrique, mais généralement très voisine. Pour élever une masse m , le travail que l'on doit dépenser de l'altitude z est mgz , en prenant en compte l'attraction de la pesanteur g , supposée constante $\bullet 9,80665 \text{ m/s}^2$. Cette altitude est dite géopotentielle. Elle permet de caractériser les surfaces isobares standards.

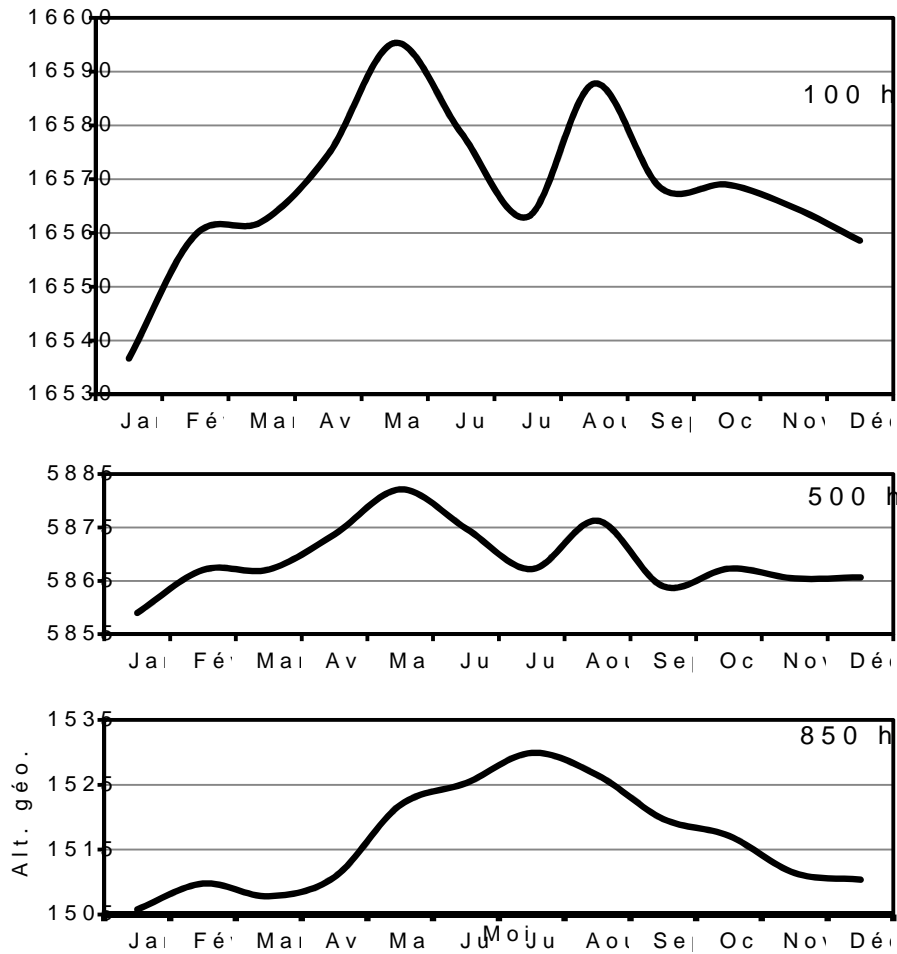


Figure 3.1. Évolution moyenne annuelle des altitudes géopotentielle de quelques surfaces isobares sur Douala (1992-2005)

Cette figure présente l'altitude des surfaces isobares \bullet la basse troposphère (850 hPa), à la moyenne troposphère (500 hPa) et à la haute troposphère (100 hPa) au-dessus de la station de Douala. Il y ressort que les surfaces isobares varient toute l'année et \bullet tous les niveaux de pression. À la basse troposphère, le géopotential a varié entre 1505 m et 1530 m, soit une amplitude de 25 m. Elle est caractérisée par un régime unimodal avec un maximum en saison pluvieuse, culminant au mois de juillet avec 1930 m et un minimum en saison sèche. La moyenne troposphère et la haute troposphère, \bullet le régime basse

troposphère sont caractérisés par plus forts géopotentiels pendant la saison des pluies. Toutefois, il existe un premier minimum en juillet et un second minimum qu'on remarque en décembre et janvier.

III.1.2 Les températures élevées et constantes, mais légèrement fléchies des PLUIES (PSP)

Du sud au nord du Cameroun, les températures sont élevées et constantes en toute saison. Toutefois, en pleine saison des pluies et de la fin de mai, de juin, de juillet et d'août, on note une légère baisse des températures d'environ 3°C pour la station de Douala. Les effets de surfaces viennent toutefois modifier ces données dans la station.

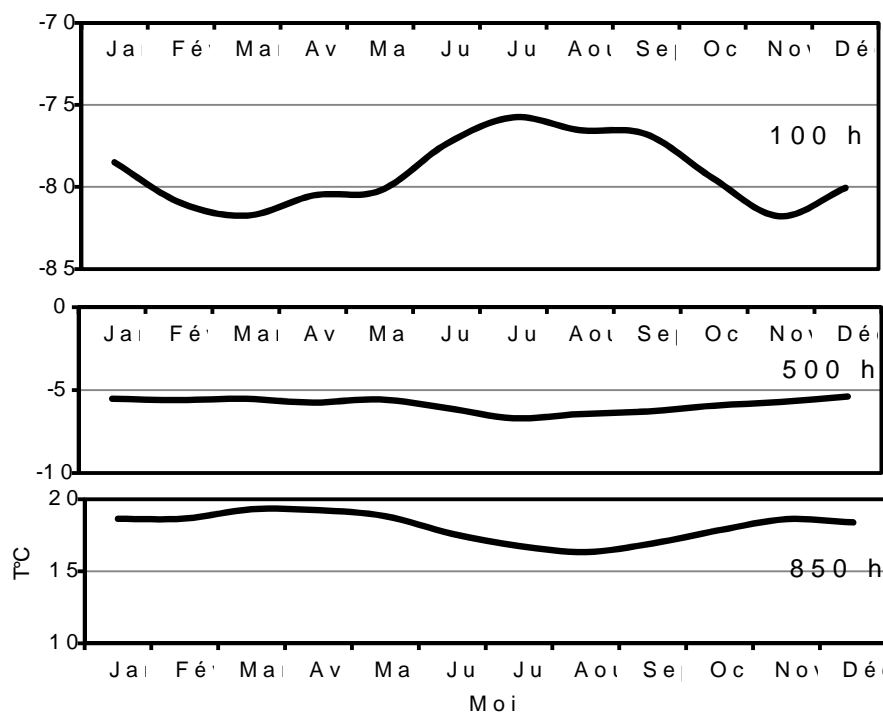


Figure 3.2. Évolution moyenne saisonnière des températures sur Douala (1992-2005)

Cette figure présente la variation des températures au dessus de la station de Douala pour la période 1992-2005, soit sur 7 ans. Il ressort que les températures varient très peu. L'évolution des températures aux différentes altitudes permet de tirer des conclusions

Dans les premières couches de l'atmosphère jusqu'à 850 hPa, les températures sont faibles, avec un minimum en août et un second en janvier. Les écarts entre les températures plus froides et plus chaudes n'atteignent pas 5°C.

Dans les couches moyennes de 700 à 500 hPa, la température ne subit que des variations faibles de l'ordre de 1°C en moyenne.

A partir de la couche 300 hPa, les variations restent faibles, avec un maximum en été boréal (juin, juillet et août) et un minimum en équinoxe de printemps (mars, avril). Au-dessus de cette couche, à 100 hPa, la courbe des températures présente un aspect différent du fait des variations de la tropopause, laquelle se situe généralement au dessus de la 100 hPa de décembre à Janvier.

III.1.3. Un flux de mousson permanent au sol et des flux d'Est et d'Ouest dans la moyenne et haute troposphère

Le vent ou atmosphère en mouvement, naît sous l'effet des différences de températures et de pression. Ce sont des vortices d'énergie responsables des phénomènes météorologiques et climatologiques. Deux paramètres les caractérisent le vent, à savoir sa vitesse et sa direction. La direction au vent indique d'où souffle le vent et se détermine à l'aide d'une girouette ou d'une manche à air. Sa force est catégorisée selon diverses échelles. En première vision, les vitesses s'expriment en mètre par seconde (m/s), kilomètre par heure (km/h) ou en nœuds (kt) avec $1\text{ m/s} = 3.6\text{ km/h} \approx 2\text{ kt}$.

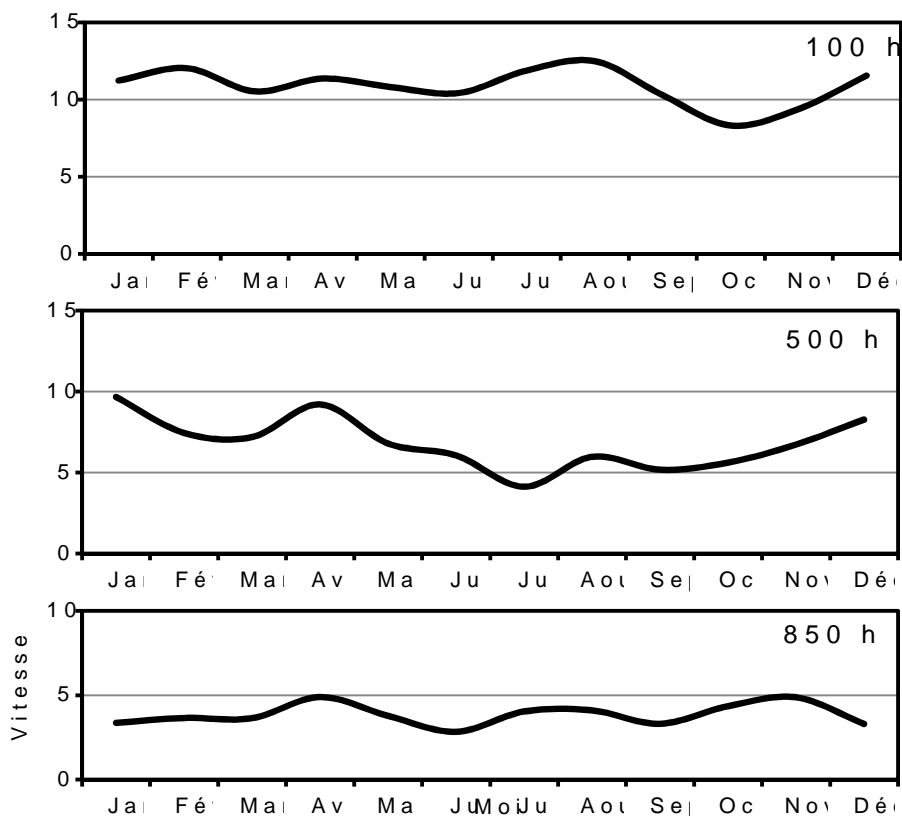


Figure 3.3. Évolution moyenne des vitesses des vents sur Douala (1999-2005).

La vitesse du vent diminue au voisinage du sol. Une diminution due au frottement de l'air par les obstacles de toute sorte (bâtiments, végétation, relief), avec une vitesse quasi nulle au sol (0 m/s au niveau du sol). En effet, la figure 3.3 présente les principales

caractéristiques saisonnières des vitesses des vents en altitude à Douala (1999-2005). On constate qu'• la basse troposphère (850hPa) ces vitesses sont faibles, de l'ordre de 4 m/s. La moyenne troposphère se caractérise par des vitesses des vents tout aussi faibles qu'• la basse troposphère de l'ordre de 5 m/s. A la haute troposphère, la moyenne des vitesses des vents est d'environ 12 m/s.

On peut retenir dans l'ensemble que les vitesses des vents en altitude sont faibles en toute saison. Il n'y a pas une différence majeure entre les vitesses des vents de la période pluvieuse et la période moins pluvieuse dans la station de Douala. Cette situation est expliquée par l'omniprésence du flux de mousson dans les couches atmosphériques d'où l'alourdissement des différentes masses d'air qui s'y trouvent.

Tableau 3.2. Vents moyens sur Douala (1999-2005)

P (hPa)	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
50	SE	W	W	W	NW	E	E	E	E	E	E	E
100	SW	NE	E	SE	E	E	NE	SE	SE	SE	SE	SW
150	SW	SW	SE	SE	NE	NE	E	SE	E	SE	SW	SW
200	SE	SE	SE	SE	E	NE	NE	NE	NE	SE	SE	SE
300	SE	SE	SE	SE	NE	NE	E	E	NE	SE	SE	SE
400	SE	E	SE	SE	E	SE	SE	SE	E	E	SE	E
500	E	SE	NE	E	E	NE	SE	NE	NE	NE	SE	E
700	NE	NE	NE	E	NE	E	SE	SE	NE	E	E	NE
850	N	NW	NE	SE	SE	SW	SW	SW	SW	E	NE	NE
1000	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW

La connaissance de la circulation atmosphérique dans la zone intertropicale indique qu'au dessus de la station de Douala se succèdent plusieurs masses d'air. Ces masses d'air sont entre autre la mousson dans les couches en contact direct avec les surfaces (occupe les 1 500 premiers mètres d'altitude). Elle va à l'altitude de cette altitude en été boréal (3 500 m environ). Au delà de 3 500 m d'altitude, évoluent les vents d'est en toute saison durant la période d'étude (1999-2005). Cf. Tableau 3.2. On peut donc dire que les principales caractéristiques du champ des vents en altitude sont les suivantes

- Permanence toute l'année d'un flux de mousson de SW • 1000 hPa

- Courant de secteurs généralisé dans les couches moyennes (700 hPa) avec accélération à 700 Pa (African East Jet) sauf en juin, juillet, août et septembre
- Une plus grande variabilité du vent dans les couches élevées (1000 Pa), avec en particulier:
 - a) De décembre • février, un noyau de vents d'ouest (W) assez fort (maximum entre 200 et 150 hPa) il s'agit de la bordure méridionale du JET. D,W situé entre 20 et 25°C pendant l'hiver boréal.
 - b) De juin • septembre, un noyau de vent d'est (maximum entre 250 et 150 hPa) s'agit du Tropical East Jet qui présente des vitesses assez variables pouvant atteindre 40 nœuds au dessus de la station de Douala

Figure 3.4. Structures moyennes pentadiennes des vents au dessus du Cameroun à 1200 et à 0000 (1999-2005).

III.1.4. Un gradient vertical humide assez fort dans la troposphère et quasi nul dans la stratosphère

L'humidité relative est le pourcentage d'humidité ou de vapeur d'eau, contenu dans l'air par rapport à la quantité maximum que peut recevoir cet air. Le point de rosée (T_d) quant à lui, est la température de saturation en vapeur d'eau, c'est une fonction de T (comme e_w est une fonction de T), T_d est la température à laquelle se produit la condensation lorsque T atteint T_d (ce qui se passe avec le refroidissement nocturne), est égal à e et donc Humidité relative = 100% puisque $e_w = e$.

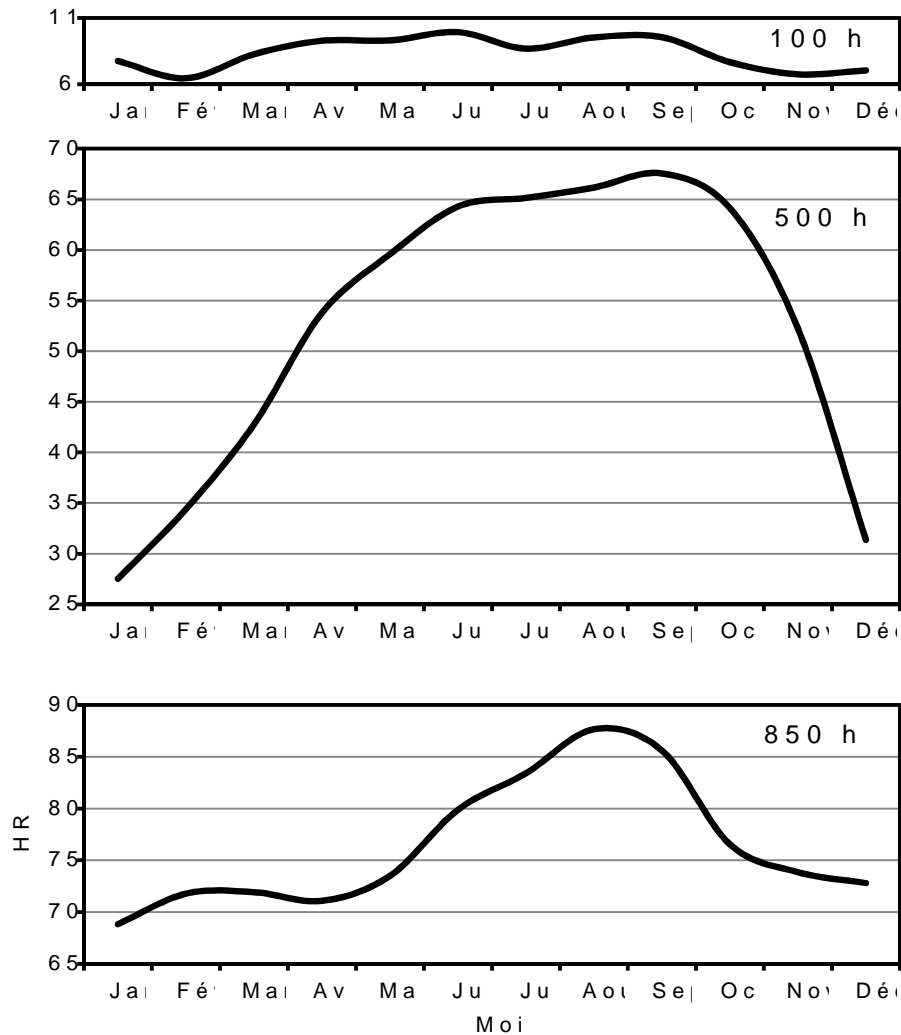


Figure 3.5. Évolution hygrométrique sur Douala 1999-2005

Cette figure présente la situation de l'humidité au-dessus de la station de Douala au cours de la période 1999-2005. Il ressort de cette figure que le taux d'humidité relative autour de 1500m d'altitude (la basse troposphère) est supérieur à 65% pendant toute l'année, environ 80% pour la période pluvieuse et plus de 85% pour la période boréale. Ce qui veut simplement dire qu'en moyenne, l'atmosphère à cette altitude n'est pas loin de la saturation (donc de la condensation). À 5800 m d'altitude, l'humidité relative, bien qu'ayant considérablement diminué, atteint encore 60% (plus de 65% en été boréal) pendant la période pluvieuse. À plus de 16 000m d'altitude, l'air est très sec (8% en moyenne) et bien que les valeurs soient mensuelles, la période pluvieuse se démarque toujours (autour de 10% d'humidité relative).

Du fait de la quasi-permanence du flux de mousson, l'humidité relative reste forte toute l'année en altitude. L'amplitude diurne de la température étant faible, celle de l'humidité relative est elle-même peu marquée et le plus souvent de l'ordre de 15 à 25%.

III.2. Les structures atmosphériques usées, moyennement pluvieuses et très pluvieuses

III.2.1. Les Géopotentiels Douala pour les lames d'eau de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm (maximum)

Dans cette partie nous traiterons les structures qui donnent lieu à moins de pluies (moins de 20 mm), de la normale pluviométrique (entre 20 mm et moins de 50 mm) et enfin plus de 50 mm

Mars

juil.

août

Nov.

Figure 3.6. Profils verticaux des géopotentiels au-dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum)

Bien qu'on ait observé des variations sur l'évolution saisonnière des surfaces isobares, le profil vertical montre une relative stabilité des surfaces isobares. Aussi, les situations présentent une organisation caractéristique et on n'arrive plus à identifier la situation moins pluvieuse de celle la plus pluvieuse. On peut donc dire que les géopotentiels n'ont pas un rythme défini en période anormalement pluvieuse ou sèche à quelque niveau que ce soit. Qu'en est-il alors des autres paramètres

III.2 Les températures dans la station de Douala (rainie normale) de 2020 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum)

Mars

Juillet

août

nov.

Figure 3.7. Profils verticaux des températures au-dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum).

Il en ressort que les températures varient très peu dans la station de Douala. Que ce soit en DSP, en PSP ou en FSP. Le constat est que les températures sont quasi stables avec des variations de l'ordre de 2°C maximum que ce soit en ce qui concerne le minimum que le maximum des pluies. On constate aussi que les pentes des courbes ont de légères différences ce qui traduit un refroidissement plus ou moins rapide de certaines couches par rapport à d'autres. C'est le cas des structures de PSP. En situation très pluvieuse, les températures sont plus froides dans les basses couches et plus chaudes dans les hautes couches par rapport à la situation dite normale.

III.2.13 humidité relative de Douala pour les lames de moins de 20 mm (minimum) de 20 mm à moins de 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum)

Mars

avril

mai

juin

juilt

a o û t

Sept

Oct.

Figure 3.8. Profils verticaux de l'humidité, relative au-dessus de Douala pour les lames d'eau de moins de 20mm (minimum) de 20 mm à 50 mm (normale) et de plus de 50 mm de pluie (maximum).

Les profils verticaux de l'humidité relative dans la troposphère de Douala en situation moins pluvieuse, en situation normale et en situation plus pluvieuse montrent des différences nettes. En effet, dans la quasi-totalité des cas, le profil d'humidité dans le cas

jours à plus de 50 mm de pluie, on observe une très forte humidité, presque 100% jusqu'aux couches moyennes. Cette humidité est exportée vers le haut et atteint les hautes couches de la troposphère en PSP. A côté de cette humidité forte, on note des situations où la teneur en humidité en ce moment est considérablement plus faible que dans toutes les autres situations. Ce qui nous pousse à nous poser la question de savoir pourquoi l'humidité relative diminue dans la troposphère, alors qu'au niveau du sol, de fortes précipitations sont observées.

En situation de faible hivernage, la troposphère se caractérise par un assèchement des basses couches et des couches moyennes, surtout en PSP. On se rend aussi compte au niveau de la surface 500 hPa aussi bien en période très pluvieuse qu'en saison moins pluvieuse. Une augmentation ou la baisse drastique s'observe tous

III. 2. L'énergie statique et ses composantes à Douala

L'Energie Statique Humide (ESH) est en fait une composante regroupant plusieurs paramètres fondamentaux, notamment la chaleur latente de vaporisation de l'eau (contenue dans la gouttelette) qui est responsable des transformations pseudo adiabatiques) et la chaleur spécifique (quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température d'une masse unitaire de ce corps). L'ESH par unité de masse (en joules), rend compte de la quantité d'énergie disponible à différents niveaux de pression. Elle nous informe également sur les transferts d'énergie de la surface du sol jusqu'à la haute troposphère. Peyrille (2006) in Bouli (2010), reconnaît à l'échelle locale que le gradient vertical de l'ESH influence les systèmes pluvio-gènes. La formule utilisée pour déterminer l'énergie statique humide est la suivante: $ESH = GZ + CpT + Lq$ où G désigne l'accélération de la pesanteur, Z le géopotential en m, Cp la chaleur spécifique à pression constante, T la température de l'air en K, L la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau, et q l'humidité spécifique. Cette grandeur est la somme de l'énergie potentielle (GZ), (de la chaleur sensible ($Cp * T$)), et de la chaleur latente ($L * q$) d'une particule d'eau à un niveau donné.

L'énergie latente du 22 août 2004 (78.1 mm) au-dessus de la moyenne à toutes les couches + 2,6 KJ dans les basses couches, + 1,3 KJ dans les moyennes couches et + 0,1 KJ dans les hautes couches, l'énergie statique humide de ce jour est supérieure également à celle de la moyenne à l'exception de la surface 500 hPa où le JEA s'est affaibli plus que la normale.

Les profils verticaux de l'énergie latente, de l'énergie sensible, de l'énergie potentielle et de l'énergie statique humide confirment qu'en situation de très forte pluie, la troposphère a un potentiel plus élevé d'énergie latente et de ce fait d'énergie statique humide.

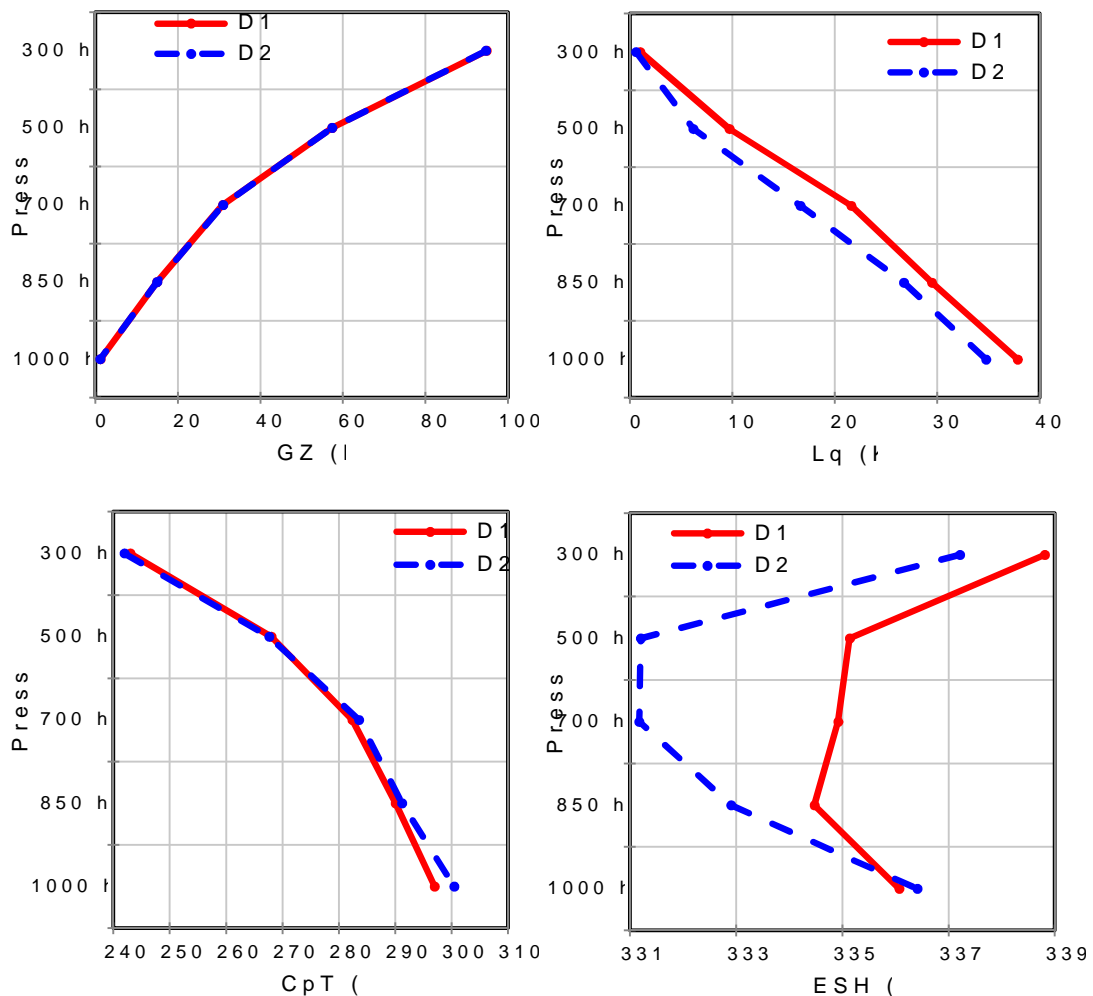


Figure 3.9 Profils verticaux de l'énergie potentielle (GZ), de l'énergie latente (Lq), de l'énergie sensible (CpT) et de l'énergie statique humide (ESH) du 22 août 2004 (D1. Courbes rouges) et de la moyenne du mois de juillet 1992-2005 (D2. Courbes bleues)

11.2.5. Les sondages extrêmes en été boréal

Les profils de la température pseudo-adiabatique du thermomètre mouillé, de la température du point de rosée et la température du thermomètre sec des jours très pluvieux à Douala ont été tracés.

11.2.5.1. Instabilité et nébulosité

Sur l'agramme 761, une particule d'air (point de condensation) est dite instable lorsque celle-ci est plus chaude que son environnement représenté par les points de saturation.

Lorsque la particule est • droite de la courbe d,ftat, alors la particule monte suivant l,adiabatique saturée et c,est la base des nuages. Cette particule monte tant qu,elle reste plus chaude que son environnement, mais si ce n,est plus le cas, alors la particule cesse de monter et c,est le sommet du nuage (figure 3.12)

L,étude des profils thermodynamiques de jours très pluvieux montre une très forte instabilité qui démarre dans les basses couches de la troposphère, entre 1000 hPa et 970 hPa soit entre 120 m et 300 m d,altitude (base des nuages) et s,arrête dans la haute troposphère entre 220 hPa et 110 hPa (sommet des nuages)

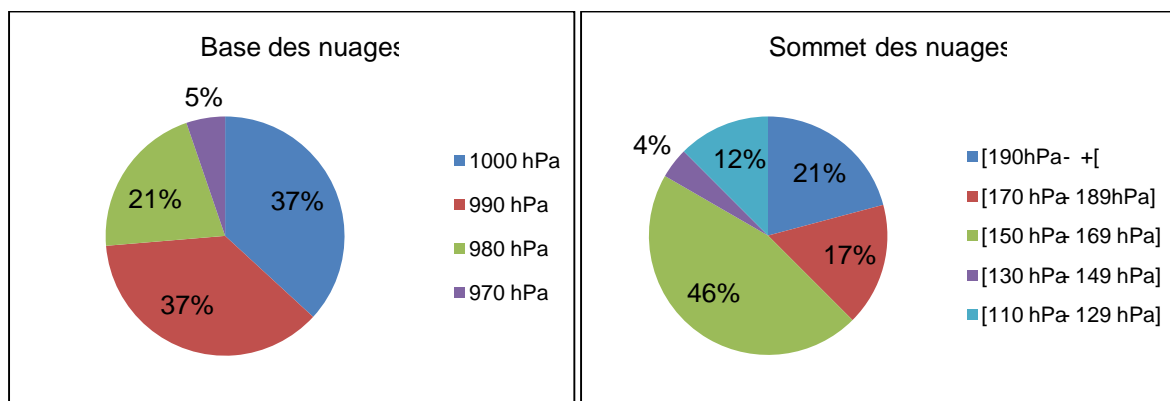


Figure 3.10. Base et sommet des nuages des jours très pluvieux de Léto, boréal, Douala

L,observation des moyennes des mois de Léto boréal montre que la base des nuages et le sommet des nuages ne varient pas beaucoup par rapport aux jours très pluvieux. En effet, on constate que, la base des nuages se situe plus en altitude soit respectivement à 960 hPa, 970 hPa, 980 hPa et 1000 hPa pour les mois de juin, de juillet, d,août et de septembre. Le sommet des nuages, pour toute période est localisé autour de 150 hPa. Les nuages observés sont de types cumulonimbus. L,air chaud et humide de Douala au sol, froid et sec en altitude favorise la formation des cumulonimbus. La proximité de la mer à Douala constitue un atout car elle emmagasine le rayonnement solaire qu,elle restitue à l,atmosphère alimentant en vapeur d,eau ces nuages • grand développement vertical • l,origine des orages et de fortes averses de pluie (figure 3.11)

Figure 3.11.Nébulosité et types de temps en fonction de la structure du FIT (Front InterTropical)

11.2.5.2 Types de temps associés à l'occurrence de plus de 10 mm de pluie

Les jours très pluvieux à Douala se caractérisent par une atmosphère très instable avec une mousson très fraîche et épaisse à 700 hPa, soit 3150 m d'altitude. L'humidité relative est très forte et se traduit par une diminution de l'écart entre les courbes du sondage. A 500 hPa, le Jet Est Africain est très faible, 7 m/s, tandis que le Jet Est Tropical est très fort, soit 40 m/s. L'air étant convectivement instable, il est proche de la saturation aux niveaux moyens et supérieurs ce qui favorise le grand développement vertical des nuages cumuliformes. Cette instabilité est le fait du réchauffement des basses couches, moyennes et hautes couches de l'atmosphère. Les mouvements ascendants seraient liés aux mouvements horizontaux dans les basses couches et de la situation de Douala proche de la zone de convergence intertropicale. Triplet (1986) associe ce cas à l'air convectif convergent influencé par des mouvements ascendants synoptiques en abrégé Cc, qui est un type de temps associé à cette masse d'air. Il réunit les caractéristiques de brassage convectif surtout liée à la décroissance verticale de la w (figure 3.12), les nuages éventuels sont des nuages de type cumuliforme, sont appelés nuages de convection. Selon leur température et la stabilité des couches moyennes et supérieures, le développement vertical peut être très important (cumulonimbus). La w à 20°C est la référence pour les pays tropicaux (météorologues de l'ASEAN-Douala, Triplet, 1986). C'est à partir d'elle que les sondages sont caractérisés. La figure 3.12, cet effet, présente de l'air chaud et humide, propice aux précipitations.

Figure 3.12. Structures atmosphériques très pluvieuses du 22 juin 2001 à Douala
cumulonimbus potentiellement géant des jours de plus de 50 mm

Par exemple, le 25 juillet 2017, nous avons regardé l'imagerie de 12 h et les précipitations observées à 12h (fig. 3.13) du Laboratoire de Recherche Aérienne (ARL). Nous constatons que le profil vertical de l'atmosphère est également apte à fournir des pluies (30 mm de pluie). La saturation en humidité s'observe entre la surface 750 hPa et 500 hPa.

Figure 3.13. Structure de l'atmosphère au-dessus de Douala et les pluies associées du 25 juillet 2017.

III.3.3 L'analyse des radiosondages par les régressions

Dans le cadre de cette analyse, la sélection des variables susceptibles d'être en relation avec les précipitations quotidiennes, est effectuée à l'aide des coefficients de corrélation entre quelques paramètres thermodynamiques obtenus par niveaux de pression standard : vitesse des vents, altitude géopotentielle, humidité spécifique, humidité relative, températures du thermomètre sec et du point de rosée et les quantités quotidiennes de pluie. Notre choix s'est porté sur les quatre variables dont le poids dans les régressions fait supérieur aux autres.

Tableau 33. Matrice de corrélation des variables troposphériques saisonnières de Douala avec les lames d'eau en mm

	T°C (500 hPa)	T°C (850 hPa)	Alt (700 hPa)	Alt (850 hPa)	Pluie
T°C (500 hPa)	1	0.892	-0.575	-0.839	-0.912
T°C (850 hPa)	0.892	1	-0.424	-0.800	-0.777
Alt (700 hPa)	-0.575	-0.424	1	0.879	0.750
Alt (850 hPa)	-0.839	-0.800	0.879	1	0.901
Pluie	-0.912	-0.777	0.750	0.901	1

Les géopotentiels de 850 et 700 hPa et les températures à 850 et 500 hPa montrent une corrélation significative avec la pluie un coefficient de détermination $R^2=0.915$. On peut donc s'autoriser à prédire les quantités quotidiennes des pluies à travers les valeurs des températures à 850 hPa et à 500 hPa et celles des altitudes géopotentielle à 850 hPa et à 700 hPa. L'équation du modèle pour prédire la pluie est, comme suit

$$\text{Pluie(en mm)} = 74.64 - 12.23 \cdot T^{\circ}\text{C (500 hPa)} + 4.39 \cdot T^{\circ}\text{C (850 hPa)} + 0.466 \cdot \text{Alt (700 hPa)} + 0.93 \cdot \text{Alt (850 hPa)}.$$

Suite aux résultats des régressions nous constatons que, plus les niveaux de 850 hPa et 500 hPa de la basse et de la moyenne troposphère sont froids, plus il pleut. Les corrélations linéaires simples entre ces variables et la pluie donnent respectivement des coefficients de détermination de l'ordre de 0.777 et de 0.912. Par contre, plus les altitudes géopotentielle des surfaces 850 hPa et 700 hPa augmentent, plus les pluies augmentent au sol (coefficient de détermination respectivement de 0.901 et de 0.750).

Tableau 34. Matrice de corrélation des tranches de pluies de [50 mm et plus].

	Alt (850)	T°C (850)	T°C (500)	Alt (700)	pluies
Alt (850)	1	-0.402	0.005	0.943	-0.272
T°C (850)	-0.402	1	0.355	-0.190	0.128
T°C (500)	0.005	0.355	1	0.157	-0.051
Alt (700)	0.943	-0.190	0.157	1	-0.189
Pluies	-0.272	0.128	-0.051	-0.189	1

Tableau 35. Matrice de corrélation des tranches de pluies de [100 mm et plus].

	Alt (850)	T°C (850)	T°C (500)	Alt (700)	pluies
Alt (850)	1	0.657	0.514	0.928	0.107
T°C (850)	0.657	1	0.823	0.874	-0.204
T°C (500)	0.514	0.823	1	0.685	0.116
Alt (700)	0.928	0.874	0.685	1	-0.028
Pluies	0.107	-0.204	0.116	-0.028	1

En ce qui concerne les prédictions des tranches de pluies [50 mm et plus], [100 mm et plus], la modification des variables montre qu'il est difficile de prédire les grandes quantités de pluies. Les coefficients de corrélation sont respectivement de l'ordre de 0.777 et de 0.432. Les conditions troposphériques montrent une mauvaise relation avec ces variables lors des grosses pluies. En fait, à la station de Douala, les services de la météorologie mesurent les pluies deux fois par jour à 8 h 00 et à 18 h 00 et les sondages atmosphériques y

sont effectués à 12 h 00 et à 00 h 00 qui est insuffisant pour saisir la variabilité temporelle de la troposphère. En plus, comme nous l'avons vu, il peut pleuvoir tout au long de la journée dans cette station. Dès lors, quelle structure devons-nous considérer pour caractériser ces événements pluvieux ? L'étude de la succession des structures troposphériques pluvieuses devrait vraisemblablement mieux prédire les fortes précipitations journalières.

III. DISCUSSION

De ce qui précède, il ressort que les données disponibles à la station de l'aéroport de Douala (celles que nous avons utilisées) permettent, somme toute, de montrer que les structures atmosphériques n'y connaissent pas de très grandes variations. Les légères variations spatiales des paramètres météorologiques tels que les altitudes géopotentielles, les températures, l'humidité relative et les vents suffisent pourtant pour que la situation pluviométrique change. Les périodes anormalement pluvieuses et sèches sont donc liées aux perturbations ponctuelles et mobiles difficiles à prévoir et qui échappent le plus souvent même à l'observation ponctuelle par les images satellites ou les images infrarouges comme des lignes de grains ou axes de cumulonimbus. Ces systèmes convectifs mobiles se déplacent d'est en ouest. Le front de ces lignes de grain est constitué d'air sec et d'air humide, très instable, et des averses de pluie en des temps relativement courts. Ce sont en fait les mouvements montant et descendant qui augmentent l'instabilité atmosphérique et nourrissent les orages. Les lignes de grain contribuent à près de 75% des pluies saisonnières de la zone soudanaise et un peu moins dans la zone guinéenne (Dhonneur ; 1978, Suchel; 1988).

D'ailleurs, une prévision statistique des pluies par les structures atmosphériques à Douala ne peut se faire que si les observations climatiques sont plus précises. Les résultats présentés indiquent également que la station de Douala jouit d'une situation privilégiée du fait de l'omniprésence de la mousson dans ses couches troposphériques. Si la basse troposphère de Douala présente des variations des flux de mousson, il en est de même de la moyenne et de la haute troposphère. En effet, il y a en permanence des flux d'Est. Dhonneur (1974) précise qu'aux mois de juillet et d'août, un courant fort d'Est souffle dans la haute troposphère (2000 hPa) il s'agit du JTE (Jet Tropical d'Est) qui, en fait, occupe la haute troposphère tropicale. Sa persistance en position, direction et intensité est remarquable et seules quelques petites variations non organisées sont repérées. Les études réalisées sur la variation de l'état de la troposphère en hivernage au pas de temps mensuel

sont en conformité avec les recherches de Dhonneur (1974), de Drochon (1976), de Fontaine (1988) et de Fofack (1993) en ce qui concerne les stations d'Abidjan, de Nouadhibou (côte occidentale), de Douala, de Ndjamena, de Niamey, de Bamako et de Dakar. De plus, sur plan latitudinal, Fontaine (1986) aboutit aux mêmes conclusions que nous. Les stations des basses côtes (Douala), sont sous l'influence du flux humide du SW. Cette advection est surmontée d'un flux généralisé de secteur Est qui s'intensifie en altitude, liée au JTE. Le maximum d'intensité de ces vents se trouve entre 2000 hPa.

L'étude que nous avons réalisée avait pour objectif d'aider à la maîtrise des inondations à Douala, pôle économique du Cameroun. Recourir aux structures atmosphériques pour gérer les inondations à Douala dans notre cas de figure et en fonction des résultats tirés de nos données vient à l'appui de la prise en compte de l'atmosphère de Douala, toujours prêtes à provoquer des quantités d'eau relativement fortes. En guise de réponse, les inondations récurrentes sont dues premièrement aux précipitations journalières exceptionnelles et deuxièmement aux caractéristiques de l'aménagement urbain déficient. Plus en détail, on peut évoquer une très faible incision des cours d'eau (causés par fréquents débordements), des sols hydromorphes très peu perméables, une pente faible, une nappe phréatique proche de la surface du sol (il ne faut pas creuser 1.5 m pour trouver de l'eau en saison des pluies), une domination des habitats précaires. Les sols sont très sableux (provenant des dunes) à sablonneux plus profonds et proviennent d'une conjonction des sédiments alluviaux de la Sanaga. Les sols sableux sont très poreux et conservent peu d'eau. Lorsqu'il tombe 30 mm de précipitation, c'est-à-dire 30 litres d'eau au m², comme observé le 25 juillet 2017, l'inondation est immédiate (Figure 3.)¹⁴

On peut donc diagnostiquer trois types d'inondation à Douala : les inondations par remontée de nappe puisque le sol est saturé, les inondations rapides des crues torrentielles (des cumuls de précipitations sur 5 jours pouvant atteindre 400 mm) et des crues rapides des bassins des affluents (limitation de l'infiltration des pluies, imperméabilisation des sols qui accentue le ruissellement). Dans ces conditions d'ensemble, comment pouvons-nous parvenir à gérer les inondations à Douala, est ce qui est entrepris au niveau de l'Etat et que, en tant que, nous, environnementaliste et climatologue, pouvons proposer comme solution afin de restaurer le blason terni de Douala.

La gestion des eaux pluviales au niveau parcellaire à Douala vise à compenser l'imperméabilisation des sols inhérente aux constructions et à l'aménagement des abords et même aux pentes faibles.

Figure 3.14. Zones à risque d'inondation, Ouest de Douala (Meva, 2013)

La communauté de Douala, face à ce KO, fait des efforts pour le bon drainage des eaux de pluies à Douala. Il est ainsi proposé de revoir la question du drainage de la ville de la façon suivante :

La communauté de Douala, face à ce KO, fait des efforts pour améliorer le drainage des eaux de pluies à Douala. Il est ainsi proposé de revoir la question du drainage de la ville de la façon suivante :

« - Entreprendre à court terme un reprofilage des drains pour rattraper la cote du fil d'eau naturel ce qui améliorera grandement les écoulements sur l'ensemble des 42 kms de drains primaires et réduira de manière radicale les inondations à Douala.

- Etablir une programmation pluriannuelle étalée sur 5 ans voire 10 ans permettant progressivement la canalisation des drains reprofilés selon une priorisation à redéfinir et des

techniques plus appropriées pour garantir une bonne pérennité des ouvrages (les talus en perrés maçonnés pourraient être remplacés par des parements en béton 38% plus cher mais bien plus durables et plus facilement entretenables). Source http://www.citiesalliance.org/sites/citiesalliance.org/files/CAFiles/Projects/0828_Rapport_CDS_fina141209.pdf

Concrètement, On peut aussi noter l'important projet de construction de 49 km de drains, le reprofilage et la canalisation de 20 km de drains principaux qui a finalement débuté en juin 2017. L'entreprise RAZEL pour le lot 1 (les travaux d'aménagement de l'axe 1 de Mbopi; L'entreprise SATOM sur le lot 2 a commencé le curage des exutoires des drains et poursuit les levés topographiques. L'envasement des exutoires occasionnent des débordements en amont de plus en plus étendus pour les quartiers riverains des drains. Rehausser des terres, canaliser les eaux, empêcher les populations à construire partout, la mise sur pied d'un système de vigilance et d'une législation applicable, toute la population, le recasement et le déguerpissement sont autant d'action que les décideurs préconisent dans cette ville.» (Source: <http://www.doualacm/upload/documents/IRCOD.pdf>)

L'enjeu de la gestion des inondations liées aux eaux pluviales réside dans la transformation de cette abondance d'eau en un moteur de développement urbain s'inscrivant dans la durabilité, la maîtrise circonstancielle des flux d'eaux pluviales, la régulation préventive et ponctuelle des risques urbains inhérents, la réutilisation durable des excès d'eau. L'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), par exemple, recommande pour gérer les eaux pluviales de minimiser les surfaces imperméabilisées, recueillir l'eau de pluie pour l'utiliser ou la restituer au milieu naturel par infiltration ou évaporation, ou encore la retenir et l'évacuer lentement vers le réseau d'égouts ou les eaux de surface» <http://www.guidibatiment.be>. Pour parvenir à ces résultats, cette gestion nécessite la mobilisation consensuelle de toutes les catégories d'acteurs urbains. Elle fait intervenir des dispositifs techniques et comportementaux en termes de savoir, de savoir-faire et de savoir-être. La gestion est en définitive une composante de la gouvernance urbaine des eaux pluviales. Nous pensons qu'il faut mettre en place une structure de veille, de suivi et de surveillance urbaine des eaux pluviales. Cette structure doit être multidisciplinaire et opérer en suivant une démarche participative (prise en compte de tous les acteurs) avec les pouvoirs publics, les collectivités territoriales, la population et la société civile. Le géographe climatologue, à travers une méthodologie appropriée, pourrait

mettre sur pied un système d'alerte climatique qui servirait aux autres membres de l'équipe comme les aménageurs, les hydrologues, les géomorphologues, les météorologues et les climatologues de travailler pour réduire ce fléau qui détruit l'image de la ville de Douala et • garder en tête qu, « il est très probable que les pluies intenses soient plus fréquentes au cours du XXIème siècle », GIEC, 2007.

III.5 CONCLUSION

A partir des données de radiosondages collectées dans la station de Douala, nous avons déterminé les structures barométriques, les structures thermiques, les structures hygrométriques et le régime des vents sur sept années consécutives (2005-2011) à travers les caractéristiques de dispersion. La station de Douala (4°01N) est plus exposée au flux humide de mousson que les autres stations plus continentales. La circulation atmosphérique et la teneur en humidité de la masse d'air expliquent les teneurs hygrométriques en période pluvieuse. Lors des situations de plus de 50 mm de pluies, la troposphère est très humide, presque 100% jusqu'aux couches moyennes. Cette humidité s'étend vers le haut et atteint les hautes couches de la troposphère en Pleine Saison Pluvieuse; ce qui semble ne pas être le cas des situations de faibles pluviométries. Il en est de même de l'Energie Statique Humide. Malgré ces caractéristiques, l'impression générale qui se dégage de ces structures atmosphériques pluvieuses est celle d'un manque d'organisation intrinsèque. La prédiction des tranches de pluies à l'aide de quelques variables atmosphériques s'est avérée impossible à partir des données disponibles in situ. L'observation plus fine de ces structures atmosphériques pluvieuses pourrait peut-être changer cette conclusion.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de ce travail où il s'agit de faire état des lieux des structures atmosphériques pluvieuses, ensuite de caractériser la pluviométrie de la station de Douala et enfin, d'établir le lien entre les structures atmosphériques et les pluies associées dans le but de mieux les prévoir. Il en ressort que la faible altitude de la station de Douala et le couvert végétal fort dégradé facilitent la pénétration du flux de mousson venant de l'océan atlantique par le golfe de Guinée. Cette mousson alimente toute l'année la troposphère en humidité associée à d'autres mécanismes de telle sorte qu'il pleut quasi tous les jours de l'année. Il n'y a pas de véritable saison sèche.

Cette mousson est surtout liée, dans les basses couches de l'atmosphère, aux variations saisonnières de la Zone de Convergence Intertropicale. Cette zone naît de la convergence des alizés. Ces vents sont issus des anticyclones subtropicaux et se dirigent vers les basses pressions équatoriales. Dans les couches moyennes et hautes de l'atmosphère, les intensités du jet Est africain et du jet Est tropical, en fonction du moment de l'année, influencent le flux de mousson et par conséquent le développement et l'organisation des précipitations.

A la station de Douala, les précipitations sont en majorité nocturnes de 75% des précipitations tombent au cours de la nuit. Tous les mois reçoivent l'essentiel de leurs précipitations pendant la nuit (plus de 50%). De plus, la fréquence des pluies est inférieure d'un mois à l'autre. En effet les mois de janvier, de juillet et d'août enregistrent environ 40% de leur précipitation en journée alors que les mois de février, de mars et de décembre reçoivent moins de 15% de leur pluie pendant la même période.

Les fortes précipitations (tranche de au moins 50 et 100mm) tombent en saison des pluies (PSP) et les plus faibles en début de saison des pluies (DSP) et en fin de saison des pluies (FSP), l'atmosphère n'étant pas suffisamment chargée à ce moment de l'année en humidité.

En ce qui concerne notre troisième objectif qui est d'établir le lien entre les structures atmosphériques et les pluies associées nous avons constaté que les structures barométriques et thermiques des lieux étudiés varient en fonction de la Pleine Saison des Pluies (PSP), du Début de la Saison des Pluies (DSP) et de la Fin de la Saison des Pluies (FSP). En période de paroxysme pluviométrique, la station de Douala, connaît de hauts géopotentiels dans la basse, la moyenne et la haute troposphère par rapport au DSP et à la

FSP. A cette période également, les températures baissent dans l'ensemble de la troposphère camerounaise. La masse d'air chaud s'échappe du sol, se dilate et entraîne sa dilatation qui la refroidit (elle devient plus dense) et crée donc des hautes pressions en altitude (Dhonneur, 1978). Les équinoxes boréaux de printemps et d'automne sont, par contre, celles où les variables atmosphériques ont des valeurs relativement faibles (faibles).

Une des conclusions importantes est que les profils verticaux des températures et des géopotentiels présentent de très faibles variations entre les 3 classes de pluies. Finalement, il existe une relation entre les géopotentiels et les températures d'une part et les précipitations d'autre part au Cameroun de telle sorte que la période de hauts géopotentiels des basses et moyennes couches, coïncide avec celle de basses températures superficielles. C'est également à ce moment qu'au niveau du sol sont observés les pics des précipitations.

L'analyse statistique des données des vents, de l'humidité relative et de l'énergie statique humide montre que l'association entre les flux, l'humidité relative et l'énergie statique humide d'une part et les précipitations d'une autre part sont plus fortes en fait qu'aux équinoxes de printemps et d'automne. Il ressort que la région côtière, référence faite à la station de Douala (4°01N), dispose en permanence d'un potentiel d'humidité et de pluie.

Les profils thermodynamiques verticaux des mois pluvieux des stations d'étude ont été réalisés et les quantités de pluie sont corrélées à quelques paramètres thermodynamiques. La quasi-totalité des structures atmosphériques pluvieuses au Cameroun se caractérise par de l'air convectif convergent influencé par des mouvements ascendants synoptiques. Ce trait caractéristique de la masse d'air qui varie en fonction de la saison et de la latitude, va ainsi s'intensifier ou s'affaiblir. Les modèles développés par les régressions multiples entre quelques paramètres thermodynamiques et les quantités de pluies moyennes mettent en évidence l'influence diverse des niveaux de pression atmosphérique et de ses variables sur les quantités de pluies observées au niveau du sol à Douala. Les températures à 850 hPa et à 500 hPa, l'altitude géopotentielle à 850 et à 700 hPa prédisent mieux les pluies que les autres variables testées. Il s'avère que les fortes pluies, ne sont statistiquement prédictibles. Cela peut se comprendre car c'est l'association de plusieurs structures qui provoque les quantités de pluies différentes. A Douala, les services de la météorologie mesurent les pluies deux fois par jour à 8h00 et à 18h00. Les ballons sont lâchés à 12 h 00 et à 00 h 00. Ce qui est insuffisant pour saisir la réalité de la troposphère.

Ces résultats sont satisfaisants et augurent d'une certaine amélioration de la prévision des quantités de pluies (en trois classes différentes) grâce aux structures atmosphériques. Cependant, il est nécessaire de mettre sur pied des systèmes d'observation plus performants en surface comme en altitude afin de recueillir des données fiables et continues sur la totalité de la surface du territoire. Ce n'est qu'à travers cela, que les mécanismes des précipitations seront mieux maîtrisés. Nous espérons que ce travail sera poursuivi et complété. Il permettra alors aussi bien aux chercheurs qu'aux prévisionnistes des régions équatoriales de l'Afrique Centrale en général et du Cameroun en particulier d'améliorer leurs modèles d'analyses, et ainsi de mieux comprendre les mécanismes qui régissent l'atmosphère intertropicale pendant la mousson estivale. Les Termes De Référence (TDR) de la gestion de l'eau de Douala seront plus spécifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Achoundong, 2006 Végétation in Jeune Afrique (Ed) Atlas du Cameroun Paris, pp 64-65.
- Alexandre (J), Erpicum (M), 1990. Variation interdiurne de la température et advection in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, satellites et climatologie actes de colloque de Lannion Rennes (France) du 20 au 22 juin 1990, édité par Jean Mounier, Université de Rennes 2, p 31-33.
- Anafak Manetsa (C), 2005 Structure de l'atmosphère au dessus de Douala et relations avec les précipitations, mémoire de Maîtrise Université de Yaoundé I, juin 2005.
- Anafak Manetsa (C), 2006 Structure de l'atmosphère au dessus du Cameroun et relations avec les précipitations, mémoire de DEA, Université de Yaoundé I, février 2007.
- Aragao (JOR), Roucou (P), Harzallah (A), Fontaine (B), Janicot (S), 1994 Variabilité atmosphérique sur le Nordeste brésilien dans le modèle de circulation générale du LMD (1970-1988) in Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 7, p 432-438.
- Ardoin-Bardin (S), 2004 Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrogéographiques en zones sahélo-sahéliennes thèse de doctorat, université Montpellier, 19 avril 2004.
- Assani (A A) 1999. Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1996) à Lubumbashi (Congo Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña) in sécheresses n°4, vol 10, p 245-252, décembre.
- Atmosphériques juillet 2002. Magazine de Météo France N° 15
- Balme (M), Galle (S), Lebel (T), 2005 Démarrage de la saison des pluies au Sahel variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger in Sécheresses vol 16, N°1, PP. 15-22, mars 2005.
- Bangue (B), 1979 Les températures à Douala 1949-1970 mémoire de DES, UY1.
- Baud (P), Bourgeat (S), Bras (C), 1997 Dictionnaire de géographie Hatier, Paris.
- Bella Medjo (M), 2003 Transport d'humidité et cycle de l'eau atmosphérique en Afrique de l'Ouest de 1979, 2001 rapport de stage, université de Bourgogne, 40 p.
- Belle (B), Guillot (B), Noyet (A). Surveillance de la convection intertropicale, Extraction des nuages à sommet froid et étude de leur répartition géographique du 11 Mai au 10 Juin 1985
- Beltrango (G), 1989. Rayonnement grande longueur d'onde et circulation atmosphérique sur l'Afrique et l'océan indien relation avec la petite saison des pluies en Afrique orientale in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol 2,

- Bisci (C), Cellini (M), Farabollini (P), Pittor(C), 1989. Le gradient thermique vertical dans les marches méridionales (Italie centrale) Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol 2, p 2733.
- Bisseck (H), 1995Fondements physiques de la météorologie dynamique, Karthala, Paris 197 p.
- Bouali (L), 2009. Prévisibilité et prévision statistique dynamique des saisons des pluies associées à la mousson ouest africaine à partir d'ensembles modèles thèse de doctorat, spécialité Géographie, option Climatologie Université de Bourgogne, présentée le 25 mai 2009.
- Boucher, I. (2010). La gestion durable des eaux de pluie, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable, ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, coll. « Planification territoriale et développement durable », 118 p.
- Bring, 2005.Estimation des ressources en eau atmosphérique au Cameroun thèse de doctorat, Université de Ngaoundéré, 2005.
- Brunet Moret (Y), 1971. Étude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses, O.R.S.T.O.M Sér. Hydrol., vol. VIII, no 4, 1971
- Brunet (R); Ferras (R); They (1998) Les mots de la géographie dictionnaire critique, Montpellier“ paris, reclusa documentation française, 520p, 3^e édition.
- BUCREP (Bureau for Population Census and Research), 2010, report of results of the general census of population and habitat (2005) volumes + 1 special edition.
- BUCREP (2005), 3 ème RGPH, Rapport de présentation des résultats définitifs du 3ème recensement général de la population du Cameroun, Yaoundé, volume 2, 67p.
- Bulletin de Veille climatique continentale N°21, juillet 2006, ACMAD
- Bulletin de Veille climatique continentale N°22, août 2006, ACMAD
- Bulletin de Veille climatique pour l'Afrique N°7, juillet 2007, ACMAD
- Bulletin de Veille climatique pour l'Afrique N°8, août 2007, ACMAD
- Camberlin (Pierre), 2007, Afrique centrale dans le contexte de la variabilité climatique tropicale interannuelle et intrasaisonnière Manuscrit auteur, publié dans l'Afrique Centrale, le Cameroun et les changements globaux Yaoundé : Cameroun, 13 pages.
- Camberlin (P), Beltrami (G), Fontaine (B), Richard (Y) Pluviométrie et crises climatiques en Afrique tropicale: changements durables ou fluctuations interannuelles, Historiens et Géographes N°379, 11 pages, PP. 2631.

- Camberlin (P), Richard (Y), Beltrango (G), 1994. *Structures spatiales et temporelles de la pluviométrie sur la façade orientale de l'Afrique, de l'Éthiopie au Mozambique* in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, p 447-454
- Carbonnel, Nicholas, Hubert, 2000. *Mise en évidence de la variabilité des précipitations en Afrique tropicale humide* UNESCO, 2000.
- Cariolle (D), 1993. *L'évolution de la couche d'ozone stratosphérique en Afrique* La Météorologie 8^e série, N°1, p 22-27.
- Carrega (P), 1994. *Topo-climatologie et habitat* revue de géographie du laboratoire d'Analyse Spatiale, Quantitative et Appliquée Raoul Blanchard, U.F.R. Espaces et Cultures, Université de Nice Sophia Antipolis, N°35 et N°36, 1994
- Carrega (P), 2007. *Changement climatique, évolution des risques, et conflits* Actes du colloque international: L'Afrique Centrale, le Cameroun et les changements globaux Yaoundé. 6-8 juin 2007. Presses univ. Orléans. pp.-343.
- Carrega (P), 2010. *Geographical Information and Climatology* Istec (Londres), Wiley (Hoboken), 274 p.
- Chaboud (R) 1994. *Pleuvra, pleuvra pas* Gallimard Jeunesse.
- Champeaux (JL), Goutorbe (JP), Peris (P), 1990. *Analyse de la température et des précipitations par type de temps sur le sud ouest de la France* Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Actes de colloque de Lannion (France) du 20 au 22 juin 1990, édité par Jean Mounier, Université de Rennes 2, p 30-35.
- Chauvelier (F), Donque (G), Giacotti (J.C), Leroux (M), 1975. *Études et documents de géographie tropicale, six études de climatologie tropicale*, N°19, CNRS, CEGET.
- Chetima Boukar, 2007. *Variabilité climatique et mutations socio-spatiales autour des aires protégées du Sahel camerounais: le cas du parc National de Waza* Mémoire de DEA, Université de Yaoundé, 2007.
- Contribution , *Étude du climat et de la prévision du temps en République Centrafricaine* (Monographies M. N. n°43 Paris 1965)
- Crespi (M), Monai (M), 1989. *Étude de la climatologie dynamique de la région de Veneto* in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol 2, p 0000.
- Dagorne D. 1988, *Traitement des données satellitaires • l'antenne ORSTOM de Lambrun* logiciel TRISKEL, Veille Climatique Satellitaire n°23 et n°24.
- Dechemi (N), Ait Mouhour (D), Souag (D), 2000. *Contribution • l'analyse du régime pluviométrique sur le littoral algérien* Sécheresses n°1, vol 11, p 510.
- Deme (A), Pierre de Felice, Viltard (A), 2005. *Prévision de la pluie à Dakar par le moyen d'indices*, Science et changements planétaires Sécheresses Volume 16, Numéro 3, 189-98, juillet-août-septembre 2005, Article de recherche

- Der Megreditchian G., 1983. Le traitement Statistique des données multidimensionnelles
Direction de La Météorologie, 1983.
- Dhonneur G. 1974. Exposé des conditions météorologiques sur les régions voisines du Lac Tchad Nouvelle approche des réalités météorologiques de l'Afrique Occidentale et Centrale Asecna, tome 1.
- Dhonneur (G), 1978. Cours de météorologie tropicale tome 1, texte et annexe.
- Diop (M), Maloba Makanga (M), Samba (G), 1998. Variabilité des précipitations de l'espace Congo-Gabon et relations avec quelques indices de températures de surfaces marine (1951-1993) in Publications de l'Association Internationale de Climatologie 11, p 177-184.
- Diop (B), Fongang (S), Adamou (G), Traoré (F), 1984. Structure énergétique verticale de Dakar in Publications de l'Association Internationale de Climatologie 7, p 75-82.
- Djoufack Manetsa (V), 2005. Variabilité des précipitations au Cameroun et leurs relations avec la circulation atmosphérique, mémoire de DEA Université de Yaoundé I.
- Djoufack Manetsa (V), 2011. Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI thèse de doctorat, cotutelle de thèse (université de Yaoundé I et université de Bourgogne), 30 septembre 2011.
- Dorize (L), 1988. Dynamique de la circulation atmosphérique et mousson africaine : rapport des images MÉTÉOSAT, in Climats et Climatologie, vol 1, hommage au professeur Pierre Pagney, p 127-138, Université de Paris IV, UA 141 du CNRS.
- Douguedroit (A), 1988. Variations des précipitations annuelles en Afrique Orientale in Climats et Climatologie, vol 1, hommage au professeur Pierre Pagney, p 139-148, Université de Paris IV, UA 141 du CNRS.
- Douguedroit (A), 1989. Les variations saisonnières des régions pluviométriques du Rwanda in Publications de l'Association Internationale de Climatologie 2, pp 133-141.
- Douguedroit (A) Bart (F), Ntombi (MKM), 1990. Type de temps de grande saison sèche dans l'Afrique des grands lacs in Publications de l'Association Internationale de Climatologie satellites et climatologie, actes de colloque de La Réunion (France) du 20 au 22 juillet 1990, édité par Jean Mounier, Université de Rennes 2, p 115-128.
- Douguedroit (A), 2005. La « révolution scientifique » de la climatologie pendant la seconde moitié du XX^e siècle : le paradigme de l'état du système climatique. Annales de l'Association Internationale de Climatologie, vol 2, 2005

- Drochon, 1976. Données climatologiques au sol et en altitude pour la station d'Abidjan bureau d'études ASECNA, N°55.
- Ducrocq (V) ; Aullo (G) ; Santurette (P), 2003. Les précipitations intenses et les inondations des 12 et 13 novembre 1999 sur le sud de la France. Société météorologique de France, Paris (FRA), Météorologie N°42, août 2003.
- Dudouit (A), 2003. Essai de prévision locale des conditions aérologiques de surface, exemple de la baie de salennes à Ouistreham en basse Normandie in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, volume 15, pages 199-208.
- École Africaine de la Météorologie et de l'Aviation Civile (EAMAC). Les météores autres que les nuages. ASECNA Niamey
- El Jihad (M D), 2003. Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oron (Maroc Central) aspects et fréquences. Sécheresses N°3, vol 14,
- Encrenaz (T), mars 2000. Atmosphères planétaires origine et évolution. Berlin, CNRS éditions, 151 pages.
- Epicum (M), Nambi, 1991. Variations saisonnières du profil vertical du vent dans la région de Lubumbashi (haut Shaba, Zaire). Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 2, p 27-33, Université de Liège Laboratoire de géographie physique: 7, place du 20 août 4000 Liège.
- Escourou (G) 1978. Climatologie pratique. Masson, collection géographie, Paris.
- Estienne (P), Godard (A), 1970. Climatologie. Armand Collin, Paris.
- Fofack (J), 1993. Mécanismes des précipitations au Cameroun. Mémoire d'ingénieur en météorologie, EAMAC, Niamey, Niger, mai 1993.
- Fogwé, Z. N., & Tchotsoua, M. (2007). Evaluation géographique de deux décennies de lutte contre les inondations dans la ville de Douala (Cameroun). Rapport, Université de Douala. Actes des JSIRA 6.
- Fontaine (B), 1988. État moyen et dynamisme de la troposphère ouest africaine. Saisonnière et variations selon la pluviosité d'hivernage (1977-1978) in Climats et Climatologie vol 1, hommage au professeur Pierre Pagney, p 203-215, Université de Paris IV, UA 141 du CNRS.
- Fontaine (B), 1991. Variabilité et téléconnexions des moussons pluvieuses indiennes et ouest africaine in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Université de Liège Laboratoire de géographie physique, place du 20 août 4000 Liège.
- Fontaine (B), Janicot (S), 1992. Wind field coherence and its variation over West Africa in Journal of Climate n°5, pp 512-524.
- Hangnon, H., de Longueville, F., & Ozer, P. (2015). Précipitations "extrêmes", et inondations à Ouagadougou; quand le développement urbain est mal maîtrisé. Actes du 28e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie, page 497-502. Université de Liège.

- Gaye (A), Fongang (S), 1994. Profil vertical de vapeur d'eau, jet subsynoptical et pluies d'hiver à Dakar entre 1990 et 1994. Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 7, p 469-476.
- George (J J), 1960. Weather forecasting for aeronautics. New York and London Academic Press, ix, 673 p; 592 Figures; 7 tables.
- Georges (P), 1984. Dictionnaire de géographie. Troisième édition revue et augmentée, PUF.
- Georges (P) 1970. Dictionnaire de géographie. Paris, PUF, 448P.
- German (H), 1970. Météorologie dynamique et climatologie. Actes d'une conférence donnée le 8 novembre 1968, ASECNA, Dakar.
- GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de-)]. GIEC, Genève, Suisse, 103; pages disponible sur https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_fr.pdf
- Godart (A), 2006. Climatologie des pluies en zone de relief marqué. Recherche des paramètres atmosphériques associés à la convection peu profonde, rapport de stage effectué au Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement, Equipe Atmosphère et Systèmes Précipitant, M2R Sciences de la Terre, de l'Univ et de l'Environnement. Université Joseph Fourier de Grenoble, septembre 2006.
- Gravier (J), 1988. Variation du champ électrique et instabilité de l'air. Analyse de quelques exemples caractéristiques in *Climats et Climatologie*, vol d'hommage au professeur Pierre Pagney, p 212-229, Université de Paris IV, UA 141 du CNRS.
- Guilcher (A), 1988. Océan et atmosphère. Le cas du Nino et de son homologue-antidote in *Climats et Climatologie*, vol d'hommage au professeur Pierre Pagney, p 25-43 Université de Paris IV, UA 141 du CNRS.
- Guillot (B), Carn (M), Dagorne (D), 1988. Remarques • propos de l'effet des facteurs locaux sur l'activité convective en Afrique de l'Ouest et dans l'Atlantique Tropicale. *Revue Climatologie Satellitaire* n°21.
- Janicot (S), Entaine (B), 1993. L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente du cycle de l'eau atmosphérique en Afrique de l'Ouest. *Revue de Météorologie* 8^e série, N°1, p 22-27.
- Janin (P), 2010. La lutte contre l'insécurité alimentaire au Sahel. Permanence des questionnements et évolution des approches. *Cahier agricole* vol. 19, N°3, mai-juin 2010.

- Joly (D), 1988. La stratification thermique de la couche proche du sol : représentation graphique in *Climats et Climatologie*, hommage au professeur Pierre Pagney, pp 281-292, Université de Paris IV, UA 141 du CNRS.
- Joussaume (S) 1990. *Climat d'hier, demain*, CNRS Editions.
- Kalomba (K), Ntombi (MKM), Ercicum (M), 1991. Caractérisation des anomalies pluviométriques de la saison des pluies 1990 dans le sud est du Zaïre, in *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* 4, actes de colloque de Fribourg, du 11 au 13 septembre 1991, pp 205-219.
- Kenfack Takougang (T O), 2004. Les associations nuageuses au Cameroun : mémoire de maîtrise, Université de Yaoundé I, 2004.
- Kerry (E), 1994. *Atmospheric Convection*, Oxford University Press, 1994.
- Kidson (J.W), 1977. African rainfall and its relation to the upper air circulation, *QJRMS*, july.
- Kraus (E.B), 1977. Subtropical droughts and cross equatorial energy transports. The seasonal excursion of the ITCZ. *Monthly weather review*, n°106, pp 333-346, mars.
- Kuriel (H), 1991. Variations temporaires et spatiales récentes de la pression atmosphérique au-dessus de l'Europe et du Moyen Orient et leur influence sur le régime des pluies en Israël in *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* 4, actes de colloque de Fribourg, du 11 au 13 septembre 1991, pp 14-19.
- Lahuec (J. P), 1986. Convection intertropicale et pluviométrie. *Revue Climatologie Satellitaire*.
- Lamarre (D), Tchiade (G), 1998. Variété des régimes pluviométriques «équatoriaux» dans l'atlantique au large de l'Afrique (archipel de Sao tomé et Príncipe). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* 11, pp 193-198.
- Lamb (P.J), 1983. West Africa water variations between recent contracting-Saharan droughts in *Tellus* A35, pp 198-212.
- « La mousson ouest Africaine et ses composantes », communauté française, projet de Recherche
- Lavaysse (C), 2006. Étude des relations Ondes de convection, pluies et influence de la variabilité du flux de mousson en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 12 avril 2006, 226 P
- Lebel (T), Amani (A), Taupin (JD), 1994. La pluie au Sahel une variable rebelle à la régionalisation. Xe journée hydrologique, ORSTOM, septembre 1994.
- Le Houérou (H N), 1986. La variabilité de la pluviosité annuelle dans quelques régions arides du monde et ses conséquences écologiques. In *Le Houérou (ed): les hommes face aux sécheresses, Sahel africain et Nordeste brésilien*, institut des hautes études de l'Afrique Latine, université de Paris III, pp 127-138.

- Le Lay (M), 2006. Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydroclimatique. Une approche comparative pour l'étude de l'hydrologie à méso échelle au Bénin Thèse de Doctorat, Institut National de Grenoble, 9 février 2006.
- Lenouo (A); Monkam (D); Vondou (D A); Tanessong (R S); Mkankam Kamga (F), 2009. Analyse des conditions météorologiques pour la sécurité aérienne au Bénin. Météorologie N°65, mai 2009.
- Leroux (M), 1972 La dynamique des précipitations en Afrique occidentale. Thèse de doctorat 3^e cycle université de Dakar, ASECNA Dakar, avril.
- Leroux (M) 1983, Le climat de l'Afrique tropicale 2 vol: texte, 633 p et atlas, éditions Champions, Paris.
- Leroux (M) 1988. La variabilité des précipitations en Afrique Occidentale et ses composants aérologiques du problème. Veille Climatologique Satellitaire, n°22.
- Leroux (M), 1993. La circulation zonale dite «de Walker» en Afrique: Mythe ou réalité? in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol 6, institut de géographie 29 avenue Robert Schuman, édité par Panagiotis Maheras, 496-487
- Leroux (M), 1993. Structure et dynamique de la circulation dans l'hémisphère Nord in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol 6, institut de géographie 29 avenue Robert Schuman, édité par Panagiotis Maheras, 81 pp 69
- Letouzey (R), 1968. Étude phytogéographique du Cameroun. Encyclopédie biologique LXIX Le chevalier, Paris, 511 p.
- Lityncki (J), 1991. Gradients verticaux climatologiques de la température et des précipitations au Québec in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol 4, actes de colloque de Fribourg, du 11 au 13 septembre 1991, 29-291
- Louvet (S), 2008. Modulations intrasaisonniers de la mousson d'Afrique de l'Ouest et impacts sur les vecteurs du paludisme à Ndiop (Sénégal) : diagnostics et prévisibilité, Thèse de doctorat en géographie et climatologie, Université de Bourgogne, 253 pages, 2008.
- Mahé (G), Citeau (J), 1993. Relations océan-atmosphère-continent dans l'espace africain de la mousson atlantique. Schéma général et cas particulier de 1984, Veille Climatologique Satellitaire Ed. ORSTOMMETEO FRANCE, 44, 34:54.
- Maheras (P), Kutiel (H), Vafiadis (M), 1998. Tendances spatiales et temporelles de la pression atmosphérique de surface et des géopotentiels de 500 hPa en Europe Méridionale et en méditerranée durant la période 1950-1994, in Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol 11, p 345-351.
- Mainet (G), 1986. Douala: une grande ville africaine sous l'équateur. Tome 1, pp 2-25 doctorat d'état.

- Maloba Makanga (JD), Boko (M), 2000. Nébulosité, précipitations et facteurs géographiques en Afrique équatoriale atlantique durant les saisons juin et décembre-février in Sécheresses N°1, vol 11, pp 1417.
- Mamassis (N), Koutsoyiannis (D), 1993. Structure stochastique des pluies intenses par type de temps in Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 6, institut de géographie 29 avenue Robert Schuman, édité par Panagiotis Maheras, pp 301-313.
- Mamert, F. L. (2000). Plan municipal de gestion de l'environnement de Douala.
- Mandengue (D) 1965. Les perturbations atmosphériques et les précipitations dans la région de Douala N. E. D. R. M n°209 Paris.
- Meddi (M), Meddi (H), 1998. Étude des pluies annuelles et journalières du Sahara algérien, in Sécheresses N°3, vol 9, septembre 1998.
- Météo France, 2011. Présentation du phénomène inondation et impact du changement climatique sur le risque inondation, Colloque NaTech, 2011, p.
- Meva, a Abomo D. (2013). Gouvernance urbaine des eaux de pluies entre contrainte et opportunité de développement urbain de Douala Cameroun, communication NOVATECH, 2013, 10p
- Mkankam Kamga (F), Tsalefac (M), Mbane (CB), 1994. Variabilité pluviométrique sur le territoire camerounais : essai de régionalisation à partir des cumuls mensuels et du cycle annuel des précipitations Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 7, pp 439-446.
- Monkam (D), 2007. Influence des deux régimes d'ondes d'est sur les flux de vapeur d'eau en Afrique de l'Ouest durant l'été 1981 Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 18, Numéro 2, 895, Avril-Mai-Juin 2007, Articles scientifiques.
- Monkam (D) et Lenouo (A) 2009 Situation météorologique des 4 et 5 mai 2007 à Douala au Cameroun : analyse des observations et prévision numérique Revue Télédétection 2010, vol. 9, n° 1, p. 457.
- Morel (R), 1991. Evolution de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest depuis 1950 in Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 4, actes de colloque de Fribourg, du 11 au 13 septembre 1991, p. 267
- Morell (J), 1967. Considérations sur les types de temps de la grande saison des pluies, 1967 à Abidjan, ASECNA, N°12.
- Morin (S), 1979. • Orohydrographie, géomorphologie – Atlas du Cameroun Paris, Jeune Afrique.
- Neviere (E), 1959. Relation entre les courants rapides et les types de temps en Afrique Equatoriale (Monographies M. N. n°14 Paris 1959).

- Newell (R E), Kidson (J E), 1984. African mean wind changes between sahelian wet and dry periods, *Journal of climatology*
- Nguemdjo Kayo (N V), 2007. Variabilité des précipitations dans le bassin de la Sanaga de 1950 à 2005. mémoire de maîtrise, Université de Yaoundé I, 2007.
- Note sur la variation diurne du FIT en A.E.F, 1959. *Monographies M. N. n°14* Paris.
- Ntamack (D), 1978. Étude géographique du climat de Douala. Paris, Université de Paris " Sorbonne (U.E.R de géographie tropicale), mémoire de maîtrise, 63p
- Ntombi (MKM), 1988. Evolution de l'humidité atmosphérique au cours de l'année dans la partie inférieure de la troposphère d'une région tropicale humide de Lubumbashi (haut Shaba, Zaïre), actes journées climat Mont-Rigi, Liège, pp 237-252.
- Ntombi (MKM), 1990. Étude des sondages aérologiques et des images satellitaires de Meteosat en vue de l'explication du climat de la région de Lubumbashi (Shaba méridional, Zaïre) thèse de doctorat, fac sciences, Université de Liège, 377 p.
- Ntombi (MKM), 1991. Importance de la confluence interocéanique de l'«O» pour la prévision du début de la saison des pluies en Afrique Tropicale Australe Occidentale in Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 4, actes de colloque de Fribourg, du 11 au 13 septembre 1991, pp 225-228
- Olechnawicz Bobrowska (B), 1993. La sécheresse de l'été 1992 en Pologne. Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 6, institut de géographie 29 avenue robert Schuman, édité par Panagiotis Maheras, pp 121-125
- Olivry (JC), 1986. Fleuves et rivières du Cameroun (monographies hydrologiques), Paris, ORSTOM, 733 p.
- ONADEF, 1984. Carte écologique de la végétation du Cameroun, l'échelle 1:1 000 000, Yaoundé.
- Panagiotis (M), 1988. La dynamique des précipitations le long des côtes ioniennes et adriatiques in *Climats et Climatologie* vol d, hommage au professeur Pierre Pagney, pp 319-329, Université de Paris IV, UA 141 du CNRS.
- Péguy (Ch.P) 1989. Jeux et enjeux de climat. pratiques de géographie, Masson, Paris 255 p.
- Peppler (RA), Lamb (JP), 1989. Tropospheric static stability and central north American growing season rainfall. *Mon. Weather Rev.*, n°117, pp 1156-1180.
- Quoidbach (J), Golbe (G), 1987. Vent en altitude au Congo. RM, Bruxelles, 69 p.
- Richard (Y), Zhao (Y), Camberlin (P), 2000. Précipitations en Afrique du Sud. changements climatiques simulés par le modèle de la circulation générale Arpège/OPA et par désagrégation régionale. *EN*, vol 11.

- Rochas (M.J), 1993. Les principes de la mécanique et les équations de la météorologie in *Météorologie* 8^e série, N°1, pp 227.
- Rossignol (D), 1986 Classification automatique des radiosondages *Ends Documentaire ORSTOM*, Centre ORSTOM Guadeloupe, Pointe à pitre, 1986.
- Sagna (P), 1993. Précipitations d'octobre 1991 au Sénégal manifestation tardive de la zone intertropicale de convergence *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* vol 6, institut de géographie 29 avenue robert Schuman, édité par Panagiotis Maheras, pp 5127.
- Sagnal (P), 1991. Dynamisme des précipitations sahélo-sahariennes. Application à la pluviométrie du Sénégal de 1983 à 1990 *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* vol 4, actes de colloque de Fribourg, du 11 au 13 septembre 1991, pp 2235.
- Sene S., Ozer P., 2002 : Évolution pluviométrique et relation inondations pluvieuses au Sénégal *Bulletin de la société géographique de Liège*, 42437
- Séné S, Thépenier RM, 1997. Indices d'instabilité et occurrences d'orages les cas de 1 Ile de France in *La Météorologie* 19 (VIIIe série), pp 133.
- Série de publications sur le GARP, n°21, 1978 *L'expérience sur la mousson d'Afrique Occidentale et Centrale (WAMEX) OMM/CIUS*, Genève Suisse.
- Série de Rapports Concernant les Opérations de la Première Expérience Mondiale du GARP, volume 10, 1983 Rapport concernant la phase des opérations sur le terrain (WAMEX).
- Servat (E), Parturel (JE), Lubbe (H), Brou Kouamé, Masson (JM), Travaglio (M), Marieu (B), 1999. De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'ouest et central non sahélo-saharienne *Revue des Sciences de l'Eau* 363 387, 12/2/1999.
- Suchel (JB), 1988 *Les climats du Cameroun*, thèse de Doctorat d'État Université de Saint Etienne 4t, 1988, 1177 p.
- Suchel (JB), 1972 *La répartition des pluies et les régimes pluviométriques au Cameroun* travaux et documents de géographie tropicale n°5, CEGET CNRS Talence, 287 p.
- Suchel (JB), 1972. *La répartition des pluies et les régimes pluviométriques du Cameroun* 171-182, thèse de doctorat cycle.
- Sultan (B), Janicot (S), 2004 *La variabilité climatique en Afrique de l'ouest aux échelles saisonnières et intra saisonnières en place de la mousson et variabilité intra saisonnière de la convection* *Sécheresses* N°4, vol 15, pp 32-330.
- Triplet (J.P), Roche (G), 1986 *Météorologie générale* Édition nationale de la météorologie, 317 p.

- Tsalefac, 1979 Les oscillations climatiques actuelles au Cameroun septentrional, mémoire de maîtrise en géographie physique, Université de Yaoundé I, juin 1979, 126 p.
- Tsalefac, 1983 Ambiance climatique des Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun, 3e cycle, université de Yaoundé, département de géographie.
- Tsalefac (M), Dargone (D), 1990. Convection, relief et pluviométrie au Cameroun en mars et octobre in Veille Climatologique N°34, septembre 1990.
- Tsalefac (M), Lengue Fobissie (B), 1993. Les amas nuageux de l'Afrique tropicale entre 30°N et 30°S vus par MÉTÉOSAT à 12 heures. Caractérisation, typologie et répartition spatio-temporelle in Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 6, institut de géographie 29 avenue Robert Schuman, édité par Panagiotis Maheras, pp 47-86.
- Tsalefac (M), 1999. Variabilité climatique, crise économique et dynamique des milieux agraires sur les hautes terres de l'Ouest Cameroun, thèse doctorat d'état, Université de Yaoundé I.
- Tsalefac (M), Ngoufo (R), Nkwambi (W), Tatsangué, Lengue Fobissie (B), 2003. Fréquences et quantités des précipitations journalières sur le territoire camerounais in Publication de l'Association Internationale de Climatologie volume 15, pp 359-367.
- Tsalefac (M), 2007. Les climats du Cameroun, Atlas de l'Afrique, Cameroun, Les éditions Jeune Afrique, 120P.
- Twardosz (R), 1998. Relations entre les précipitations et les indices de circulation atmosphérique à Cracovie durant la dernière période séculaire, Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 11, pp 359-366.
- Université de Maryland <http://maps.geog.umd.edu/> (consulté le 02/02/2007).
- Velhas (E), 1993. Les épisodes secs lors de la saison des pluies dans le nord portugais in Publications de l'Association Internationale de Climatologie vol 6, institut de géographie 29 avenue Robert Schuman, édité par Panagiotis Maheras, pp 28-32.
- Vulquin (Anaik), 1988. Deux exemples de climat sous l'équateur (Natal et Dar es Salaam) in Climats et Climatologie volume d'honneur offert au professeur Pierre Pagney, pp 519-531, Université de Paris I, MJA 141 du CNRS.
- Wotling (G), Mahe (G), Lihote (Y), Lebarthe (E), 1995. Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité liés à la mousson africaine spatiale et temporelle des précipitations annuelles in Veille Climatologique N° 25, février 1995.
- Zinyowera (MC), Jallow (BP), Shakespeare maya (R), Ogiendo (HWO), 2001. Incidences de l'évolution du climat dans les régions : évaluation de la vulnérabilité (AFRIQUE). Rapport spécial du Groupe de travail II du GIEC, Secrétariat du GIEC, chapitre 2 2001.

R É S U M É

Les inondations récurrentes subies depuis quelques décennies dans la capitale économique du Cameroun (ville de Douala) rendent sa population de plus en plus vulnérable. Elles arrivent aussi bien après des événements pluvieux importants ou non. Cette ville côtière au relief quasi plat, a une pluviométrie abondante, 4000 mm en moyenne par année. Les pluies y sont fréquentes et il n'existe pas de véritables mois secs. En fait, de juin (juin, juillet et août) il arrive qu'il pleuve tous les jours avec des cumuls pluviométriques de 5 jours successifs pouvant atteindre 400 mm. Caractériser les structures atmosphériques à l'aide des radiosondages de l'aéroport de Douala selon les classes de pluie (de 0.1 mm et 20 mm, 20 mm à 50 mm ou 50 mm à 100 mm, peut constituer une piste à explorer dans le but d'aider à la prévision grossière des précipitations en vue d'une meilleure gestion des inondations. Il s'avère toutefois qu'il est loin d'être suffisant d'utiliser ces radiosondages pour améliorer la prévision de l'intensité des lames d'eau et que les caractéristiques environnementales justifient davantage les crues et des inondations sur le littoral camerounais.

Mots clés: Inondations, population, pluviométrie, structures atmosphériques, prévisibilité.