

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE D'ORAN2 MOHAMED BEN AHMED

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du grade de

MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

FILIERE : GEOLOGIE APPLIQUEE

SPECIALITE : Hydrosystèmes et ressources en eau

Par

AGBOSSOUMONDE Afi Florentine



APPLICATION DE LA METHODE IDF SUR LE BASSIN

VERSANT DE ZIO AU SUD DU TOGO



Soutenu publiquement le 30 Juin 2019 devant le jury composé comme suit :

Présidente: Mlle **ABLAOUI Halima**, Maitre de Conférences, FST/UO2

Examinatrice : Mme **BELKHIR Khadidja**, Maitre de Conférences, FST/UO2

Directrice : Mme **BAKRETI Amel**, Maitre de Conférences, FST/UO2

Année académique : 2018-2019

DEDICACE

A mes très chers parents

A mes frères et sœur

En témoignage du profond amour, de la grande reconnaissance et pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bonheur.

Autant de phrases, aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous.

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la force de mener ce travail à terme.

Mes humbles et sincères remerciements, ainsi que toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire Mme Amel BAKRETI ; pour le soutien, l'orientation et l'aide apportés dans la réalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'examiner ce modeste travail.

Un merci particulier à mes parents Mme et M. AGBOSSOUMONDE pour leur soutien inconditionnel.

Je remercie vivement le directeur de la Direction des Ressources en Eau de Lomé M. AKAKPO ainsi que son personnel pour avoir mis à notre disposition les données nécessaires et pour nous avoir permis de faire les sorties de terrain.

J'exprime ma reconnaissance envers tous les enseignants du département des Sciences de la Terre ainsi qu'à tous ceux qui ont participé à ma formation.

Une pensée à mes camarades de promotion avec lesquels nous avons collaboré dans le cadre de ce travail. Qu'ils trouvent à travers ces lignes, la matérialisation de ma profonde gratitude.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1: CONSIDERATIONS GENERALES.....	2
I. INTRODUCTION.....	3
II. PRESENTATION DU TOGO	3
III. LOCALISATION DE LA ZONE D’ETUDE	5
IV. SYNTHESE CLIMATOLOGIQUE.....	6
V. SYNTHESE GEOLOGIQUE.....	8
VI. SYNTHESE GEOMORPHOLOGIQUE.....	10
VII. CONCLUSION PARTIELLE.....	11
CHAPITRE 2: TRAITEMENT DES DONNEES.....	12
I. INTRODUCTION.....	13
II. AQUISITION DES DONNEES	13
III. CRITIQUE DES DONNEES	13
IV. RECHERCHE DES ERREURS ET CORRECTION DES MESURES.....	14
V. CONCLUSION	25
CHAPITRE 3 : APPLICATION DE LA METHODE IDF.....	26
I. INTRODUCTION.....	27
II. UTILISATION DES COURBES IDF.....	28
III. METHODOLOGIE	28
IV. APPLICATION.....	29
IV. CONCLUSION	42
CONCLUSION GENERALE	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45

LISTE DES FIGURES

Figure.1 : Présentation du TOGO (Atlas des zones aquacoles du Togo FAO, 2014)	4
Figure.2 : Localisation de la zone d'étude modifiée (Tampo et al, 2015)	5
Figure.3 : Répartitions des précipitations dans la zone étudiée(Gnon-Kondé et al, 1997)	7
Figure.4 : Carte géologique du Togo modifiée (Tairou, 2006)	9
Figure.5 : Carte géomorphologique du Togo (FAO, 2014)	10
Figure.6 : Résultats de l'ajustement au niveau des stations étudiées	15
Figure.7 : Présentation de la méthode double masse	16
Figure.8 : Résultats de l'ajustement au niveau de la station de Lomé	18
Figure.9 : Correction des données au niveau de la station de Lomé	19
Figure.10 : Détection d'anomalie au niveau de la station de Tsévié	19
Figure.11 : Correction des données au niveau de la station de Tsévié	20
Figure.12 : Détection et correction d'anomalie au niveau de la station de Kpalimé	20
Figure.13 : Détection d'anomalie au niveau de la station de Kpédji	21
Figure.14 : Correction d'anomalie au niveau de la station de Kpédji	21
Figure.15 : Détection d'anomalie au niveau de la station d'Agou	22
Figure.16 : Correction d'anomalie au niveau de la station d'Agou	22
Figure.17 : Anomalie au niveau de la station de Kouma Konda	23
Figure.18 : Anomalie corrigée au niveau de la station de Kouma Konda	23
Figure.19 : Anomalie et correction au niveau de la station d'Assahoun	24
Figure.20 : Représentation des courbes IDF	27
Figure.21 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987	30

Figure.22 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987	30
Figure.23 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987	31
Figure.24 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987	32
Figure.25 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987	32
Figure.26 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987	33
Figure.27: Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987	33
Figure.28 : Répartition des précipitations des stations étudiées du bassin versant de ZIO	34
Figure.29 : Répartition des stations sur le bassin versant de Zio modifiée (Tampo et al, 2015)	35
Figure.30 : Distribution de Gumbel pour la station de Tsévié	39
Figure.31 : Calcul des lames précipitées et des intensités	40
Figure.32 : Représentation des courbes IDF et des lames précipitées	41

Résumé

La rivière Zio est le seul cours d'eau pérenne du bassin du Lac Togo. Il forme en lui-même un sous bassin nommé bassin versant de Zio et traverse de nombreuses agglomérations urbaines parmi lesquelles, la capitale Lomé dont il reçoit des rejets de toutes sortes et soumis à plusieurs pressions anthropiques. Cette étude vise à tracer les courbes Intensité – Durée – Fréquence (IDF) des stations pluviométriques du bassin de Zio, courbes qui caractérisent la pluviométrie et représentent les relations entre les intensités, les durées et les fréquences. Ces courbes sont utilisées dans la conception des systèmes de drainage et de protection des villes contre le risque d'inondation. A cet effet, nous avons d'abord analysé la proportionnalité ainsi que l'homogénéité des séries pluviométriques et la rupture au sein de ces dernières en utilisant les méthodes de simples cumuls et de doubles cumuls. Ensuite nous avons procédé à une mise en forme graphique de l'intensité des précipitations en fonction du nombre de jours de pluie. La dernière étape consiste en la construction des courbes Intensité – Durée – Fréquence (IDF). Pour ce faire, nous avons déterminé les intensités maximales pour un pas de temps allant de 24h à 120h, pour des périodes de retour de 1 à 60 ans.

Mots clés : Précipitations, homogénéité, période de retour, IDF, Zio, Togo

Abstract

Zio is the only sustainable river in the lake Togo basin. It forms in itself a sub-basin named Zio watershed and crosses many urban agglomerations among which it receives rejections of all kinds and subjected to several anthropic pressures. This study aim sat plotting the Intensity – Duration – Frequency (IDF) curves of the rainfall stations of the Zio basin, curves which characterize the rainfall and represent the relations between the intensities, the durations and the frequencies. These curves are used in the design of drainage systems and protection of cities against the risk of flooding. To this end, we first analyzed the proportionality as well as homogeneity of the rainfall series and the rupture within them by using the simple cumulation and double cumulation methods. Then we proceed to a graphic formatting of the intensity of the precipitation according to the number of days of rain. The last stepis the construction of the Intensity – Duration – Frequency (IDF) curves. To do this, we determined the maximum intensities for a time step ranging from 24h to 120h, for return periods of 1 to 60 years.

Key words : Precipitations, homogeneity, return period, IDF, Zio, Togo

Introduction générale

La précipitation est connue comme étant un phénomène naturel de grande variabilité dans le temps et dans l'espace. Son intérêt a incité de nombreux scientifiques à faire des recherches approfondies afin de mieux contrôler et modéliser son cycle. Plusieurs sciences ont découlées de ces études effectuées durant des siècles, parmi lesquelles nous pouvons citer l'hydrologie.

La conception de tout ouvrage hydrologique nécessite que soit précisé le niveau de performance souhaité. Ce dernier est souvent déterminé en fonction des dommages potentiels et de la sévérité des aléas météorologiques susceptibles d'entraîner une démolition, un dysfonctionnement ou un dépassement de capacité de l'ouvrage en question.

Ainsi, dans le cas des infrastructures de gestion des eaux pluviales, la dimension des différentes composantes du système (par exemple conduites, bassins de rétention, etc.) est établie en fonction de l'intensité des pluies et de leur période de retour. Cette information est souvent exprimée sous la forme de courbes **Intensité - Durée - Fréquence (IDF)** obtenues à partir d'une étude statistique des événements extrêmes enregistrés sur un bassin versant donné.

Notre zone d'étude est classée dans le climat subéquatorial où la précipitation moyenne annuelle est de 900mm. La période pluvieuse s'étend de Mars/Avril à Juillet (grande saison des pluies) et de Septembre à mi-Novembre (petite saison des pluies).

Le but principal de ce travail est de présenter des courbes intensité- durée- fréquence (IDF) des précipitations pour les stations du bassin versant de Zio afin de déterminer les zones où l'intensité de pluie est forte, pour dimensionner les ouvrages de protection et protéger cette région des inondations.

A part l'introduction générale et la conclusion, notre mémoire s'organise autour de trois (03) chapitres :

Chapitre 1 : Considérations générales

Ce chapitre est réservé à la présentation du bassin versant de Zio dans son cadre climatologique, géologique et géomorphologique ; ainsi qu'à la situation géographique.

Chapitre 2 : Traitements des données

Il est consacré au contrôle et à la correction des données. Pour ce faire nous avons appliqué deux méthodes : la méthode des cumuls simples et la méthode des doubles cumuls.

Chapitre 3 : Application de la méthode IDF

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'établissement des courbes intensité – durée – fréquence (IDF). Celles-ci sont obtenues en faisant un dépouillement des pluviogrammes disponibles afin de déterminer les intensités moyennes maximales à différents pas de temps, pour différents temps de retour.

CHAPITRE 1

CONSIDERATIONS GENERALES

I. INTRODUCTION

Le Togo est divisé en cinq (5) régions administratives à savoir la région des savanes, la région de la kara, la région centrale, la région des plateaux et la région maritime. Dans ce chapitre, nous présenterons deux régions, à savoir la région des plateaux très forestière et montagneuse dans laquelle se trouve le plateau de Danyi où la rivière Zio prend sa source, et ensuite la région maritime située entre la côte et les plateaux.

II. PRESENTATION DU TOGO

Le Togo est situé entre 6° et 11° de latitude Nord et 0° et 1°40' de longitude Est. Il couvre une superficie de 56600 km². Il est assimilé à un corridor qui s'étire sur 650 km de long et dispose d'une côte d'environ 50 km. Sa plus grande largeur est de 150 km. Cette configuration explique la grande diversité spatiale, climatique, économique, humaine et biologique. Le Togo est limité à l'Ouest par le Ghana, à l'Est par le Bénin, au Sud par l'Océan Atlantique et au Nord par le Burkina Faso. (Figure 1 : Atlas des zones à hauts potentiels aquacoles du Togo ; FAO 2014)



Figure.1 Présentation du TOGO modifiée (Atlas des zones aquacoles du TOGO, 2014)

III. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

La rivière Zio est située au Sud du Togo, précisément dans la région maritime. Elle prend sa source au niveau du plateau de Danyi et se jette dans le Lac Togo (Figure 2).

Le bassin versant du Zio draine une superficie effilée (mince et allongée) d'environ 3400 km², d'orientation NNW-SSE entre les latitudes 6°5'N et 7°18'N et les longitudes 0°15'E et 1°40'E. Il s'étend à travers trois (3) zones écologiques. La zone écologique V à paysage de savane arborée ou arbustive au Sud, la zone écologique III à paysage de savane arborée et de galerie au centre à la latitude de Méssiobé et de Kati et une grande partie dans la zone écologique IV à paysage forestier au Nord avec de nombreux affluents. Le Zio développe à partir du village d'Alokoegbé jusqu'au lac Togo une vaste zone d'inondation (partie aval du Zio) et reçoit des eaux de nombreux affluents en provenance des monts Togo (chaîne de l'Atacora) abondamment arrosés. A l'amont, les activités anthropiques dans le bassin se résument à l'agriculture sous pluie et irriguée. Ces activités s'amplifient et se diversifient en allant vers l'aval où le Zio traverse de nombreuses agglomérations. (Tampo et al.,2015).

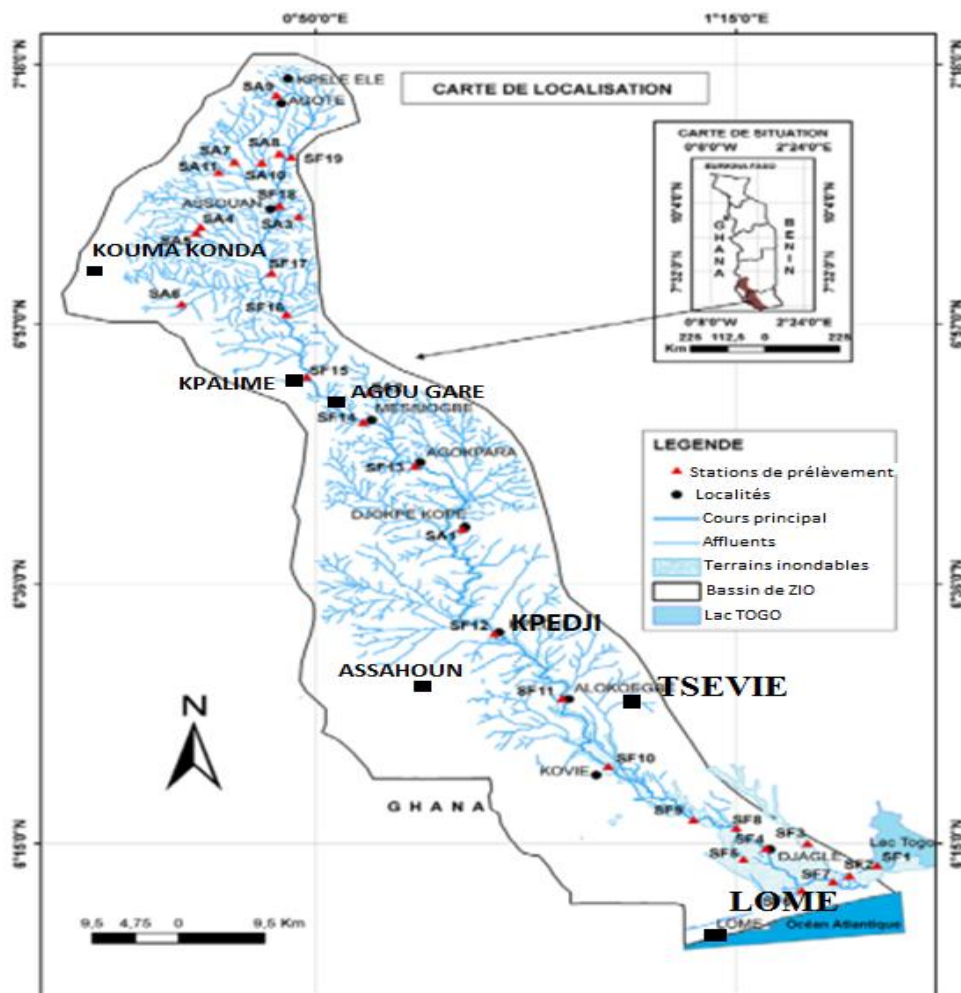


Figure.2 : Localisation de la zone d'étude modifié (Tampo et al, 2015)

IV. SYNTHÈSE CLIMATOLOGIQUE

Notre zone d'étude est caractérisée par un climat subéquatorial à quatre (4) saisons : la grande saison sèche de mi-novembre à mars, la grande saison des pluies de mars/avril à juillet, la petite saison sèche, d'août à septembre et la petite saison des pluies de septembre à mi-novembre (FAO, 2014).

Elle se situe dans la zone qui s'étend de la côte à la transversale du 8° de latitude Nord avec de faibles amplitudes au niveau de la température qui pourrait atteindre en moyenne 27°C. (Figure 3)

Quant à l'humidité relative, elle est plus ou moins élevée (73 à 90%). La vitesse moyenne du vent est de 1,93m/s et la durée moyenne de l'insolation est de 6,62 heures par jour. Enfin, l'évapotranspiration moyenne est de 1540mm/an (Gnazou, 2008).

1 - Précipitations

Il s'agit essentiellement des pluies. Nous notons la présence de deux saisons sèches et de deux saisons pluvieuses. La grande saison de pluies couvre la période d'avril à juillet, avec un maximum au mois de juin. Elle est suivie par la petite saison sèche, de juillet à août qui est peu marquée.

La petite saison des pluies, allant de septembre à octobre, est bien mise en évidence au niveau des stations Lomé, Tabligbo et Kouma-Konda où les précipitations correspondantes excèdent les 100mm. Enfin la période de novembre à mars, correspond à la grande saison sèche. (Figure 3)

Les hauteurs pluviométriques interannuelles calculées sur une période de 30 ans (1987 à 2017), aux stations de Lomé, Tabligbo, Kouma-Konda et Gapé-Kpédzi sont respectivement de 847,83 ; 1079,70 ; 1604,06 et 1028,69.

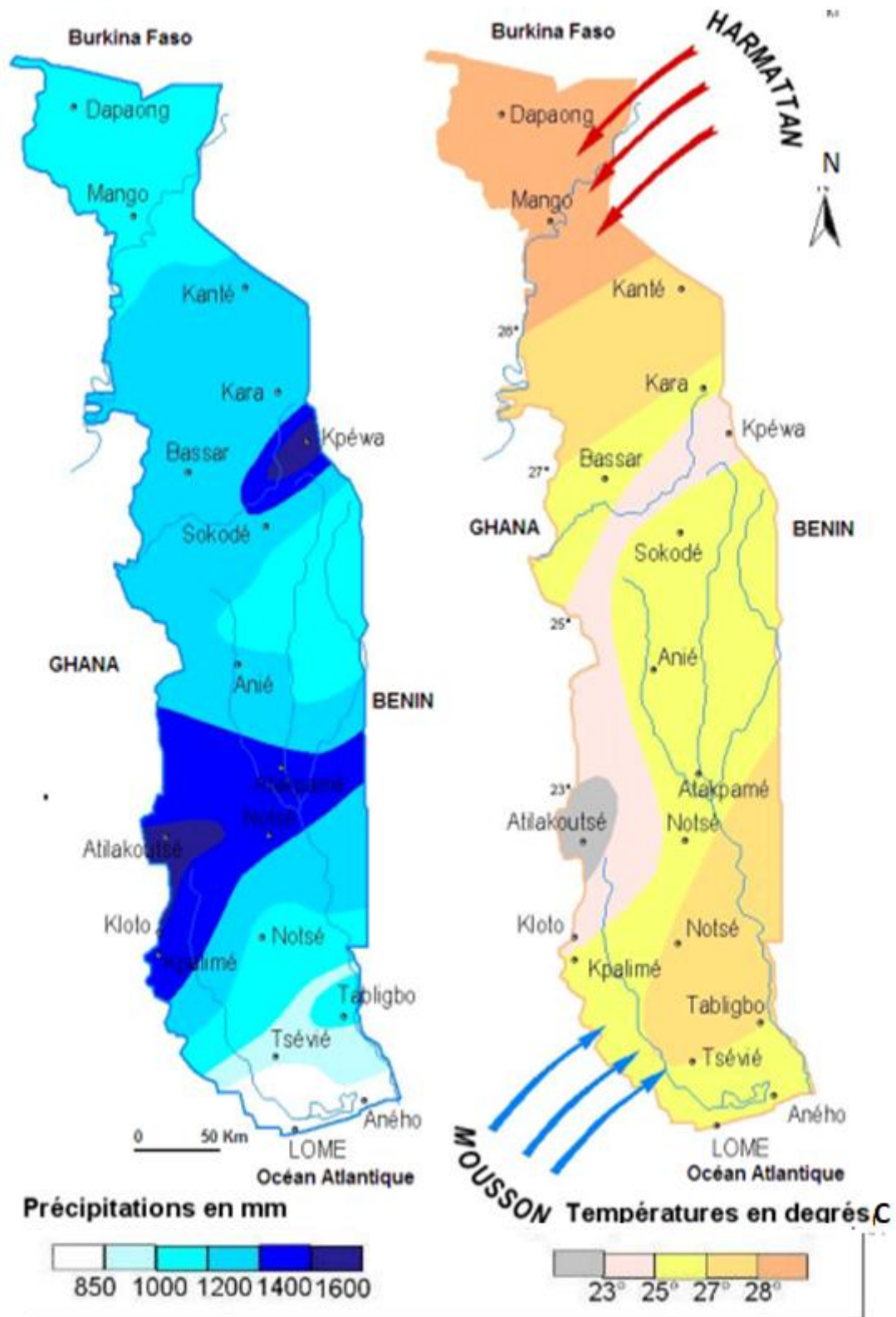


Figure.3 : Répartitions des précipitations dans la zone étudiée (Gnon-Kondé et al., 1997)

V. SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE

Les ensembles géologiques décrits dans notre zone d'étude sont du Nord-Ouest au Sud-Est (Figure 4) :

- L'unité structurale de l'Atacora communément appelée les Monts Togo ;
- La zone des massifs basiques à ultrabasiques ou zone de suture ;
- L'unité de la pénéplaine bénino-togolaise à laquelle se rattache le complexe anatectique de Kpalimé-Amlamé situé entre les Monts Togo et le mont Agou ;
- Le bassin sédimentaire côtier.

Mis à part le bassin sédimentaire côtier, l'unité de l'Atacora, les massifs de la zone de suture et l'unité de la pénéplaine bénino-togolaise appartiennent à la chaîne panafricaine des Dahomeyides. Cette chaîne résulte de la collision entre la partie orientale du craton Ouest-Africain et le craton bénin-nigérian

a- L'unité structurale de l'Atacora

Elle est définie comme une succession de nappes et d'écaillés et correspond à l'Atacora au Bénin, aux «Monts-Togo» au Togo et à l'«Akwapim Range» au Ghana. D'après les travaux de Affaton (1975, 1983 et 1987), cette unité est subdivisée en deux ensembles en relation avec la position géométrique: l'ensemble inférieur oriental ou « *Quartzites de l'Atacora* » et l'ensemble supérieur occidental ou « *Schistes de l'Atacora* »

b- Les massifs de la zone de suture

Dans notre zone d'étude, le massif Agou est mieux représenté. Il s'agit d'un massif basique, composé de granulites à grenat ou non et qui sont parfois rétro-morphosées en amphibolites. Ce massif est intrusif dans le socle constitué de gneiss variés, d'amphibolites et de dolomies cristallines. Les travaux de Agbossoumondé (1998 et 2004) ont montré que ce massif correspond à des roches basiques mis en place en base de croûte et transformées en granulites de haute pression et exhumées au cours de l'orogénèse panafricaine il y a 600Ma.

c- L'unité de la pénéplaine bénino-togolaise

D'ouest en est, on différencie dans cette unité (Sylvain et al., 1986), les formations suivantes :

- Le complexe anatectique de Kpalimé-Amlamé, constitué de granitoïdes calco-alcalins, de migmatites et de gneiss.
- La formation gneisso-migmatitique centrale, qui se subdivise en une bande de gneiss à biotite et muscovite à l'Ouest et un fuseau de migmatites à l'Est ;
- Le domaine plutono-métamorphique oriental, séparé de la formation précédente par la faille de Kévé-Djémégni, et comprenant des orthogneiss divers, des métasédiments (paragneiss, quartzites), des migmatites, des granitoïdes (granodiorites, monzogranites), des roches hypovolcaniques et des éclogitoïdes. Dans la partie Est, ce domaine est traversé par un cisaillement majeur.

d- Le bassin sédimentaire côtier

La couverture géologique de la surface du bassin sédimentaire côtier est représentée essentiellement par la formation détritique du Continental terminal, elle-même particulièrement recouverte d'un dispositif alluvionnaire fluviatile qui s'accroît vers l'aval en un ensemble de lacs, marais et mangroves (Sylvain et al., 1986).

La série marine Crétacé-Tertiaire sous-jacente n'est, à quelques exceptions près, jamais affleurante.

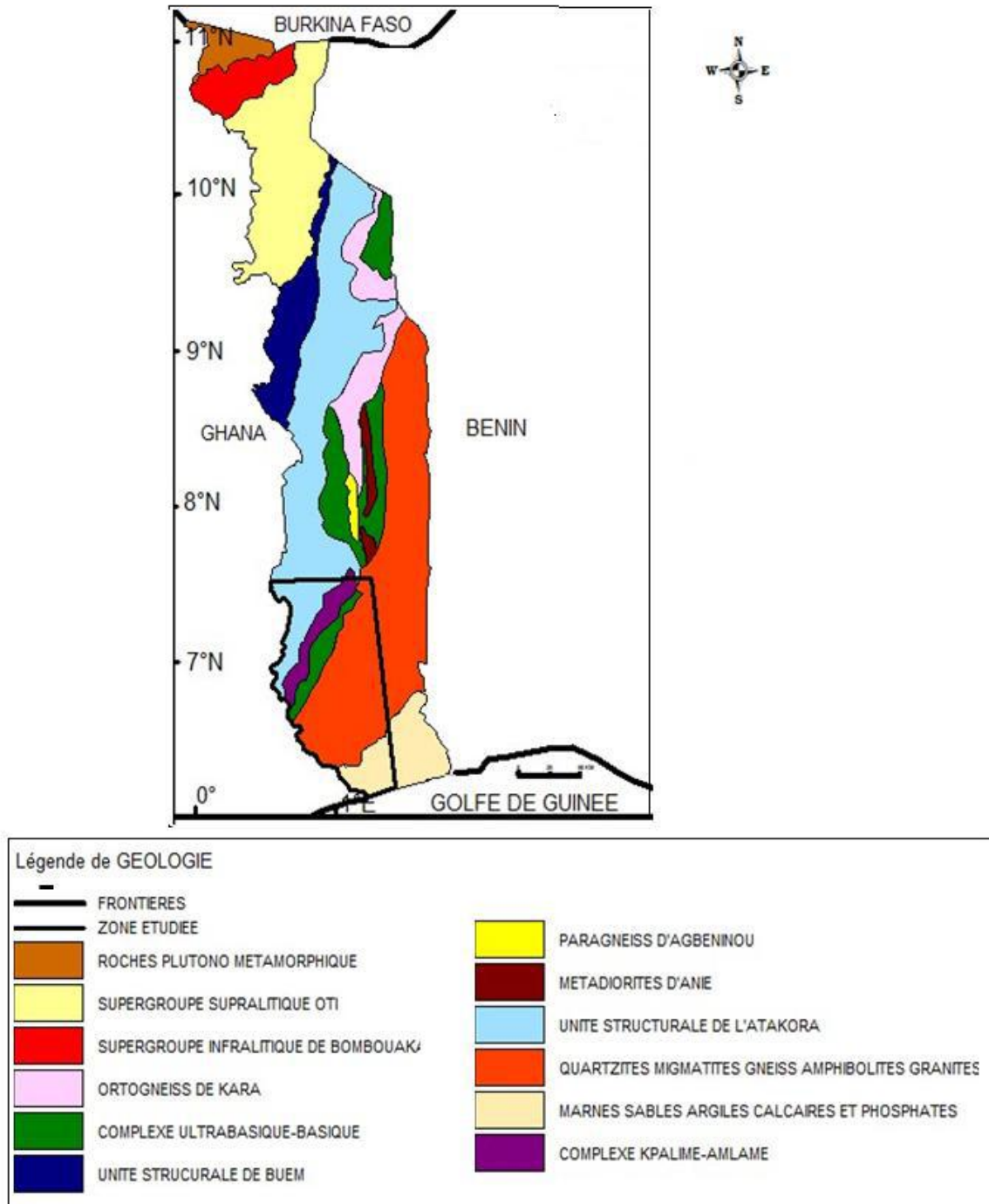


Figure.4 : Carte géologique du Togo modifiée (Tairou, 2006)

VI - SYNTHÈSE GEOMORPHOLOGIQUE

Cette région présente plusieurs unités géomorphologiques bien individualisées. Du Sud-Est vers le Nord-Ouest, on distingue :

- La zone littorale et lagunaire qui s'étire sur une cinquantaine de kilomètres avec une largeur de 1 à 3 km. Le système lagunaire est essentiellement formé de la lagune de Lomé et du Lac Togo qui reçoit les rivières côtières Zio et Haho. Le cordon littoral est soumis depuis une quinzaine d'années à une érosion marine très intense, entraînant un recul du rivage particulièrement alarmant ;

- Le plateau de " terre de barre " qui domine le cordon littoral et la péninsule granito-gneissique par des talus atteignant respectivement 15 à 30 m de haut. Ce plateau est pris en écharpe par la dépression de la Lama orientée NE-SW.

- La péninsule granito-gneissique bénino-togolaise, caractérisée par un modelé en croupes surbaissées et dominée, dans le coin Nord-Ouest par le Mont Agou (986 m), point culminant du Togo, formé de roches basiques qui sont des granulites ;

- La région montagneuse autour de Kpalimé, correspondant à la terminaison Sud des Monts Togo.

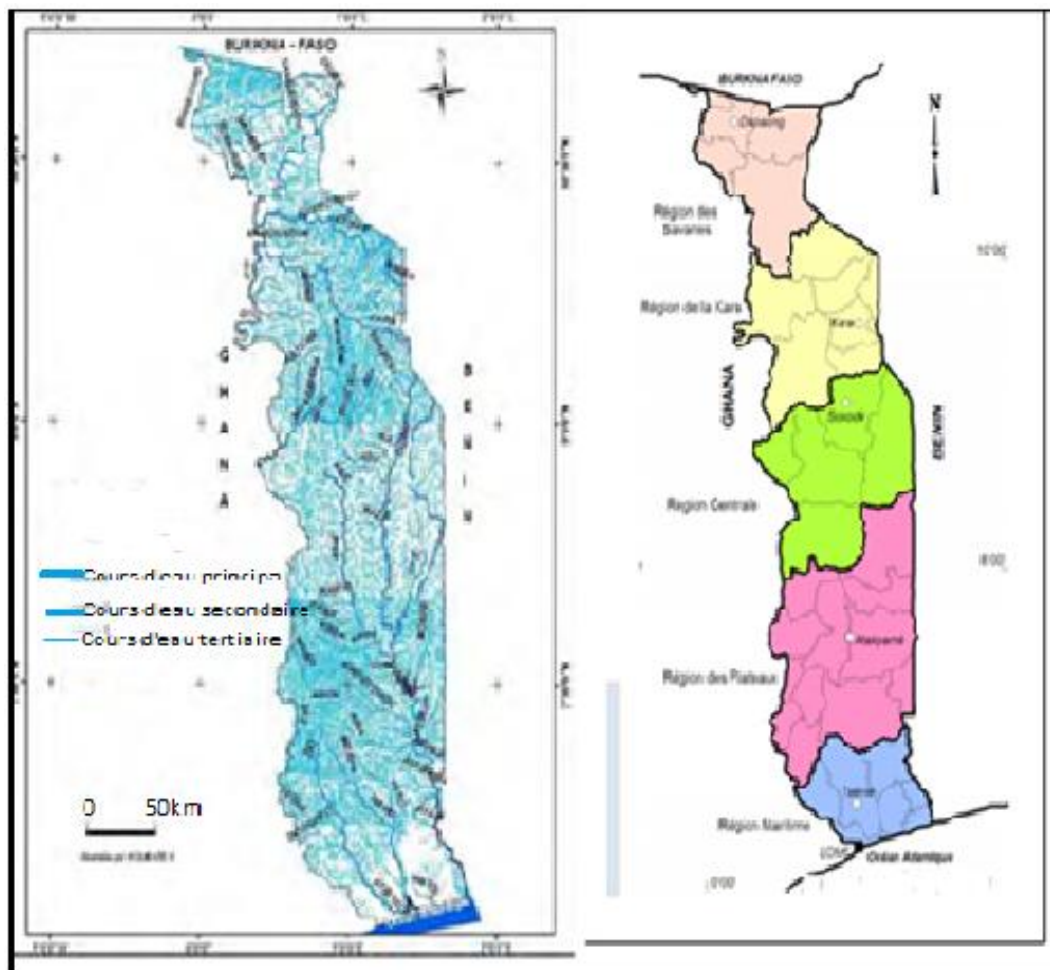


Figure.5 : Carte géomorphologique du Togo (FAO 2014)

VI. CONCLUSION PARTIELLE

Nous avons présenté dans ce chapitre la zone étudiée. Sur le plan climatologique, la région bénéficie d'une température moyenne de 27°C avec une pluviométrie moyenne de 900mm. Sur le plan géologique, la zone étudiée est formée du nord-ouest au sud-est de l'unité structurale de l'Atacora, la zone basique – ultrabasique d'Agou, l'unité de la plaine bénino-togolaise à laquelle se rattache le complexe anatectique de Kpalimé-Amlamé, situé entre les Monts Togo et la zone d'Agou et du bassin sédimentaire côtier. La géomorphologie de la zone étudiée est mise en évidence par le plateau de « terre de barre » la pénéplaine granito-gneissique bénino-togolaise et la région montagneuse autour de Kpalimé, correspondant à la terminaison Sud des Monts Togo.

CHAPITRE 2

TRAITEMENT DES DONNEES

I. INTRODUCTION

Si l'acquisition des données est un point central de l'activité hydrologique, il faut ensuite traiter, contrôler et gérer les données acquises. De nombreuses régions du monde comme le Togo, ne bénéficient pas de moyens informatisés et partiellement automatique ; il est donc nécessaire d'effectuer divers calculs et vérifications. Ce chapitre présente donc les étapes du passage de l'acquisition des données à leur utilisation effective, dans le cadre d'une analyse hydrologique.

II. AQUISITION DES DONNEES

L'ensemble des données pluviométriques de base est mise à notre disposition par la Direction Générale de la Météorologie Nationale à Lomé. Les fichiers de ces données donnent les valeurs mesurées des pluies moyennes annuelles des diverses stations pluviométriques de la zone d'étude sur de longues périodes d'enregistrement. Ces données sont disponibles pour sept (07) stations pluviométriques dans le bassin versant du Zio et pour trois (03) stations pluviométriques dans le bassin côtier du Haho.

III. CRITIQUE DES DONNEES

Un travail a consisté à combler les lacunes contenues dans les séries de mesures. En effet, des lacunes et discontinuités dans les séries chronologiques des pluies ont été remarquées pendant certaines années ou mois d'une année. La méthode des doubles masses (doubles cumuls) a été utilisée afin de vérifier l'homogénéité des séries sur l'ensemble du réseau de postes hydrométriques et pluviométriques ; permettant ainsi de reconstituer des séries homogènes.

Il est donc indispensable, avant de traiter ces données, de se préoccuper de leur qualité et de leur représentativité au moyen de la méthode du double cumul et des régressions entre postes voisins corrélés. Le principe de cette méthode graphique consiste à vérifier l'homogénéité des valeurs mesurées de la station à tester en les corrélant avec celles de référence. Cette opération permet de combler les lacunes, de tester l'homogénéité des séries de données et de critiquer les données brutes du réseau pluviométrique. Cette comparaison utilise, au pas du temps choisi, non pas les valeurs observées mais leur cumul (Meylan et Musy, 1998).

L'évaluation des données manquantes à une station a été déterminée à partir des valeurs provenant de la station voisine présentant le meilleur coefficient de corrélation et ayant fonctionné durant le mois manquant. La formule la plus simple pour combler, sans erreur majeure les lacunes des séries, est de remplacer la valeur manquante par une moyenne pondérée par la tendance mensuelle des stations pluviométriques (Musy et Laglaine, 1992).

IV. RECHERCHE DES ERREURS ET CORRECTION DES MESURES

A. Méthode des cumuls simples

Le principe de la méthode consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées pour chaque station. Le but est de valider les mesures tirées de la station.

On calcule le cumul des valeurs annuelles de la station et on le reporte sur un graphique. Si l'on obtient un effet de lissage, on conclut que les mesures proviennent de la même station. Dans le cas d'une dispersion les mesures sont alors à vérifier.

1. Application

Nous avons appliqué la méthode pour sept (07) stations pluviométriques du bassin de Zio. Les cumuls des valeurs observées sur 30 ans pour ces différentes stations sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau I : Cumuls des valeurs sur 30 ans de sept stations pluviométriques du bassin de Zio

Années	Lomé	Kpalimé	Kpedzi	Tsevié	Agou	Koumakonda	Assahoun
1987	880,9	1635,6	651,8	1359,1	813,9	1890,3	1240,4
1988	1604,9	2921,8	1303,6	2417,1	1608,8	3756,8	2578,3
1989	2736	4476,4	1955,4	3714	2420,8	6095,8	3862,4
1990	3366,8	5800,2	2607,2	4607,8	3206,1	7548,7	4731,9
1991	4399,1	7404,9	3259	5600,2	4000,5	9091,2	5719,7
1992	4888,1	8441,5	3910,8	6087	4612,1	10390	6081,1
1993	5563,8	9776,2	4562,6	7145,9	5377,8	11752,2	6158,2
1994	6221,7	11216,6	5214,4	8023,8	6013,8	13042,4	6232,7
1995	7008,4	12730,5	5866,2	9038,6	6780,7	14724	6844,32
1996	7833,7	14015,6	6518	10056,3	7418,5	15991,9	7497,02
1997	8744,2	15498,9	7169,8	11239,6	8163,9	17407,9	8144,52
1998	9186,8	16813,9	7821,6	12018,6	8817,9	18997,6	8756,14
1999	10076,1	18840,6	8473,4	13086,6	9695,6	21201,6	9367,76
2000	10500	20292,6	9377,5	13793,7	12533,1	22876,6	9979,38
2001	11199,6	21406,3	10341,2	14253,49	14066,9	23979,5	10591
2002	12039,3	22950,8	11405,3	14713,28	15376,6	25510,9	11267
2003	12915,7	24249,8	12515,1	15173,07	16800	27098,5	11610,9
2004	13923,9	25485,8	13552,7	15632,86	18192,7	28408,2	12750,1
2005	14708,3	26909,2	14590,3	16092,65	19564,4	29472,8	13806,4
2006	15639,6	28301,9	15919	16552,44	21215,3	30939,6	15135,1
2007	16654,4	29827,9	16367,3	17012,23	22824,2	32596,7	15583,4
2008	17729,7	31322	17602,7	17472,02	24442,7	34175,9	15863,52
2009	18615,9	32708,3	18838,1	17931,81	25865,7	35930,8	16758,12
2010	20032,6	34249,1	19979,4	18391,6	27350,5	37346,8	17763,22
2011	20920,7	36032,2	21244,6	18851,39	28089	39140,8	18853,42

2012	21779,3	37632,4	22458,2	19311,18	29218,2	40821,8	20193,22
2013	22479,3	38776,8	23779,9	19770,97	30192,14	42251,1	21406,62
2014	23358,3	40261,2	25023,2	20230,76	31166,08	43757,2	22018,24
2015	24095,8	41525,9	25925,3	20690,55	32140,02	45285,9	22629,86
2016	24678,3	43307,7	27087,3	21150,34	33113,96	47112,3	23241,48
2017	25434,9	44828	28027,5	21610,13	34087,9	48884,1	23853,1

A partir de ces différentes données, nous avons procédé à leur ajustement et les résultats obtenus s’observent sur les figures ci-dessous (Figure 6).

Sur les figures suivantes, on remarque un effet de lissage pour chacune des sept (7) stations. On conclut alors que les mesures acquies appartiennent à leurs stations respectives

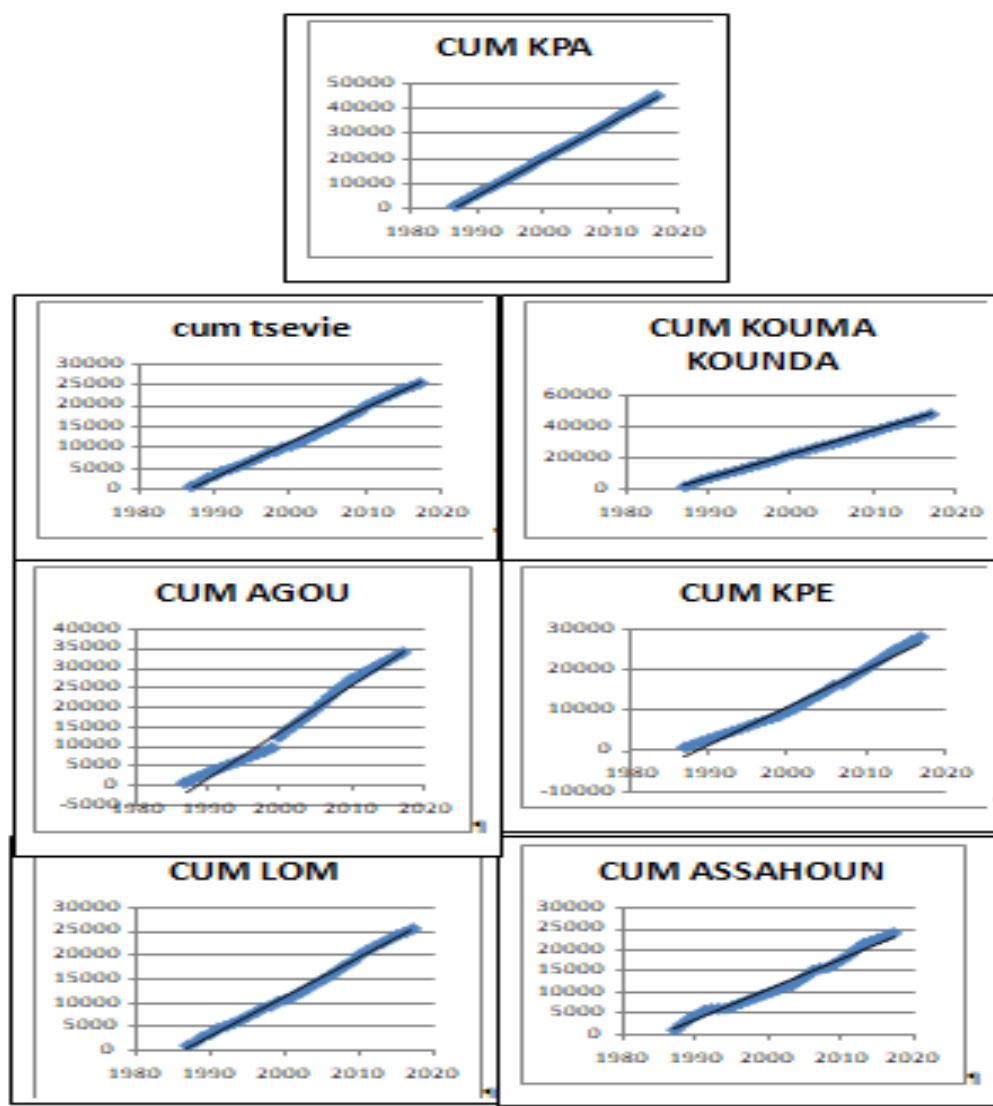


Figure.6: Résultats de l’ajustement au niveau des stations étudiées.

B. Méthode des doubles cumulés

1. Présentation générale de méthode

Cette méthode a été longtemps utilisée car sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de moyens de calcul particulier. Son principe consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations. L'une des stations est la station de base ou station de référence, supposée correcte. L'autre station est la station à contrôler. Un effet de lissage est obtenu en comparant, au pas de temps choisi, non pas des valeurs observées, mais leur cumul.

Elle permet de mettre en évidence des erreurs systématiques dans une série de données. Soit deux séries d'observations (x_i, y_i) sur des variables corrélées entre elles. Il existe alors une relation du type : $y_i = ax_i + b$

Si à partir d'une certaine date, on commet une erreur systématique sur x par exemple, les variables x et y seront encore corrélées mais avec des coefficients a' et b' .

Si on porte dans un graphique x_i en fonction de y_i , il ne sera généralement pas possible de constater cet écart. Par contre, si on porte non plus x_i et y_i mais Y_i et X_i définis ainsi :

$Y_i = \sum_{j=1}^i y_j$ et $X_i = \sum_{j=1}^i x_j$ on aura alors une fonction monotone croissante en fonction du temps. Si x et y sont stables, les points s'aligneront sur une droite de pente $\frac{\bar{y}}{\bar{x}}$, mais si une série subit à partir d'une certaine date, une erreur systématique, on verra les points s'aligner selon deux droites :

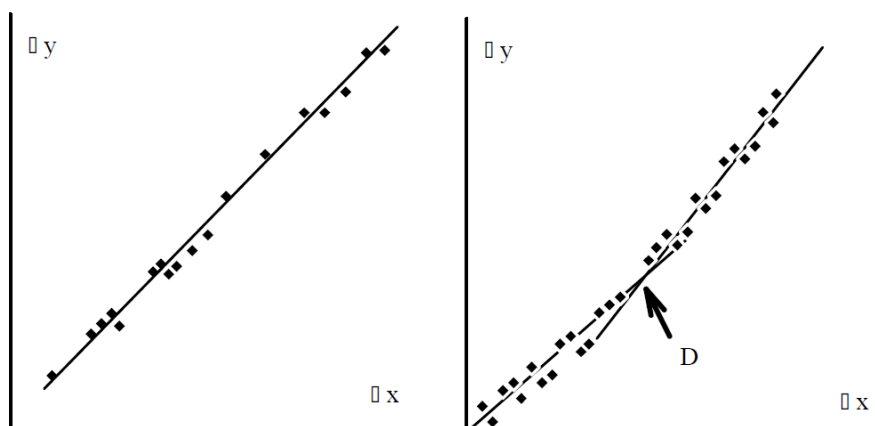


Figure.7 : Présentation de la méthode double masse

Sur la figure.7, à gauche, les x et les y sont stables alors que sur la figure 7(à droite) on constate qu'à partir du point correspondant à la date D , on a commis une sous-estimation systématique de x ou une surestimation systématique de y . Pour lever cette ambiguïté,

on effectuera des doubles masses sur plusieurs postes où on vérifiera que les cassures se font bien aux mêmes dates et dans les mêmes rapports. (Laborde, 2009)

2. Application de la méthode aux stations étudiées

La méthode a été appliquée sur sept (07) stations pluviométriques du bassin versant du Zio. Les données de ces sept(07) postes pluviométriques n'étant pas homogènes, nous avons pris comme station de référence un poste pluviométrique voisin proche à ce bassin versant (Tabligbo). Les stations ont donc été comparées l'une par rapport à l'autre, en fonction de leur proximité. Le tableau suivant regroupe le cumul des valeurs observées sur 30 ans sur ces différentes stations (Tableau II).

Tableau II : Données pluviométriques annuelles de la zone d'étude et de la station de Tabligbo

Années	Lomé	Tabligbo	Kpalimé	Kpedzi	Tsevié	Agou	Kouma konda	Assahoun
1987	880,9	1130,3	1635,6	651,8	1359,1	813,9	1890,3	1240,4
1988	1604,9	2214,2	2921,8	1303,6	2417,1	1608,8	3756,8	2578,3
1989	2736	3373,3	4476,4	1955,4	3714	2420,8	6095,8	3862,4
1990	3366,8	4478	5800,2	2607,2	4607,8	3206,1	7548,7	4731,9
1991	4399,1	5383,7	7404,9	3259	5600,2	4000,5	9091,2	5719,7
1992	4888,1	6089,8	8441,5	3910,8	6087	4612,1	10390	6081,1
1993	5563,8	7092,8	9776,2	4562,6	7145,9	5377,8	11752,2	6158,2
1994	6221,7	8085,9	11216,6	5214,4	8023,8	6013,8	13042,4	6232,7
1995	7008,4	9367,7	12730,5	5866,2	9038,6	6780,7	14724	6844,32
1996	7833,7	10594,7	14015,6	6518	10056,3	7418,5	15991,9	7497,02
1997	8744,2	11499,2	15498,9	7169,8	11239,6	8163,9	17407,9	8144,52
1998	9186,8	12430,6	16813,9	7821,6	12018,6	8817,9	18997,6	8756,14
1999	10076,1	13772,1	18840,6	8473,4	13086,6	9695,6	21201,6	9367,76
2000	10500	14490,9	20292,6	9377,5	13793,7	12533,1	22876,6	9979,38
2001	11199,6	15389,4	21406,3	10341,2	14253,49	14066,9	23979,5	10591
2002	12039,3	16566,6	22950,8	11405,3	14713,28	15376,6	25510,9	11267
2003	12915,7	17559,8	24249,8	12515,1	15173,07	16800	27098,5	11610,9
2004	13923,9	18779,8	25485,8	13552,7	15632,86	18192,7	28408,2	12750,1
2005	14708,3	19601,5	26909,2	14590,3	16092,65	19564,4	29472,8	13806,4
2006	15639,6	20689	28301,9	15919	16552,44	21215,3	30939,6	15135,1
2007	16654,4	21702,9	29827,9	16367,3	17012,23	22824,2	32596,7	15583,4
2008	17729,7	22847,5	31322	17602,7	17472,02	24442,7	34175,9	15863,52
2009	18615,9	23854,7	32708,3	18838,1	17931,81	25865,7	35930,8	16758,12
2010	20032,6	25165,1	34249,1	19979,4	18391,6	27350,5	37346,8	17763,22
2011	20920,7	26331,1	36032,2	21244,6	18851,39	28089	39140,8	18853,42
2012	21779,3	27256,9	37632,4	22458,2	19311,18	29218,2	40821,8	20193,22
2013	22479,3	28130,6	38776,8	23779,9	19770,97	30192,14	42251,1	21406,62

2014	23358,3	29215,7	40261,2	25023,2	20230,76	31166,08	43757,2	22018,24
2015	24095,8	30109,2	41525,9	25925,3	20690,55	32140,02	45285,9	22629,86
2016	24678,3	31184,5	43307,7	27087,3	21150,34	33113,96	47112,3	23241,48
2017	25434,9	32451,1	44828	28027,5	21610,13	34087,9	48884,1	23853,1

- Station pluviométrique de Lomé

Elle est située vers l'aval de la rivière Zio. Les valeurs de cette station ont été cumulées puis corrélées avec celles de Tabligbo considérée comme station de référence.

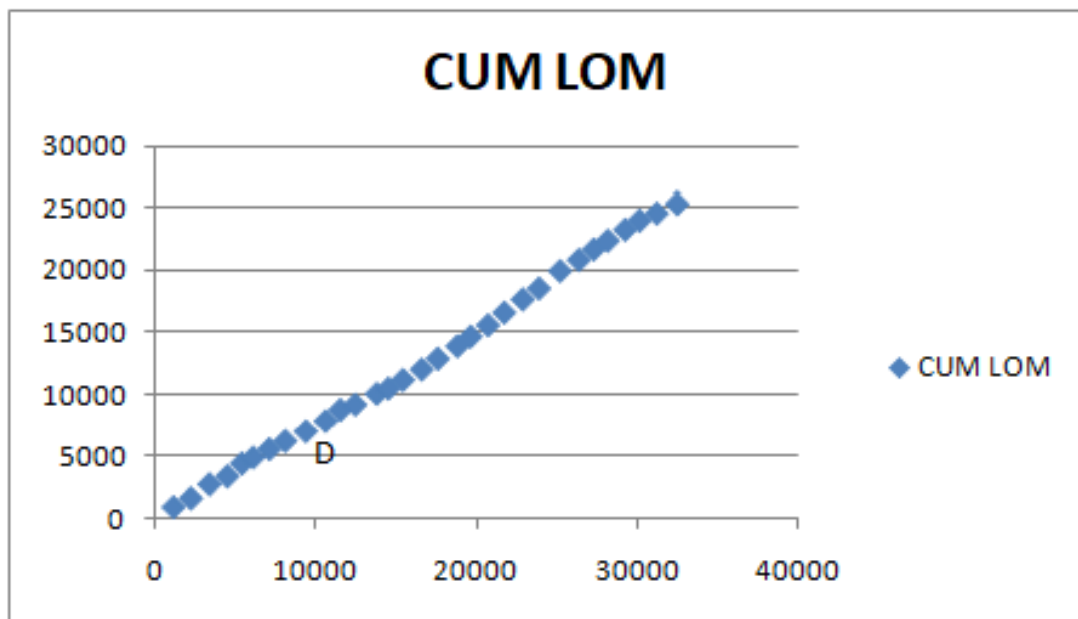


Figure.8 : Résultats de l'ajustement au niveau de la station de Lomé

Sur la figure.8, nous observons une rupture de pente à partir du point D ; cette rupture est due au fait qu'à partir de cette date les valeurs observées sur la station de Lomé deviennent erronées. Nous avons donc procédé à la correction de ces données en réalisant dans un premier temps un graphe avec les valeurs précédentes ; graphe dont nous avons extrait l'équation de droite $y = ax + b$ qui a servi aux calculs des nouvelles valeurs avec y étant la nouvelle valeur et x la valeur de la station de référence.

La figure.9 nous montre l'homogénéité entre les deux stations après correction.

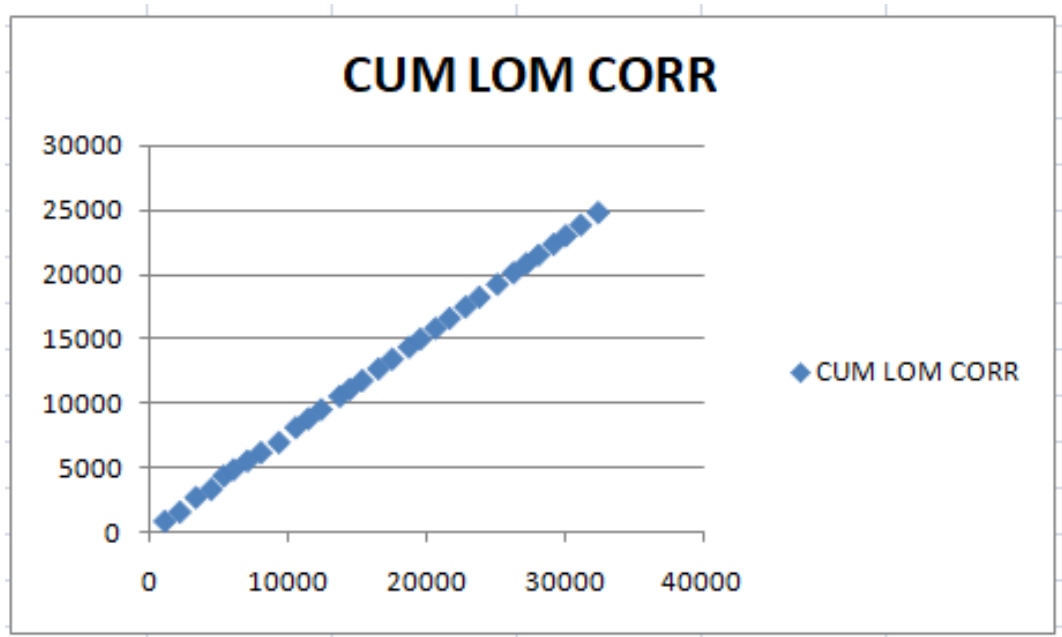


Figure.9 : Correction des données au niveau de la station de Lomé

- Station pluviométrique de Tsévié

Elle est située au centre du bassin versant de Zio ; les données de cette station ont été corrélées avec celles de Tabligbo.

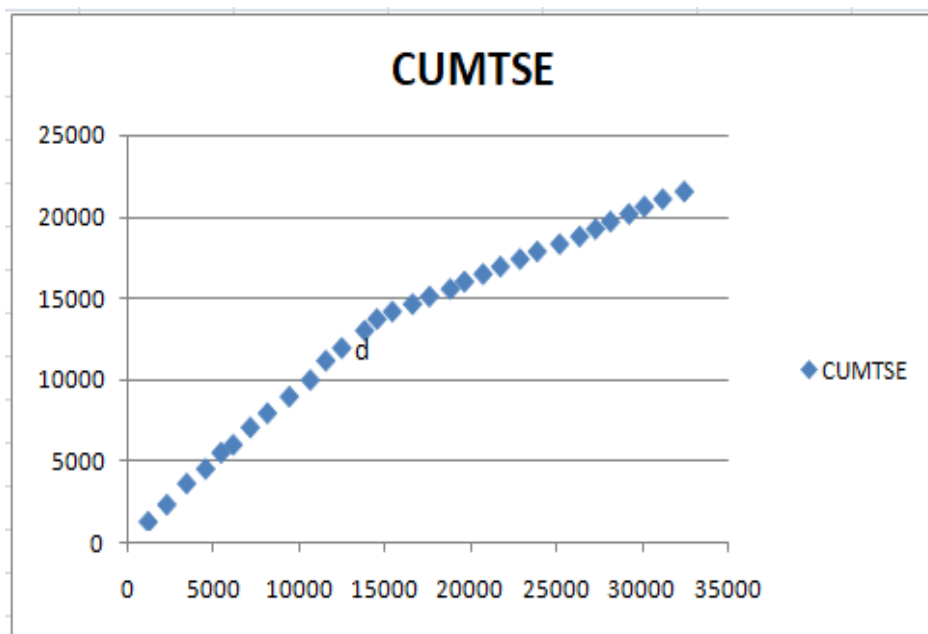


Figure.10 : Détection d’anomalie au niveau de la station de Tsévié

La rupture de pente que nous observons à partir du point sur la figure.10 est due au fait qu’à partir de cette date, nous avons eu un manque de données (des lacunes). Le cumul a donc été fait en comblant ces lacunes par la moyenne interannuelle de la station de Tsévié.

Les nouvelles valeurs ont été calculées de la manière que nous l’avons fait pour la station de Lomé.

La figure.11 nous montre l’homogénéité entre les deux stations après comblement des lacunes.

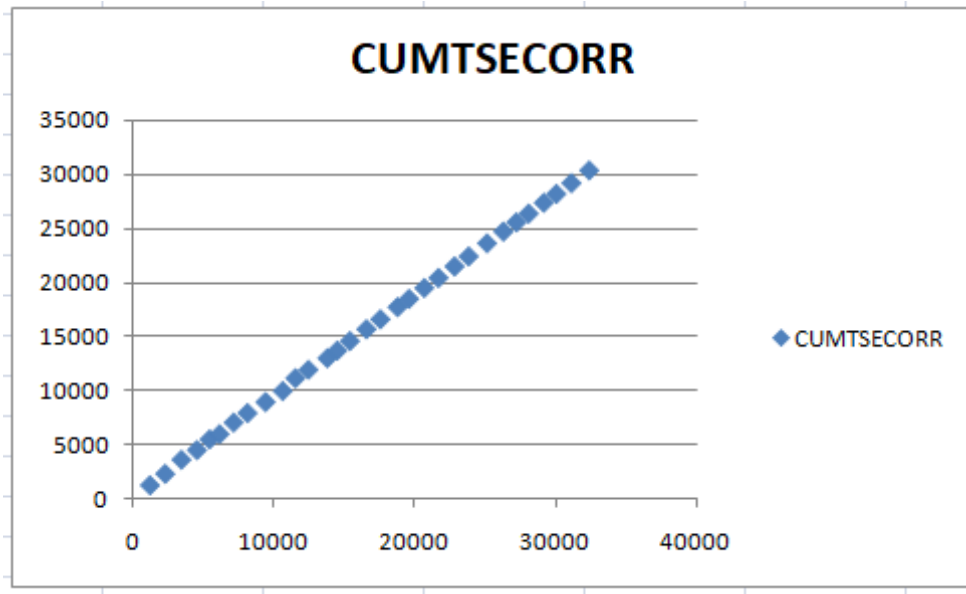


Figure.11 : Correction des données au niveau de la station de Tsévié

- Station pluviométrique de Kpalimé

Elle est située vers l’amont de la rivière Zio. Les données de cette station ont été corrélées avec celles de Tabligbo.

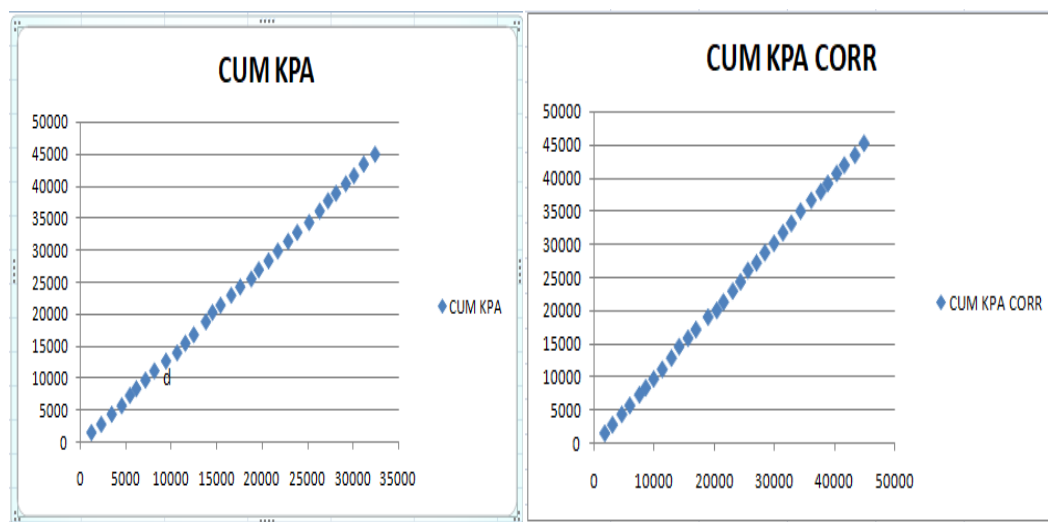


Figure.12 : Détection et correction d’anomalie au niveau de la station de Kpalimé

La rupture de pente remarquée à partir du point d sur la figure.12 à gauche est due au fait qu’à partir de cette date les valeurs que nous observons ensuite sont fausses. Nous avons corrigé en procédant de la même manière que pour la station de Lomé.

La figure.12 à droite nous montre l’homogénéité entre les deux stations après correction.

- Station pluviométrique de Kpédji

La station de Kpédji est située au centre du bassin versant. Ces données ont été corrélées avec celles de Tabligbo.

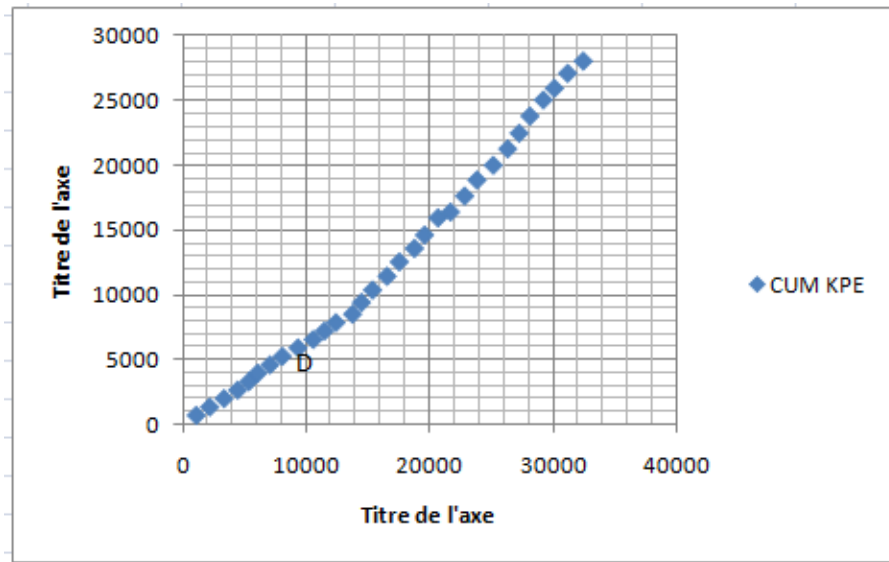


Figure.13 : Détection d’anomalie au niveau de la station de Kpédji

La station de Kpédji a des lacunes, ce qui explique l’hétérogénéité comme le montre la figure.13 ci-dessus entre les deux stations. Nous avons procédé au comblement de ces lacunes de la même manière que nous avons eu à le faire pour la station de Tsévié.

La figure.14 nous montre l’homogénéité entre les deux stations après correction.

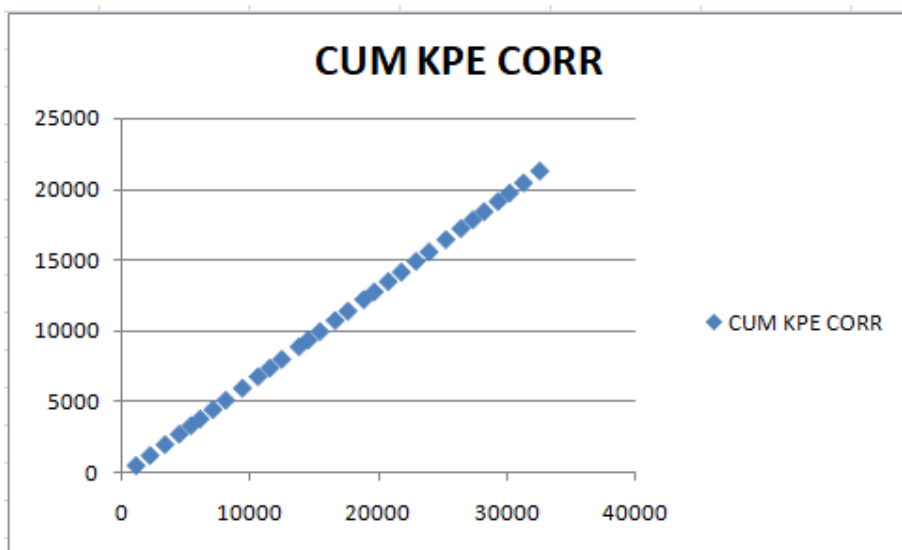


Figure .14 : Correction d’anomalie au niveau de la station de Kpédji

- Station pluviométrique d’Agou

La station pluviométrique d’Agou est située dans l’Est centre du bassin versant. Les données de cette station ont été corrélées avec celles de Tabligbo.

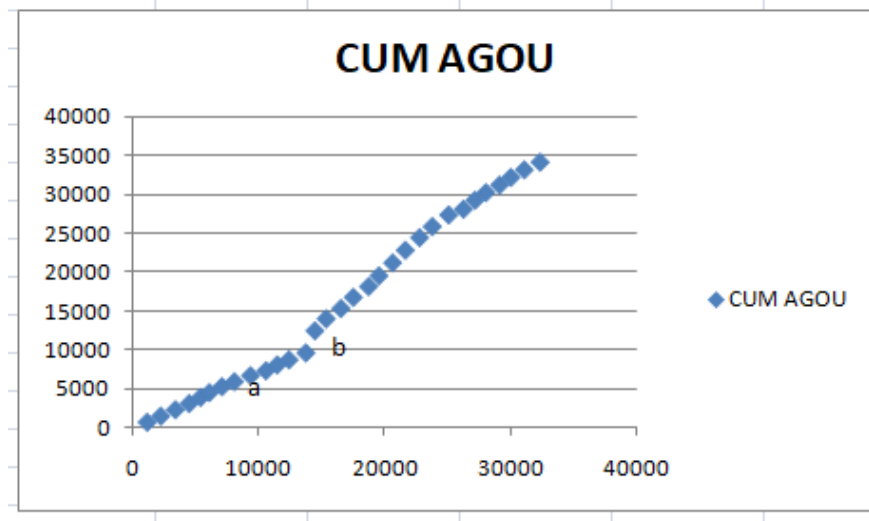


Figure.15 : Détection d’anomalie au niveau de la station d’Agou

Sur la figure.15 nous remarquons une première rupture au niveau du point **a** et une seconde au niveau du point **b**. La première rupture de pente est due aux valeurs erronées et la seconde est due à des lacunes. Nous avons procédé à la correction des valeurs puis aux comblements des lacunes, et la figure.16 nous montre l’homogénéité entre les deux stations après correction.

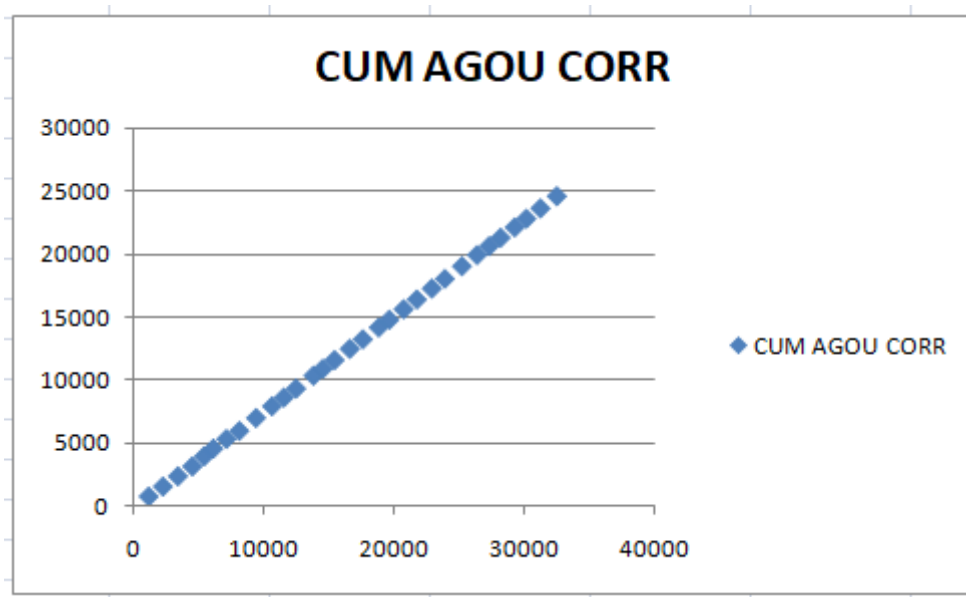


Figure.16 :Correction d’anomalie au niveau de la station d’Agou

- Station pluviométrique de Kouma Konda

Elle est située dans le nord du bassin versant. Les données pluviométriques ont été corrélées avec celles de Tabligbo.

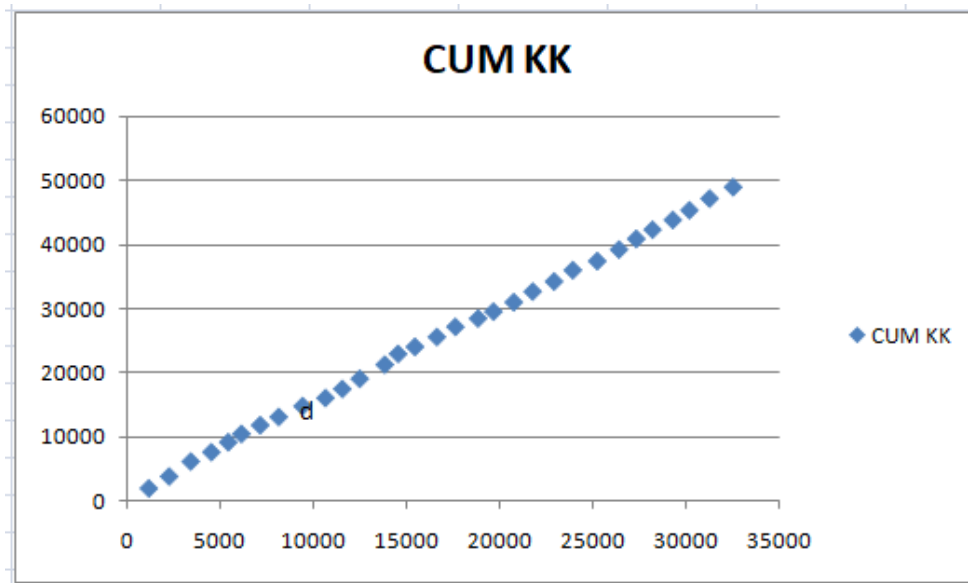


Figure.17 : Anomalie au niveau de la station de Kouma Konda

L’hétérogénéité entre les deux stations, traduit par la rupture de pente à partir du point **d**, comme le montre la figure.17, est due au fait que les valeurs à partir de cette date ne sont pas correctes. Nous avons procédé à la correction des données de la manière que pour les stations précédentes et la figure.18 ci-dessous nous montre l’homogénéité entre les deux stations après correction.

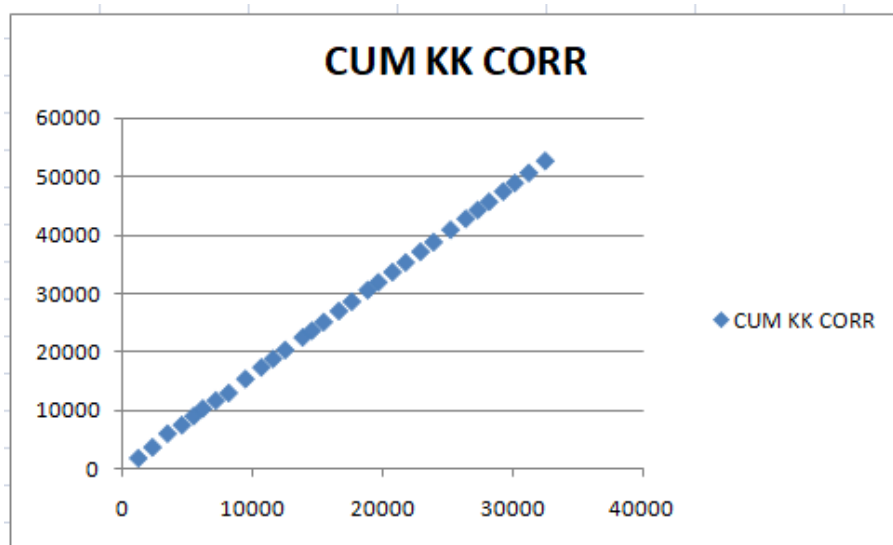


Figure.18 : Anomalie corrigée au niveau de la station de Kouma Konda

- Station pluviométrique d'Assahoun

Les données de cette station ont été corrélées avec celles de la station de Tsévié après correction, car étant la plus proche.

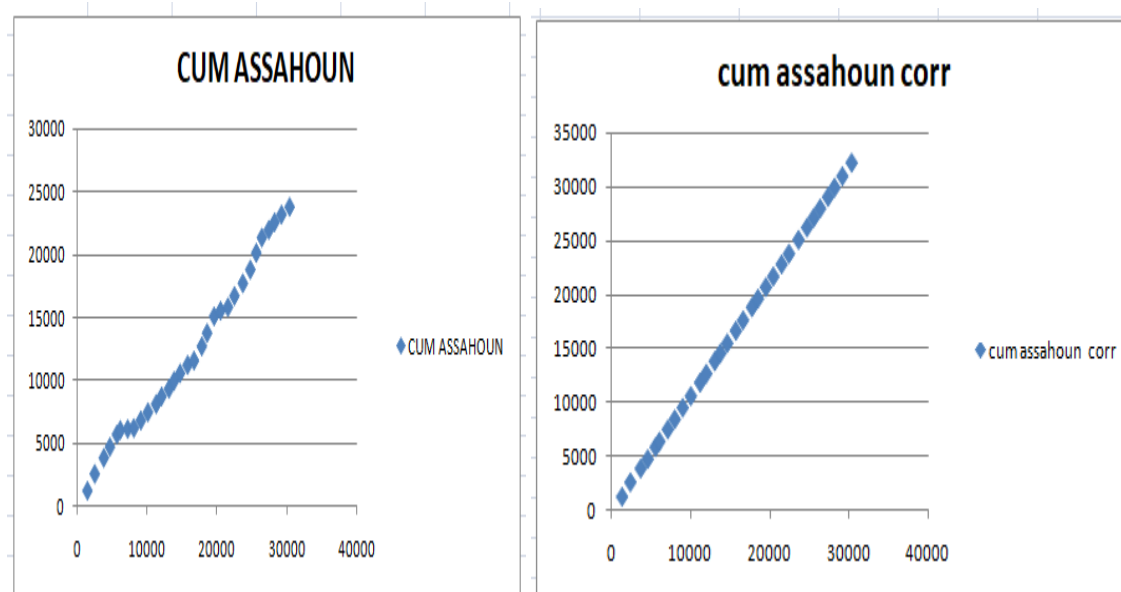


Figure.19 : Anomalie et correction au niveau de la station d'Assahoun

La figure.19 précédente, à gauche, nous montre clairement l'hétérogénéité entre les deux stations. Cette hétérogénéité se traduit par le fait que la station d'Assahoun dispose des lacunes en certaines périodes ainsi que des valeurs erronées en d'autres. Nous avons donc procédé aux comblements des lacunes et à la correction des valeurs de la même manière que pour la station de Tsévié. La figure.19 à droite nous montre l'homogénéité entre les deux stations après correction.

Après correction de ces données nous avons extrait des cumuls corrigés les valeurs non cumulées des sept (7) stations, qui sont regroupées dans le tableau ci-dessous (Tableau III)

Tableau III : Données homogénéisées des différentes stations du bassin étudié

Années	Tsevié	Lomé	Kpalimé	Kpédji	Agou	Koumakonda	Assahoun
1987	1359,1	880,9	1635,6	542,1	813,9	1890,3	1240,4
1988	1058	724	1286,2	719,7	794,9	1866,5	1337,9
1989	1296,9	1131,1	1554,6	769,6	812	2339	1284,1
1990	893,8	630,8	1323,8	733,5	785,3	1452,9	869,5
1991	992,4	1032,3	1604,7	601,4	794,4	1542,5	1114,3
1992	486,8	489	1036,6	468,9	611,6	1298,8	518,4
1993	1058,9	675,7	1334,7	666,0	765,7	1362,2	1127,7
1994	877,9	657,9	1440,4	659,4	636	1290,2	935,0
1995	1014,8	786,7	1710,8	851,1	1021,5	2390,3	1080,8
1996	1017,7	1145,7	1711,7	814,7	933,7	1981,6	1083,9
1997	1183,3	690,1	1261,8	600,6	688,3	1460,8	1260,2

1998	779	710,7	1299,3	618,4	708,8	1504,2	829,6
1999	1068	1023,6	1871,4	890,8	1020,9	2166,5	1137,4
2000	707,1	548,4	1002,7	477,3	547,0	1160,9	753,1
2001	874,7	685,6	1253,4	596,6	683,8	1451,1	931,6
2002	1085,4	898,2	1642,2	781,7	895,8	1901,2	1155,9
2003	915,7	757,8	1385,5	659,5	755,8	1604,0	975,3
2004	1124,8	930,9	1701,9	810,1	928,4	1970,3	1198,0
2005	757,6	627,0	1146,3	545,6	625,3	1327,0	806,9
2006	1002,7	829,8	1517,1	722,1	827,6	1756,3	1067,8
2007	934,8	773,6	1414,4	673,2	771,6	1637,4	995,6
2008	1055,3	873,3	1596,7	760,0	871,0	1848,5	1123,9
2009	928,6	768,5	1405,0	668,8	766,5	1626,6	989,0
2010	1208,2	999,8	1828,0	870,1	997,2	2116,3	1286,7
2011	1075,1	889,7	1626,6	774,2	887,3	1883,1	1144,9
2012	853,6	706,4	1291,5	614,7	704,5	1495,2	909,1
2013	805,6	666,6	1218,8	580,1	664,9	1411,0	857,9
2014	1000,5	827,9	1513,7	720,5	825,8	1752,4	1065,5
2015	823,8	681,7	1246,4	593,3	680,0	1443,0	877,4
2016	991,4	820,5	1500,0	714,0	818,3	1736,6	1055,9
2017	1167,8	966,4	1766,9	841,0	963,9	2045,6	1243,7

V. CONCLUSION

Nous avons appliqué ici deux différentes méthodes essentielles au contrôle des données. Il est en effet impératif de pouvoir déceler d'éventuelles fautes lors de l'acquisition de grandeurs hydrologiques et de quantifier la qualité de ces dernières ainsi que de procéder à des comparaisons. Il ressort de ce chapitre que nos données ont subi une meilleure organisation..

CHAPITRE 3

APPLICATION DE LA METHODE IDF

I. INTRODUCTION

Les caractéristiques pluviométriques sont souvent présentées sous la forme de courbes intensité-durée-fréquence (IDF) ; lesquelles représentent des synthèses des évènements de précipitations ponctuelles, qui organisent les valeurs des intensités maximales moyennes selon leurs durées et leurs fréquences d'occurrence.

En effet, l'analyse des pluies a permis de définir deux lois générales de pluviosité qui peuvent s'exprimer de la manière suivante :

- Pour une même période d'apparition (donc un même temps de retour), l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte ;
- A durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc son temps de retour sera grand).

Ces lois permettant d'établir les relations entre les intensités, la durée et la fréquence d'apparition des pluies peuvent être représentées selon des courbes caractéristiques dites courbes IDF (Musy et Higy- 2004) (Figure.20)

Dans ce chapitre, nous allons déterminer les courbes IDF pour chacun des sept(07) stations du réseau du bassin de Zio. Le but de ce chapitre est de mettre à jour les courbes IDF pour la région étudiée et d'étudier d'éventuelles variations spatiales des faisceaux IDF établis indépendamment en différents points du bassin de Zio.

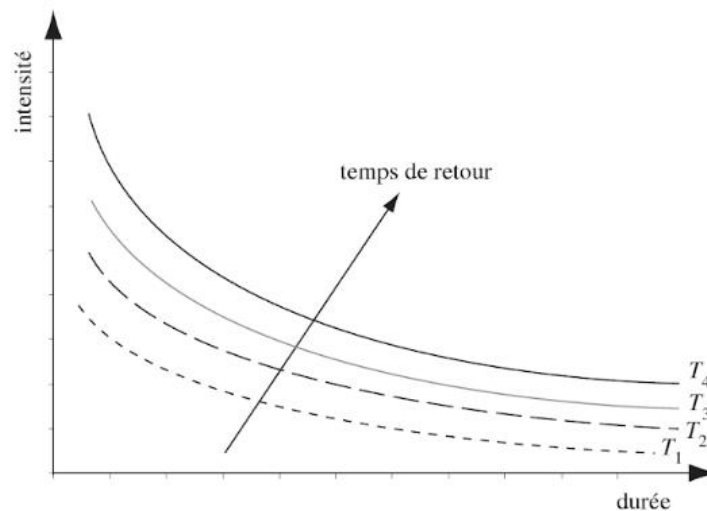


Figure.20 : Représentation des courbes IDF

II. UTILISATION DES COURBES IDF

Les courbes IDF sont construites dans un but bien précis. Elles permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique au droit d'une station donnée et, d'autre part, de calculer succinctement des débits de projets («pluie d'entrée») utilisés en modélisation hydrologique (Musy et Higy-2004).

Les courbes IDF peuvent être utilisées pour plusieurs applications. Pour l'utilisation de la méthode rationnelle, par exemple, on utilise ces courbes pour trouver une intensité de pluie correspondant à une durée et à une fréquence. Ces courbes sont aussi utilisées pour établir la fréquence d'un événement pluvieux qui a été mesuré, en prenant une intensité moyenne pour la durée de l'événement ou en considérant différentes durées à l'intérieur de la pluie observée. Finalement, les courbes IDF peuvent servir de base pour développer des pluies synthétiques pour la conception.

III. METHODOLOGIE

Pour préparer ces courbes à partir des chartes d'enregistrement, on détermine tout d'abord, en considérant toutes les données disponibles, la plus grande quantité de pluie tombée pour différentes durées (5 min, 10 min., 15 min., etc.) et on classe ces quantités en ordre croissant pour chaque durée. Une analyse de fréquence est ensuite complétée pour établir les périodes de retour des différentes intensités pour chaque groupe de durée et les résultats peuvent ensuite être mis en graphique pour montrer la relation entre l'intensité, la durée et la fréquence des précipitations.

Les courbes IDF sont établies sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station au cours d'une longue période. Les courbes obtenues peuvent donc être construites de manière analytique ou statistique. (Musy et Higy, 2004)

1. Représentation analytique

Différentes formules sont proposées pour représenter l'intensité critique d'une pluie en fonction de sa durée, pour une période de dépassement donnée.

La formule la plus générale avec T variable, est la suivante :

$$I = k.T^a / (t+c)^b \text{ ou encore, pour } T \text{ fixé, } I = a / t^b \text{ (formule de Montana)}$$

avec :

I = intensité en mm/h, T = la période de retour en années, t = la durée de référence en heure, et k, a, b, c sont les paramètres d'ajustement.

2. Représentation statistique

Lorsque l'on dispose de suffisamment de données, il est préférable de déterminer les courbes IDF à partir de ces dernières. L'analyse fréquentielle peut s'appliquer si on ne présuppose pas une loi connue (de type Montana, etc.) et si on s'intéresse à des événements rares, donc extrêmes. Les données recueillies sont alors ajustées, à un pas de temps choisi, à une loi statistique qui doit décrire relativement bien la répartition des extrêmes.

A partir du jeu de données couvrant une période de n années, on peut par exemple déterminer les n plus fortes intensités pour diverses durées de précipitations, ce qui suppose qu'une analyse des précipitations a été effectuée. De cette analyse, il convient alors de calculer la fréquence de dépassement de chacune de ces valeurs. Ce calcul permet donc de déterminer divers couples d'intensité, durée, fréquence qu'il convient ensuite de reporter sur une représentation graphique. Il reste alors à extrapoler l'allure générale des courbes IDF.

IV. APPLICATION

Avant la mise en œuvre de la méthode IDF, nous avons présenté nos données des précipitations des sept stations étudiées sous forme de graphiques illustrant ainsi, l'intensité des précipitations en fonction du nombre de jours de pluie. Les paragraphes qui suivent présentent les résultats obtenus.

1. Station d'Agou-Gare

Au niveau de la station d'Agou Gare et selon les données d'une année, nous remarquons que la période la plus arrosée est celle qui va du printemps au mois d'octobre avec l'intensité la plus marquée étant celle notée en mois d'Août.

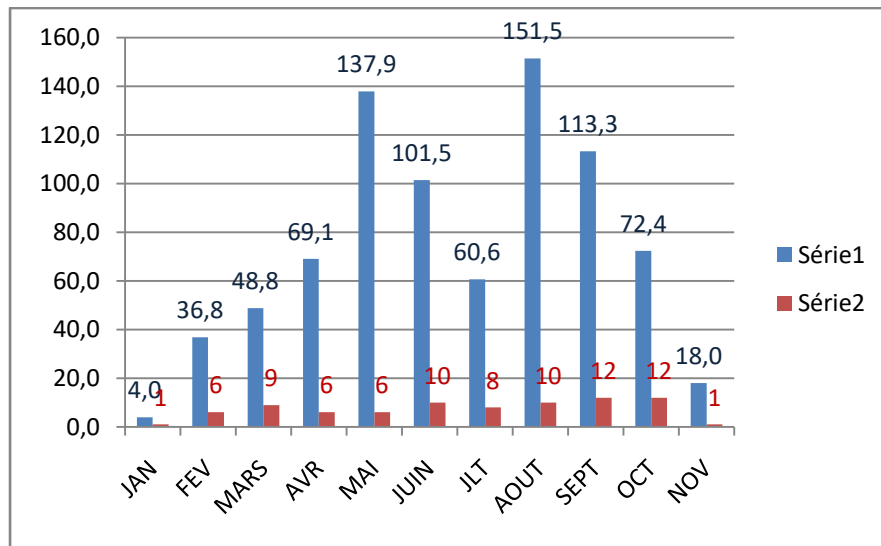


Figure.21 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l’année 1987 de la station d’Agou-Gare

2. Station d’Assahoun

Le graphique des précipitations au niveau d’Assahoun présente la particularité que la période la plus pluvieuse est celle du printemps avec des maxima marqués en mois de mars et avril et celle d’hiver est pratiquement nulle.

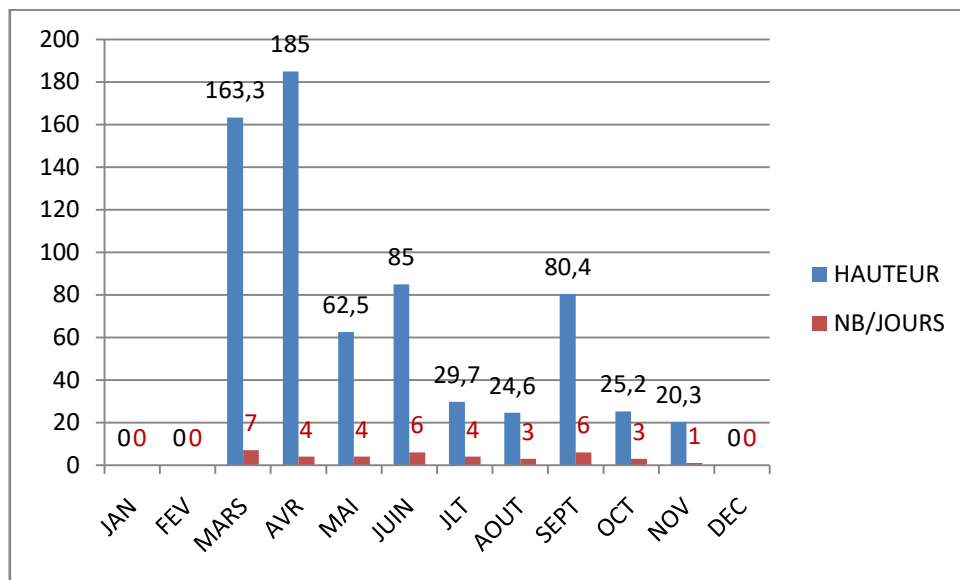


Figure.22 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l’année 1987 de la station d’Assahoun

3. Station de Tsévié

A la station Tsévié la période la plus pluvieuse est l’automne avec un maxima noté le mois de septembre avec des valeurs presque nulles en mois de janvier et décembre.

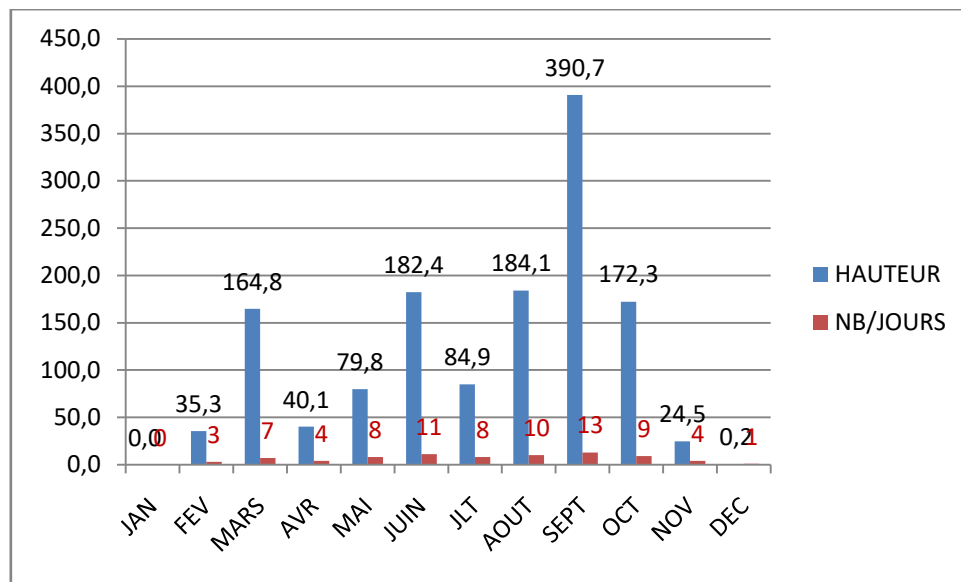


Figure.23 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l’année 1987 de la station de Tsévié

4. Station de Kpalimé

La station de Kpalimé est la zone du bassin la plus arrosée, on note des précipitations intenses presque tous les mois de l’année sauf pour les mois de novembre et décembre. Le mois d’Août est le mois le plus arrosée englobant un nombre de 17 jours de pluie.

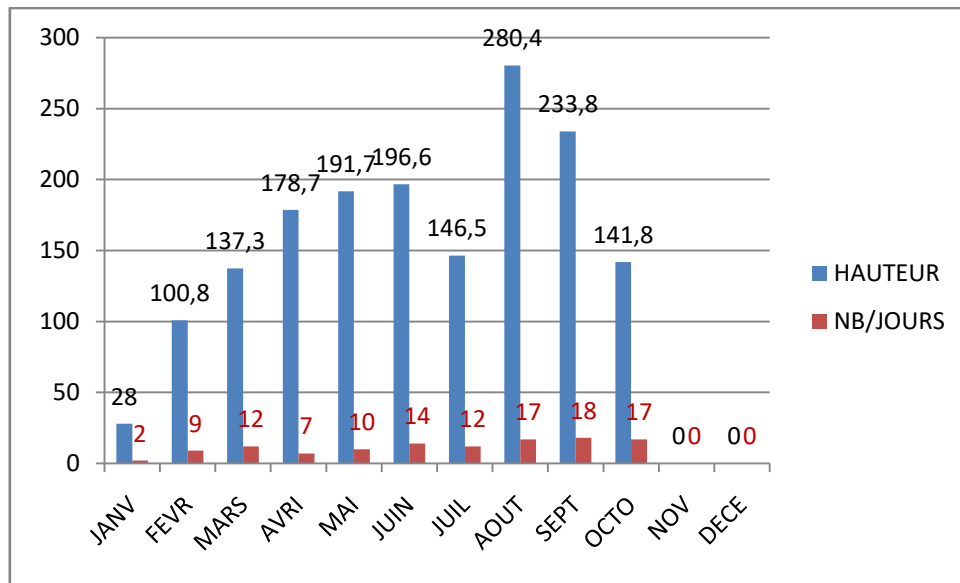


Figure.24 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987 de la station de Kpalimé

5. Station de Kpédji

La figure, ci-dessous ; montre qu'au niveau de la station étudiée pratiquement tous les mois sont humides avec les intensités très variables. Il faut signaler que les périodes les plus pluvieuses s'étendent de mars jusqu'à novembre cette fois-ci sauf que nous ne notons aucune valeur nulle pendant l'hiver.

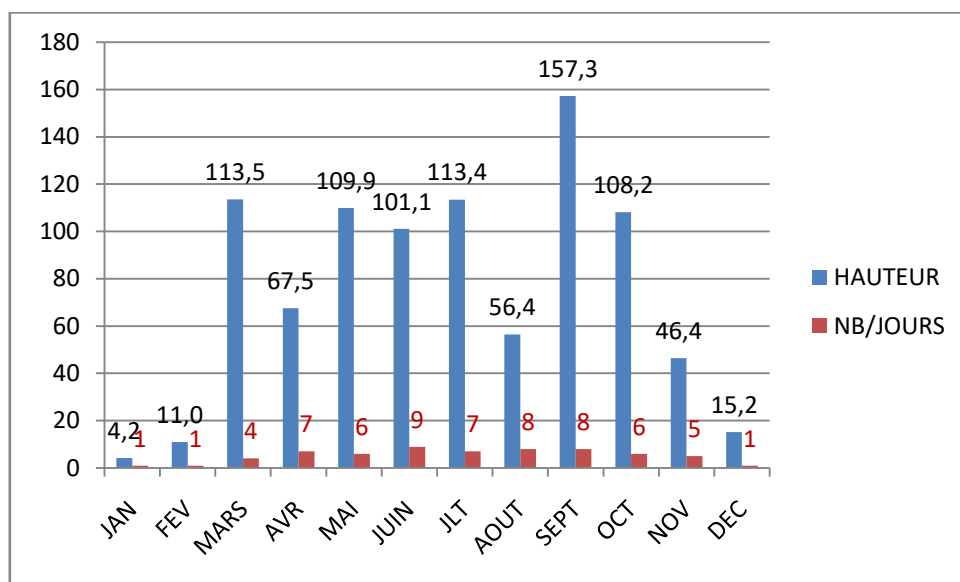


Figure.25 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l'année 1987 de la station de Kpedji

6. Station de Kouma Konda

Les maxima sont notés en mois de juin, juillet et août. En revanche, la période d’hiver est marquée par des pluies moins intenses.

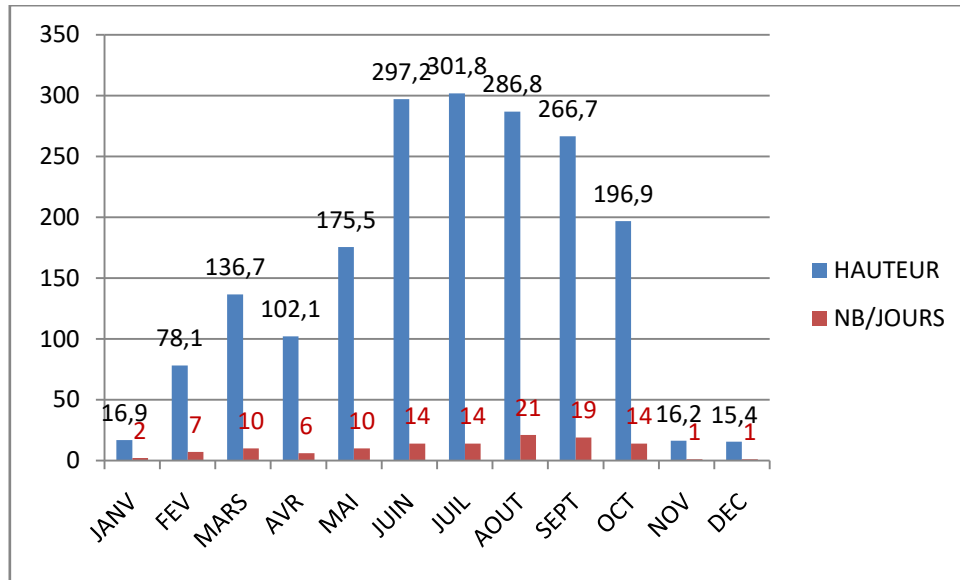


Figure.26 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l’année 1987 de la station de Kouma Konda

7. Station de Lomé

A la station de Lomé, le mois de septembre est le mois le plus arrosé où la valeur maximale atteint les 407 mm avec un nombre de jours de 18 ce qui est très important en termes de lame d’eau écoulée.

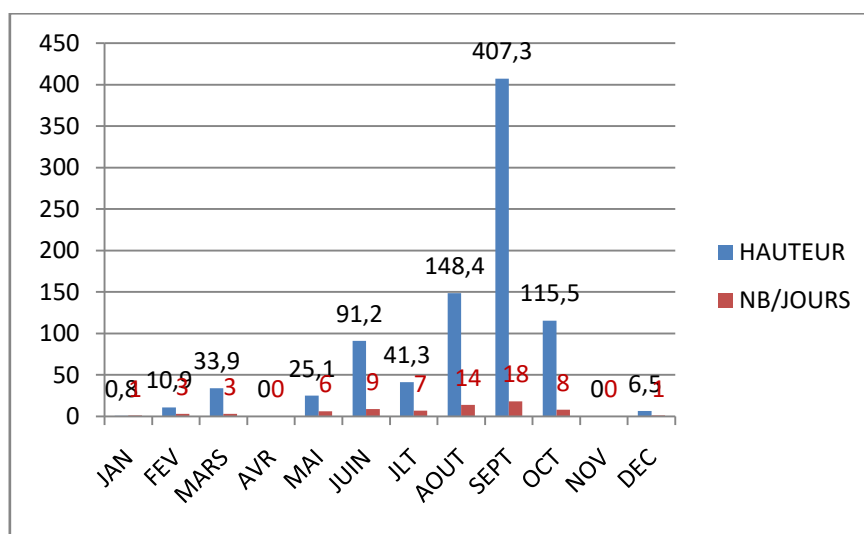


Figure.27 : Répartition des précipitations en fonction du nombre de jours durant l’année 1987 de la station de Lomé

La variation des précipitations des sept stations étudiées, nous permet de dire que les périodes pluvieuses sont souvent celles notées en été ce qui est tout à fait normale selon le climat tropicale de la zone étudiée. Il reste à signaler que les lames d'eau écoulée sont très importantes et qu'elles peuvent être la conséquence de déclenchement des crues dévastatrices.

La figure, ci-jointe, montre la répartition des maxima des pluies selon les stations et les mois correspondants. Les stations de Lomé et Tsévié se distinguent des autres stations par une lame d'eau très importante toute les deux en mois de septembre.

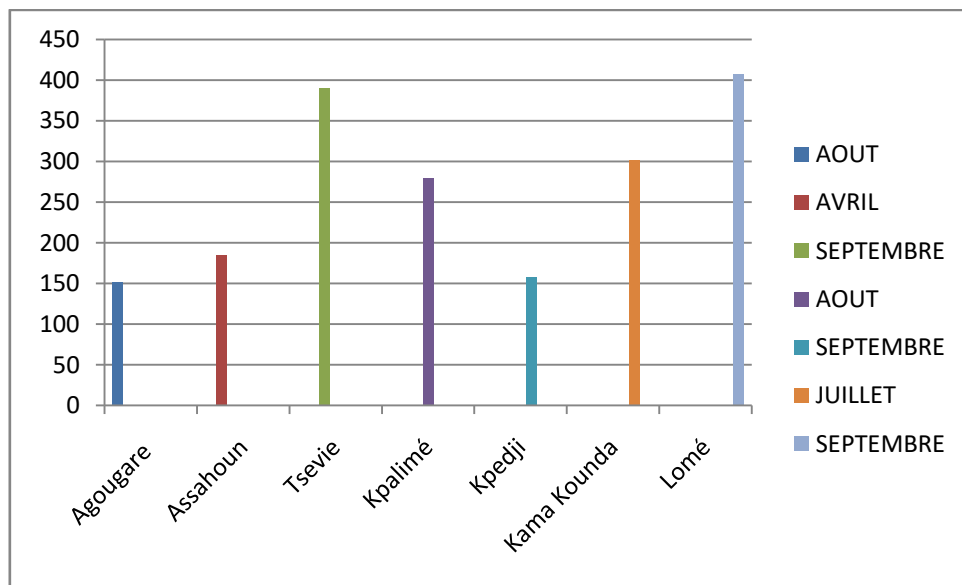


Figure.28 : Répartition des précipitations des stations étudiées du bassin versant de ZIO

La figure.29 ci-dessous montre la répartition des stations pluviométriques sur le bassin versant.

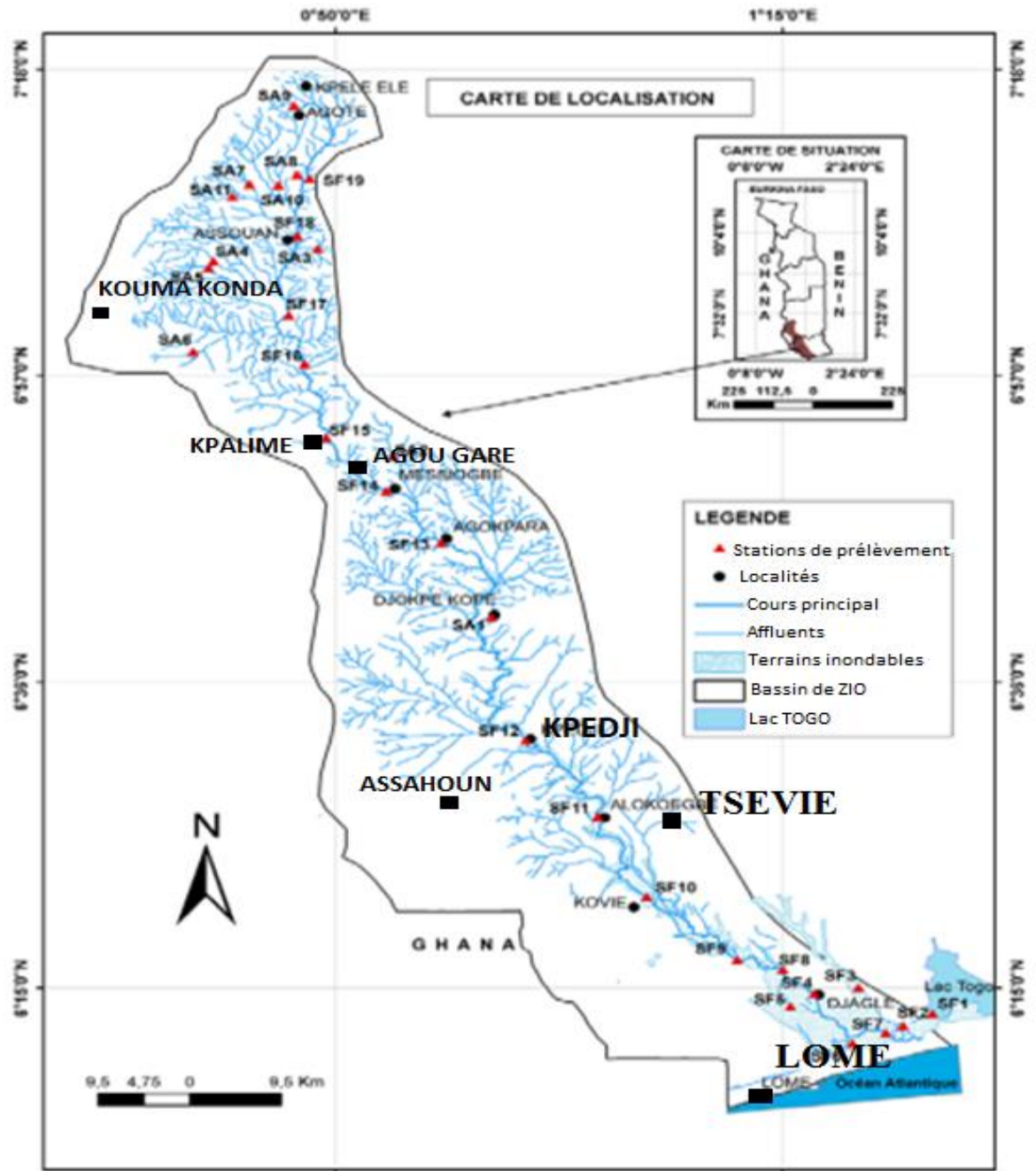


Figure.29 : Répartition des stations sur le bassin versant modifiée (Tampo et al, 2015)

A. Mise en œuvre de la méthode IDF

Après avoir présenté les différentes stations avec leur variabilité temporelle, nous avons choisi d'appliquer la méthode IDF sur la station de Tsévié.

Nous avons procédé à la démarche suivante :

1) Nous avons calculé les intensités (mm/h) en fonction de la durée de référence t et de la période de retour T ;

2) Un calcul des fréquences de non-dépassement ou des fréquences d'apparition (ou des fréquences de dépassement) a été aussi effectué sous Excel.

Le modèle statistique adopté nous a permis de décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes. Il s'agit de la loi double exponentielle dite loi de Gumbel.

La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \left(- \exp\left(\frac{x-a}{b}\right) \right) \quad (1) \text{ avec la variable réduite suivante : } u = \frac{x-a}{b} \quad (b)$$

où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel.

La distribution s'écrit alors de la manière suivante :

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad (3) \text{ et } u = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (4)$$

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire ($x_q = a + bu_q$).

En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes $x - u$, il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi. L'estimation des paramètres a et b de l'ajustement peut se faire graphiquement (ajustement à l'œil ou à l'aide d'une régression statistique), ou selon une méthode mathématique comme celle des moments.

En pratique, il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement $F(x_i)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur x_i . Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition $F(x)$ à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang r . Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen :

$$F(x_r) = \frac{r-0,5}{n} \quad (5)$$

Où r est le rang dans la série de données classée par valeur croissante, n est la taille de l'échantillon, x_r la valeur de rang r .

Rappelons encore que le temps de retour T d'un évènement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'évènement. Soit :

$$T = \frac{1}{1-F_q(x_q)} \quad (6) \quad q=Q$$

A l'aide de l'ajustement, il est alors possible d'estimer le débit de pointe pour un temps de retour donné.

1. Méthode des moments

La méthode des moments consiste à égaler les moments des échantillons avec les moments théoriques de la loi. Par la méthode des moments, les paramètres a et b sont calculés par les formules :

$$\begin{cases} b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \\ a = \mu - by \end{cases} \text{ avec } y = 0,5772 \quad (\text{constante d'Euler}). \quad (7)$$

avec : σ : écart type des valeurs composants l'échantillon et μ : moyenne de l'échantillon.

Dès lors il est possible d'estimer les débits dont la représentation graphique est une droite d'équation :

$$Q = a + b.u \quad (8)$$

avec : u : variable réduite (cf. équation (4))

Rappelons que pour une durée de pluie donnée, l'estimation du temps de retour de chaque lame précipitée, les étapes adoptées sont :

Etape 1 : préparation de la série de données de lames précipitées

- Trier les valeurs dans l'ordre croissant
- Attribuer un rang à chaque valeur

Etape 2 : calcul de la fréquence empirique pour chaque rang (Hazen, équation (5)).

Etape 3 : calcul de la variable réduite « u » du Gumbel (équation (4)).

Etape 4 : représentation graphique des couples (u_i, x_i) de la série à ajuster

Etape 5 : ajustement d'une relation linéaire de type $x_q = a + bu_q$ aux couples (u_i, x_i)

Etape 6 : calcul de l'intervalle de confiance à l'aide de la formulation de l'énoncé.

Etape 7 : utilisant le modèle statistique pour estimer les lames précipitées de différents temps de retour T . Par exemple, pour $T= 20$ ans et $t= 24$ h, on suit les étapes suivantes :

- Calcul de la fréquence de non-dépassement d'après la relation (6) :

$$F(Q_p(T)) = 1 - \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{20} = 0,95$$

- Calcul de la variable réduite de Gumbel correspondante d'après la relation (4) :

$$u = -\ln(-\ln(F(Q_p(T)))) = -\ln(-\ln(0,95)) = 2,97$$

B. Représentation et interprétation des résultats

Le report des données dans le script IDF implémenté sous Excel a permis de calculer les temps de retour suivant le premier jour, deuxième jour, troisième jour, cinquième jour et dixième jour à partir de la variable réduite de Gumbel et de la durée de pluie considérée ; ceci a permis aussi d'estimer l'intensité pluviométrique moyenne maximale pour la station de Tsévié (cf. tableaux de la figure 30 ci-dessous).

Ces derniers regroupent l'estimation de la lame d'eau écoulée pour les pas de temps choisis. On note que les moyennes retrouvées présentent un contraste très important en fonction de la durée de l'averse. Par exemple pour le pas de temps de 1 jour correspond une moyenne de 8,2mm alors que cette valeur augmente progressivement pour le pas de temps de 2 jours avec 21mm, pas de temps de 3 jours avec 34,7mm et le dernier pas de temps de 10 jours avec 145,5mm. Ce qui nous amène à dire qu'au niveau de la station de Tsévié, l'intensité des précipitations est beaucoup plus important que la durée est plus longue.

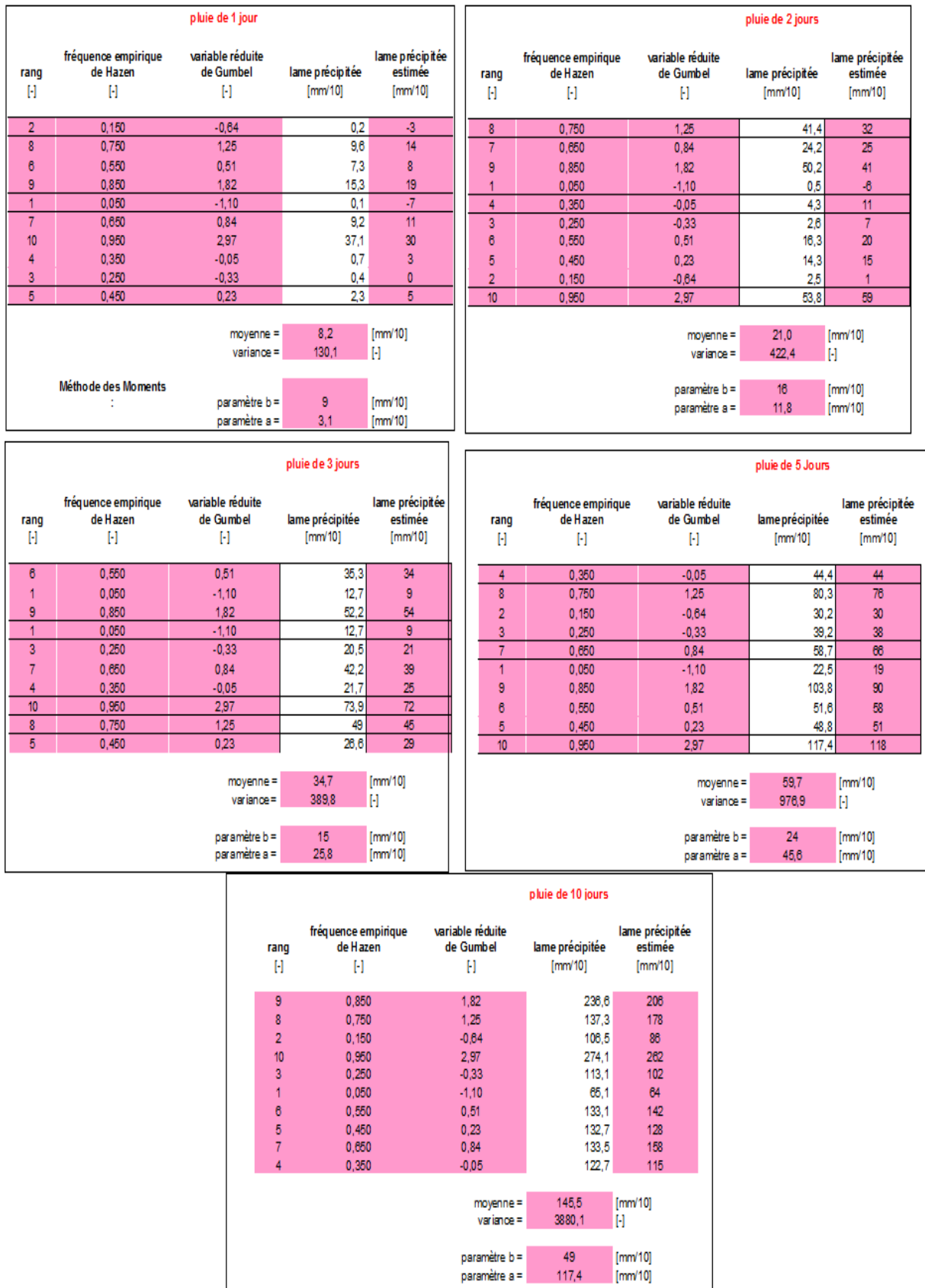


Figure 30 : Distribution de Gumbel pour la station de Tsévié

Par ailleurs, le calcul des courbes intensités durée fréquence de la même station sont résumées dans le tableau de la figure 31 ci-dessous.

La lame d'eau précipitée maximale a été calculée en fonction des temps de retour respectivement 2ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans et 50 ans.

Il en ressort les observations suivantes :

Lames précipitées maximales pour TSEVI					
Paramètres a et b des droites d'ajustement (méthode des moments):					
	pluie de 1 jour	pluie de 2 jours	pluie de 3 jours	pluie de 5 jours	pluie de 10 jours
paramètre b =	9	16	15	24	49
paramètre a =	3,1	11,8	25,8	45,6	117,4
					[mm/10]
					[mm/10]
	temps de retour =	temps de retour =	temps de retour =	temps de retour =	temps de retour =
	2	5	10	20	50
					[an]
probabilité cumulée de non dépassement F =	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98
variable réduite de Gumbel u =	0,37	1,50	2,25	2,97	3,90
					[-]
					[-]
Estimation des lames précipitées:					
Durée de la pluie	Lame précipitée	Lame précipitée	Lame précipitée	Lame précipitée	Lame précipitée
[h]	[mm/10]	[mm/10]	[mm/10]	[mm/10]	[mm/10]
24	6	16	23	30	38
48	18	36	48	59	74
72	31	49	60	72	86
96	55	82	100	118	141
120	135	190	227	262	307
Estimation des intensités pluviométriques:					
Durée de la pluie	intensité moyenne	intensité moyenne	intensité moyenne	intensité moyenne	intensité moyenne
[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
24	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
48	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
72	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
96	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
120	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3

Figure.31 : Calcul des lames précipitées et des intensités

- Les lames d'eau précipitées en 24h tendent à être plus importantes pour les temps de retour en fonction des cycles de retour choisis.
- Concernant les durées de 5jours par exemple, l'intensité pour le temps de retour T= 2ans augmente considérablement en fonction du temps et ce pratiquement touche l'ensemble des lames calculées au-delà du temps de retour T=2ans
- Nous remarquons aussi que, l'intensité moyenne dans le dernier tableau est plus importante pour une durée élevée de pluie par exemple pour 120h, l'intensité est de 0,2mm/h

pour les trois temps de retour de (3-5-10 ans) qui se stabilise par la suite à ces niveaux pour des raisons qu'on ignore ou bien qu'il va falloir se référer aux données originales.

La construction dans le graphique suivant des courbes intensités durée fréquence, nous a fourni les observations suivantes :

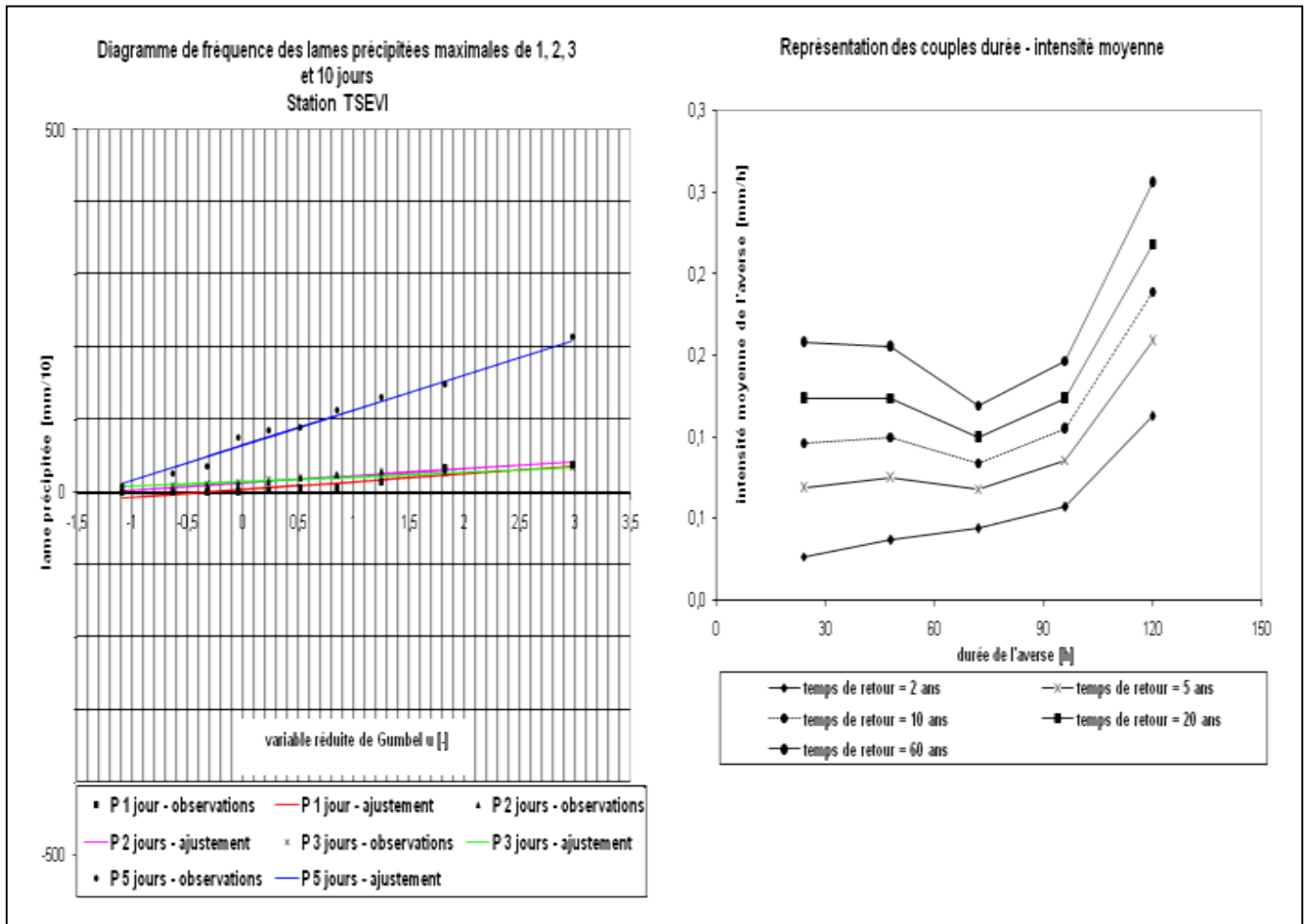


Figure.32 : Représentation des courbes IDF et des lames précipitées

Nous pouvons à présent et selon les données utilisées pour la construction des courbes IDF estimer la lame d'eau précipitée pour un temps qui va de 24h à 120h pour les temps de retour correspondant à 2ans , 3ans , 5ans et 10ans.

- Pour T= 2ans

L'intensité est beaucoup plus faible pour les premières heures et tend à devenir plus sévère autrement dit plus dangereuse vers les heures qui viennent.

A ce niveau, on note aussi que l'intensité de la pluie au niveau de la station de Tsévié est plus importante en fonction du nombre de jours.

- T=5ans

L'intensité est importante entre 24-50 h. Au-delà de ce temps, une baisse est remarquée au niveau du temps 72h. Ensuite, nous remarquons une nouvelle augmentation au-delà de 80h de pluie.

Par ailleurs, cette intensité tend à être extrêmement importante au-delà de 120h ce qui nous fait pensé qu'au niveau de la station de Tsévié, la pluie a une durée de plus de dix jours pour les temps de retour T= 5 ans, T=10 ans et T=60ans.

Nous avons voulu retracer, l'évolution de l'intensité de la pluie en fonction de la durée pour plus de dix (10) ans juste pour pouvoir valider le palier de baisse que nous avons signalé pour T=5ans. Les résultats dans le graphique montrent toujours une certaine stabilité pour les premières heures en terme d'intensité puis toujours l'existence de la baisse après les 72h qui est moins importante que les premières heures suivie d'une augmentation brutale de cette intensité au-delà de 120h. Ce qui confirme que les pluies au niveau de la station de Tsévié ont tendance à durer plus longtemps, autrement dit, dépassant ainsi une durée de 5 jours et plus.

V. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre, les données des précipitations des sept station étudiées sous forme de graphiques illustrant ainsi, l'intensité des précipitations en fonction du nombre de jours de pluie. Nous avons aussi établi les courbes IDF pour la station de Tsévié ; nous notons que l'intensité de la pluie au niveau de la station de Tsévié est plus importante en fonction du nombre de jours.

Conclusion générale

Afin de dimensionner les ouvrages de protection et de protéger notre zone d'étude des inondations, nous avons réalisé ce présent travail, qui est un complément aux divers travaux réalisés dans cette région. Le bassin versant de Zio est caractérisée par sa forme allongée et présente en général un relief modéré. L'étude de la géologie nous a permis de découvrir que cette zone est formée essentiellement de roches métamorphiques (gneiss, quartzites, schistes, etc.) et sédimentaires (marnes, calcaires, sables, argiles et phosphates).

L'établissement des courbes intensité-durée-fréquence (IDF), est l'objectif de cette étude afin de déterminer les zones où l'intensité de pluie est forte. Avant la mise en œuvre de la méthode IDF, nous avons procédé à un traitement des données afin de corriger à l'aide de la méthode des doubles cumuls, les lacunes et discontinuités dans les séries chronologiques des pluies.

La présentation des données des précipitations des sept (07) stations étudiées sous forme graphique, illustrant l'intensité des précipitations en fonction du nombre de jours de pluies nous a permis de savoir que les périodes pluvieuses sont souvent celles notées en été ce qui est tout à fait normale selon le climat tropicale de la zone étudiée.

Les stations de Lomé et Tsévié se distinguent des autres stations par une lame d'eau très importante au mois de Septembre. L'application de la méthode IDF a donc été faite sur la station de Tsévié. Nous avons noté après application de la méthode sur cette station que pour un temps de retour $T=2$ ans, l'intensité de la pluie est plus importante en fonction du nombre de jours mais beaucoup plus faible pour les premières heures. Pour le temps de retour $T=5$ ans, l'intensité est importante entre 24 et 50 h. Au-delà de ce temps, une baisse est remarquée au niveau du temps 72h. Ensuite, nous remarquons une nouvelle augmentation au-delà de 80h de pluie et tend à être extrêmement importante au-delà de 120h. Nous avons alors conclu qu'au niveau de la station de Tsévié, une pluie a une durée de plus de dix (10) jours pour les temps de retour $T= 5$ ans, $T= 10$ ans et $T= 60$ ans.

Enfin, il faut dire qu'une mise à jour des courbes IDF pour les stations du bassin versant de Zio, sur la base des séries pluviométriques est indispensable pour comprendre la variation des intensités pluviales dans le contexte du changement climatique, et ce dans le but de la prévention contre les inondations et du dimensionnement des ouvrages de protection.

Références bibliographiques

AFFATON P. (1975 à 1987). Etude géologique et structurale du Nord-Ouest Dahomey, du Nord Togo et du Sud-Est de la Volta

AGBOSSOUMONDE Y. (1998). Les complexes ultrabasiques-basiques de la chaîne panafricaine au Togo (Axe – Atakpamé, sud Togo) : Etude pétrographique, minéralogique et géochimique. Thèse de Doctorat

AGBOSSOUMONDE Y., GUILLOT S., MENOT R.P. (2004). Pan-African subduction-collision event evidenced by high-pressure granulites from the Agou Massif, southern Togo. Precambrian Research, vol. 135, pp. 1-21

ANCEY C. (2018). Risques hydrologiques et aménagement du territoire

BAKRETI, A (2014). Modélisation du bassin versant de la Tafna ; thèse de doctorat.

BAUWENS, A., SOHIER, C., DEGRE, A., (2012). Impacts du changement climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin de la Meuse (synthèse bibliographique).

BELARBI F. (2010). Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la Tafna. Mémoire de Magister

BOIS, Ph., OBLED, Ch. et ZIN I. (2007) Introduction au traitement de données en hydrologie, - Janvier 2007.

BRAUDI., (2011). Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des bassins versants périurbains. Apport des données de débit non systématiques pour l'étude des crues éclair.

BRUNET-MORET Y. (1969). Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrogéologie. ORSTOM.

BRUNET-MORET Y., (1971). Etude de l'homogénéité de séries chronologiques. ORSTOM.

CHAPONNIERE, A. (2005). Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride : cas du bassin versant du Rehraya (haut atlas marocain). Thèse de doctorat

CHAYMA, C. (2016). Modélisation de l'érosion hydrique par le modèle SEAGIS : cas du bassin versant du barrage Siliana. Mémoire de master.

Convention TOGO-ORSTOM du 26 – 01 – 1973.Annales hydrologiques du Togo : depuis la création des stations jusqu'à l'année hydrologique 1970 – 71, tome 1 ; bassin du mono, bassin du lac Togo.

DJELED., (2015). Les conditions de la sécheresse et les stratégies de sa gestion au Togo, atelier régional pour l'Afrique de l'ouest et central Mai 2015.

DJELE, D. (2015) Les conditions de la sécheresse et les stratégies de sa gestion au Togo, : atelier régional pour l'Afrique de l'Ouest et Central dans le cadre de l'initiative de l'ONU-Eau sur le développements des capacités à l'appui de politiques nationales de gestion de la sécheresse- Accra Ghana- Mai 2015.

DUBAND, D. (1982). Hydrologie statique approfondie de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses

FAO (2014).Atlas des zones à haut potentiel aquacole du Togo,

GAGNON P.,(2012). Désagrégation statistique de la précipitation mésoéchelle. Thèse de PhD en Sciences de l'eau

GALEA G., (2006).Application du modèle convergent de la méthode hydrologique QDF au bassin versant du SAF SAF, Larhyss journal n°5 Juin 2006.

GALEA G., et PRUDHOMME C.,(1994).Modèles débit-durée-fréquence et conceptualisation d'un hydrogramme de crue synthétique : validation sur le BVRE de Draix.

GARCON (1993). Etude des courbes Intensité Durée Fréquence des précipitations dans les alpes

GHANMI H.(2014).Estimation des courbes intensités durée aire fréquence (IDAF) de la région de Tunis dans un contexte multi fractal. Thèse de doctorat

GNAZOU Dadjia-Toyou M. (2008). Etude hydrodynamique, hydrogéochimique, isotopique et modélisation de l'aquifère du paléocène du bassin sédimentaire côtier au Togo, Thèse de doctorat spécialité hydrogéologie.

GNON-KONDE S., ADAMA A., AGBODJAN M., APALOO M. (1997). Géographie de l'Afrique. Le Togo, Hatier/Limusco, Paris, 2^e édition

JOURDAIN, V., TAHA B.M.J O., (2006).Modélisation régionale de type durée-débit-fréquence (QdF) des évènements de crues printanières dans un cadre non stationnaire

KHANH-HUNG L. (2004). Mise à jour des courbes d'intensité durée fréquence des pluies de courte durée du climat récent au Québec ; 57^e congrès annuel de l'association canadienne des ressources hydriques.

LABORDE JP. (2000). édition 2000.Eléments d'hydrologie de surface.

LABORDE JP. (2009) édition 2009 Eléments d'hydrologie de surface

LUIZ LOPES DA SILVEIRA, A., (1993). Etude des relations intensité-durée-fréquence, distribution spatiale et coefficient d'abattement des précipitations du bassin du Diluvio à porto-allegre Brésil. Mémoire de D.E.A

MENASRIA A., (2016). Courbes IDF pour la région pluviométrique de la région centre de l'Algérie du Nord, mémoire de master.

MUSY A. et LAGLAINE (1992). Article hydrologie générale

MUSY, A. (1998). Hydrologie appliquée

MUSY, A. (2005). Cours hydrologie générale

MUSY, A. et HIGY, C., (2004). Hydrologie : une science de la nature

ORSTOM – LOME (1965). Les statistiques hydrologiques du Togo : description, caractéristiques annuelles, hauteurs et débits classés.

PLANTIER M.,(2003). Prise en compte de caractéristiques physiques du bassin versant pour la comparaison des approches globales et semi-distribuée en modélisation pluie-débit. Mémoire de DEA

Programme Nationale de Suivi de l'Environnement au Togo (PNSET), (2012). Ministère de l'environnement et des ressources forestières. Janvier 2012.

RAKOTONDRABE F., (2007). Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava (SW de Madagascar) ; mémoire de recherche

RIAD S. (2003). Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse de doctorat

RIVOIRARD J. (2003). Cours de géostatistique multi variable

ROUX C.(1996). Analyse des précipitations en hydrologie urbaine, thèse de doctorat.

SAUQUET E., et Gilles Galea(2004). Caractérisation du régime des hautes eaux en débit-durée-fréquence, application au contexte algérien

SAUQUET, E, (2000). Régimes hydrologiques : des concepts et modèles renouvelés, adaptés au développement des connaissances-Mai 2000.

SAUQUET, E., JAVELLE, P., et LE CLERC, S., (2003). Description des régimes hydrologiques des hautes eaux : nouvelle formulation pour l'analyse en débit-durée-fréquence et applications en ingénierie.

SOGBEDJI, M. (1987). Etude de la pluviométrie du Togo méridional.

SYLVAIN J.P. (1986). Notes explicatives de la carte géologique de Lomé

SYLVAIN J.P., ASSIH-EDEOU P., CASTAING C., CHEVREMONT Ph., COLLART J. et OUASSANE I. (1986). Notice explicative de la carte géologique 1/200000, feuille Atakpamé. In D.G.M.G./B.N.R.M., Lomé Togo

TAIROU M. S., (2006). La tectonique tangentielle panafricaine au nord du TOGO

TAMPOL. (2015). Application des méthodes statistiques à l'étude hydro chimique des eaux d'un système tropical : cas du bassin versant de la rivière de Zio (TOGO) ; *European Scientific Journal* May 2015.

UNESCO – PARIS (1972). Bilan et tendance de la recherche en hydrologie 1965-74,

VERLEY F. et BILLAULT P. (2014). Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; Janvier 2014. Synthèse des travaux de modélisation de la nappe de Beauce

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1: CONSIDERATIONS GENERALES.....	2
I. INTRODUCTION.....	3
II. PRESENTATION DU TOGO	3
III. LOCALISATION DE LA ZONE D’ETUDE	5
IV. SYNTHESE CLIMATOLOGIQUE.....	6
V. SYNTHESE GEOLOGIQUE.....	8
VI. SYNTHESE GEOMORPHOLOGIQUE.....	10
VII. CONCLUSION PARTIELLE.....	11
CHAPITRE 2: TRAITEMENT DES DONNEES.....	12
I. INTRODUCTION.....	13
II. AQUISITION DES DONNEES	13
III. CRITIQUE DES DONNEES	13
IV. RECHERCHE DES ERREURS ET CORRECTION DES MESURES.....	14
A. Méthode des cumuls simples.....	14
B. Méthode des doubles cumuls.....	16
1. Présentation générale de méthode	16
2. Application de la méthode aux stations étudiées.....	17
V. CONCLUSION	25
CHAPITRE 3 : APPLICATION DE LA METHODE IDF.....	26
I. Introduction	27
II. Utilisation des courbes IDF.....	28
III. Méthodologie.....	28
1. Représentation analytique	28
2. Représentation statistique.....	29
IV. APPLICATION.....	29
1. Station d’AGOU GARE	29
2. Station d’ASSAHOUN.....	30
3. Station de TSEVIE	31
4. Station de Kpalimé	31
5. Station de Kpedji	32
6. Station de Kouma Kounda.....	33
7. Station de Lomé.....	33

A. Mise en œuvre de la méthode IDF	36
B. Représentation et interprétation des résultats	38
IV. CONCLUSION	47
CONCLUSION GENERALE	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45