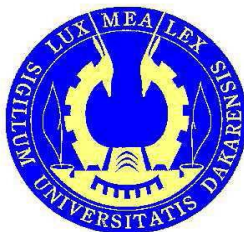


UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE

RAPPORT DE RECHERCHE

Master I : Ressources, Environnement et Développement (R.E.D)

Parcours : Hydrologie Continentale

Sujet :

**ANALYSE DE LA PLUVIOGRAPHIE A LA STATION
SYNOPTIQUE DE DIOURBEL DE 2000 A 2017**

Présenté par :

Abdoulaye MBAYE

Sous la direction de :

M. Honoré DACOSTA

Maitre de conférences titulaire

Année universitaire 2017-2018

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	2
INTRODUCTION GENERALE :	3
I. PROBLEMATIQUE :	5
1. Contexte de l'étude :	5
2. Justification :	7
3. Etat de la question de recherche :	9
4. Cadre opératoire :	13
5. Définition des concepts :	14
II. METHODOLOGIE :	15
1. Observation de terrain :	15
2. Recherche documentaire :	15
3. Travail de terrain :	16
III. PLAN MASTER 2 :	18
CONCLUSION GENERALE :	19
Bibliographie :	20

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ADEPT : Amicale des **D**iplômés de l'**E**cole **P**olytechnique de **T**hiès

ANACIM : Agence **N**ationale de l'**A**viation **C**ivile et de la **M**étéorologie

ANSD : Agence **N**ationale de la **S**tatistique et de la **D**émographie

BU : **B**ibliothèque **U**niversitaire

EITARC : **E**tude **A**gronomique des **R**égions **C**haudes

FLSH : **F**aculté des **L**ettres et **S**ciences **H**umaines

HDF : **H**auteur **D**urée **F**réquence

IDF : **I**ntensité **D**urée **F**réquence

IRD : **I**nstitut de **R**echerche pour le **D**éveloppement

ORSTOM : **O**ffice de la **R**echerche **S**cientifique et **T**echnique d'**O**utre-**M**er

PDA : **P**rogramme **D**irecteur d'**A**ménagement

UCAD : **U**niversité **C**heikh **A**nta **D**iop de **D**akar

USLE : **E**quation **U**niverselle des **P**ertes en **S**ol (Universal Soil Losses Equation)

RGPHAE : **R**ecensement **G**eneral de la **P**opulation et de l'**H**abitat, de l'**A**griculture et de l'**E**levage

RPI : **R**elevés **P**luviométriques **I**ntégraux

SIP : **S**ystème d'**I**nformation **P**luviographique

INTRODUCTION GENERALE :

On appelle précipitations l'ensemble des eaux provenant de l'atmosphère après un processus de condensation et qui tombent à la surface de la terre sous forme essentiellement liquide, solide et occulte.

Depuis le XIX^{ème} siècle, la conception et le dimensionnement des systèmes d'assainissement urbain sont réalisés selon le principe de « tout à l'égout » qui consiste à évacuer loin des villes les eaux de toute nature. En Afrique, l'urbanisation galopante des villes a entraîné un engorgement de ce système. Ceci est source d'innombrables dégâts matériels et pertes en vies humaines dans les villes africaines en général et sénégalaises en particulier. De ce fait, cette urbanisation mal maîtrisée (pression foncière sur les zones inondables et humides, imperméabilisation extensive des sols) place l'eau au cœur de l'aménagement du territoire.

A l'image des autres villes sénégalaises, la région de Diourbel n'est pas exclue de ces phénomènes désastreux. Car ses riverains connaissent des saisons pluvieuses cauchemardesques en vivant un véritable calvaire sous les eaux. La forte variabilité pluviométrique et la vulnérabilité des populations face aux « stress climatiques » font que Diourbel subit de façon dramatique les extrêmes hydro-climatiques.

Dès lors la pluie devient un paramètre important à déterminer puisque c'est contre elle que l'on veut se prémunir.

La pluviographie, l'enregistrement continu de la pluie, a intéressé essentiellement les hydrologues et les hydrauliciens. L'étude fine des pluies consiste surtout à analyser les averses à travers leur durée, leur hauteur, leur fréquence et sans doute leur intensité. Autrement dit, elle permet en plus du total journalier, d'étudier l'intensité des pluies sur différents intervalles de temps, en général de la minute à plusieurs heures. Les enregistrements pluviographiques sont des informations pseudo-continues qui offrent la possibilité de quantifier la hauteur de pluie tombée sur des intervalles de temps très réduits.

Ainsi, le dépouillement des pluviogrammes à l'échelle infra horaire ne fait pas l'objet d'une publication systématique. Les données pluviographiques sont archivées à l'état brut. Les stocks d'enregistrement sur papier augmentent d'année en année et cela est inquiétant car une partie de cette information risque de se dégrader ou même de s'égarer.

Ceci justifie le besoin urgent de dépouiller et de traiter les données pluviographiques.

Les résultats de cette étude auront de multiples fins:

- ❖ D'abord la réalisation des œuvres hydro-agricoles en milieu rural (digues anti-sel, barrages, etc.) ;
- ❖ La conception et/ou la réalisation des ouvrages d'art, d'assainissement, de franchissement en milieu urbain et/ou périurbain (ponts, routes, ouvrages hydrauliques, stations d'essence..) ;
- ❖ Dans le domaine de l'aéronautique (calcul des intensités des pluies sur le trajet et le point d'atterrissage) ;
- ❖ En agro-climatologie pour la valorisation des ressources animales et végétales et la lutte contre la désertification ;
- ❖ En agronomie pour la conservation des sols et la lutte contre l'érosion ;
- ❖ Enfin pour s'inscrire également dans le développement durable.

I. PROBLEMATIQUE :

1. Contexte de l'étude :

La sécheresse des années 1970 en Afrique de l'Ouest a entraîné l'assèchement et le rétrécissement de beaucoup de points d'eaux qui sont devenus des zones d'habitat. Dans le Sahel, cette péjoration du régime pluviométrique a entraîné un appauvrissement des terres et une carence de la biomasse végétale. C'est ce qui a incité les ruraux à migrer massivement dans les centres urbains. Cette arrivée des néo-citadins dans les villes s'est traduite surtout dans les périphéries (où l'assainissement est inadéquat ou quasi-inexistant) par une occupation des zones basses, des « champs d'inondation » (Georges P, 1970), une urbanisation accélérée et également une explosion démographique.

En outre cette baisse de la pluviométrie a des conséquences sur les régimes des cours d'eau et donc sur la disponibilité des ressources en eau. Les saisons des pluies sont généralement plus courtes, soit parce qu'elles commencent plus tard, soit parce qu'elles finissent plus tôt (Servat E & al, 1999). De même les quantités d'eau précipitées en hivernage sont réduites ainsi que le nombre de jour de pluie alors que le régime des bassins tropicaux est essentiellement pluviométrique. Cette situation débouche ainsi sur une fluctuation des isohyètes liée également aux changements climatiques.

Par contre les événements de la décennie 1990 marquent le signe d'un retour progressif à des conditions pluviométriques favorables (Bodian A, 2014). Ainsi, ce retour des précipitations (surtout les pluies diluviennes) devient une menace pour certaines villes qui risquent d'être envahies par les eaux pluviales. Ainsi, le 1^{er} Septembre 2009, des précipitations exceptionnelles sont observées sur la ville d'Ouagadougou (plus de 250 mm en quelques heures), qui auraient un temps de retour de 10000 ans (Karambiri H, 2009).

De ce fait, la fragilisation des couverts végétaux, l'augmentation des coefficients de ruissellement, l'imperméabilisation des zones d'infiltration (du fait de la forte occupation du sol) entraînent un ruissellement prononcé favorisant les inondations dans les villes africaines. Ceci incite sans doute Panthou G, 2013 à affirmer qu' « en Afrique de l'Ouest, la diminution brutale de la pluviométrie depuis les années 1970 s'est produite en concomitance avec une augmentation des dommages liés aux inondations ».

Par ailleurs, cette situation pousse la communauté scientifique et décisionnelle à réfléchir via des ateliers, des colloques, des études et des séminaires sur les causes, les

manifestations, les stratégies d'adaptation (pompages, remblaiement...) et les impacts des inondations dont les eaux pluviales et usées demeurent les principales sources. A titre d'exemple on peut noter le colloque d'ADEPT qui s'est tenu les 11 et 12 juin 2010 à Dakar sur le thème : « les inondations à Dakar et Banlieue : Mieux comprendre les causes pour des solutions durables ».

Les premières mesures pluviométriques, au Sénégal, remontent en 1854 à Saint Louis. Ainsi, la pluviométrie est marquée par une forte variabilité interannuelle et une irrégularité dans la distribution spatio-temporelle. Ces variations d'une année à l'autre, de même que le changement des conditions moyennes, sont souvent perçus à travers l'analyse des séries pluviométriques (Basse M, 2015). L'étude de la variabilité des pluies permet de mieux comprendre leurs variations intra-saisonnières mais aussi de mieux cerner ou prévoir les évolutions dans le cycle phénologique.

Ainsi, depuis une décennie, on constate la récurrence et l'aggravation des inondations dans les villes sénégalaises (surtout en 2005, 2009 et 2012). De ce fait, le 26 Août 2012, la région de Dakar voit une grosse partie des bas-fonds de sa moitié nord submergés par de l'eau d'une averse de 161 mm tombée en moins de deux heures, dont 144 mm tombées en 51 minutes (Dacosta H, 2012). Ce n'est pas le record de cumul pluvieux enregistré (mais la deuxième hauteur maximale journalière jamais observée), par contre, l'intensité dépasse tous les extrêmes enregistrés jusque-là (Dacosta H, 2012). Cet épisode pluviométrique avait fait une dizaine de morts et d'énormes dégâts matériels (Fall S.M, 2016). Le facteur primordial de ces catastrophes demeure la pluie. C'est à cet effet que le docteur Honoré DACOSTA (atelier 12,13 Septembre 2012) considère les inondations au Sénégal comme un phénomène d'ordre pluvial et qu'elles sont à l'origine de précipitations locales ou d'apports de ruissellement local que le réseau hydrographique et/ou le réseau de drainage ne parviennent pas à évacuer.

D'ailleurs l'analyse du comportement hydrologique en milieu urbain est surtout centrée sur les événements pluviométriques qualifiés d'extrêmes. L'étude de ces pluies et, par conséquent, l'étude des intensités moyennes maximales s'apparentent à l'étude des crues d'averses. En effet les grandes crues ont surtout pour origine des averses exceptionnelles par leur intensité, leur extension, leur durée et leur succession rapprochée.

Par contre, du point de vue historique, il apparaît clairement que les pluies diluviennes ne sont pas du tout extrêmes car elles étaient déjà enregistrées dans le passé.

Le traitement des données pluviographiques a été initié au Sénégal par Brunet-Moret Y qui a fait un dépouillement manuel de plusieurs averses en 1963.

Comme la majeure partie des villes sénégalaises, Diourbel est également confrontée aux problèmes d'évacuation des eaux pluviales et donc aux inondations. Sur les 27 sites inondables, ceux de Roukhou Bou Sew, de Thierno Kandji et Marché Ndoumbé Diop sont les plus touchés. Ces quartiers correspondent à la zone dépressionnaire de la ville.

C'est dans ce contexte marqué par une évolution rapide de la ville où la gestion des eaux pluviales se présente comme une équation fondamentale que nous avons décidé d'étudier la pluie à l'échelle fine à Diourbel.

2. Justification :

Les observations pluviométriques à Diourbel remontent en 1919. Avec une altitude de 7 mètres, la station synoptique de Diourbel est située à la latitude 14°39' Nord et à la longitude 16°14' Ouest. Plusieurs facteurs peuvent ainsi expliquer les raisons de cette étude.

Avec une superficie de 1469 km², Diourbel est une région continentale par excellence (appartenant au domaine climatique soudano-sahélien avec des précipitations comprises entre 500 et 1000 mm) dont le centre urbain dépressionnaire est menacé par la recrudescence des inondations.

De même à partir du noyau primitif constitué par le quartier Escale, la ville a subi un développement spatial multidirectionnel et anarchique lié surtout à l'exode rural et à l'attractivité de la ville de Touba. La diminution des précipitations de 1970 a engendré la migration des ruraux du bassin arachidier vers la ville de Diourbel. Ces migrants s'étaient installés dans des zones non aedificandi. Cette occupation de l'espace qui transgresse les normes élémentaires de l'urbanisme et augmente la vulnérabilité des populations face au risque d'inondation est aggravée par l'inadéquation des réseaux d'assainissement en eaux pluviales généralement sous-dimensionnés, faute de paramètres d'entrée fiables d'évaluation des écoulements de surface. Ainsi le retour à une normale pluviométrique vers 1990 a entraîné rapidement une saturation du sol et des inondations avec la recharge des nappes : faute d'absence de réseaux d'évacuation adéquats des eaux pluviales. Ceci est à l'origine d'une inondation par accumulation d'eau ruisselée.

De ce fait, étant au cœur du bassin arachidier, Diourbel est la seule région du Sénégal ayant un solde migratoire positif (94724 migrants internes, (ANSD, 2013)) à l'exception de Dakar (573907 migrants internes).

On constate également une augmentation des épisodes de fort cumul pluviométrique sans retour à une pluviométrie « normale » ou du moins comparable à celle des décennies « humides » (1950-1970) (Decroix L & al, 2013). Cette situation s'est accompagnée d'une hausse de l'intensité des précipitations qui peut bel et bien expliquer la fréquence des inondations. D'ailleurs, une pluie de 136 mm a été enregistrée à la station de Diourbel le 04 Septembre 2007 (Fall S.M, 2016). Cependant, l'étude des précipitations doit cesser d'être uniquement quantitative (quantité d'eau précipitée) mais il faut davantage se focaliser sur l'aspect qualitatif des pluies (intensité, rythme...).

Ainsi, les premières pluies sous forme d'averse conduisent à une ablation des sols nus et provoquent ainsi l'effet splash. En outre l'énergie cinétique des gouttes de pluies contribue à l'arrachement des matériaux du sol. Dans certaines parties de la région de Diourbel, la nature des sols fait que sa teneur en eau diminue sa capacité de résistance face au ruissellement et à l'érosion. Alors que l'érosion pluviale est liée à l'action directe ou indirecte des eaux de pluies sur le sol et a une influence péjorative sur la rentabilité des terres agricoles.

De même le réseau d'évacuation des eaux pluviales et usées est insuffisant avec des caniveaux à pente négligeable. On y trouve sable et graviers en plus des ordures de toute nature. Les eaux de pluie se concentrent alors dans les espaces fortement inclinés où elles dévalent brutalement, faisant sortir la rivière de son lit majeur et ravinant très profondément certaines formations argilo-sableuses superficielles.

D'ailleurs les ouvrages d'assainissement sont sous-dimensionnés vis-à-vis de l'apport d'eaux pluviales qui pourrait avoir lieu lors d'une pluie décennale, sachant que les tranches I et II exécutées dans le cadre du PDA ont une période de retour quinquennale (Guèye M, 2014).

En plus, les pluviogrammes de la station de Diourbel sont stockés à l'ANACIM à l'état brut, ce qui risque de provoquer une dégradation ou même une perte des informations pluviographiques qui sont devenues un enjeu crucial aussi bien pour les chercheurs que pour les décideurs. De même, cette station a été dépouillée par le docteur Honoré DACOSTA pour la période 1967-2005 mais n'a jamais fait l'objet d'un mémoire de master encore moins d'une thèse de doctorat. Néanmoins les inondations et la gestion des eaux pluviales ont été traitées respectivement par Guèye M (2014) et Fall S.M (2016) sur la ville de Diourbel. Cependant, une

actualisation de la base de données pluviographiques de la station synoptique de Diourbel s'avère nécessaire vu la variabilité du régime pluviométrique au Sénégal.

Ainsi, la commune de Diourbel revêt la forme d'une cuvette avec le centre comme zone basse correspondant à la vallée du Sine (Fall S.M, 2016). Or le ruissellement est fonction de la pluviométrie et de la pente ainsi que du niveau de saturabilité du sol.

Cependant le phénomène des inondations à Diourbel est lié :

- ✓ Au colmatage et au non curage des ouvrages d'assainissement ;
- ✓ A la prolifération de dépotoirs sauvages ;
- ✓ A une urbanisation galopante sans structuration du plan d'assainissement ;
- ✓ A la pression démographique et son incidence sur l'utilisation des ressources naturelles;
- ✓ Et surtout au sous-dimensionnement des ouvrages d'assainissement.

Ce dernier facteur constitue le maillon le plus important des problèmes liés à la gestion des eaux pluviales. Dès lors, il s'avère donc nécessaire de mettre à la disposition des instances décisionnelles et des chercheurs des paramètres hydrologiques et hydrauliques fiables pour un aménagement adéquat des centres urbains et de la ville de Diourbel particulièrement. Cette étude permettra de mieux maîtriser et prévoir « les processus de genèse du ruissellement et des crues » (Mendy A, 2010) et d'atténuer les aléas pluviaux.

Ainsi, comme l'affirme Panthou G, 2013, il est nécessaire de « remobiliser la communauté scientifique autour des problématiques des précipitations intenses et des crues associées afin de mieux appréhender le risque inondation et proposer des mesures d'atténuation ».

3. Etat de la question de recherche :

Les précipitations ont fait l'objet de nombreuses études. Mais elles sont essentiellement axées sur les aspects quantitatifs (Sylla A, 2004). Etant une branche de l'analyse des précipitations, l'étude de la pluviographie consiste principalement à déterminer les caractéristiques des averses (durée, fréquence, formes des hyétogrammes, indice d'érosivité).

En Afrique de l'Ouest, nos connaissances sur les études pluviographiques sont sous documentées à l'heure actuelle dans les sciences du climat et de l'hydrologie opérationnelle pour trois raisons :

- La prédominance des études sur les extrêmes secs au détriment des extrêmes humides ;

- La prédominance des préoccupations relatives à la variabilité pluviométrique et à la disponibilité des ressources en eau ;
- La difficulté de disposer et aussi de dépouiller des données pluviographiques sur des périodes suffisamment longues.

Au Sénégal, depuis longtemps les objectifs de recherches en pluviométrie sont d'ordre annuel, mensuel et journalier. L'étude de la pluie à ces échelles renseigne sur la variabilité pluviométrique et la disponibilité en eau mais reste inadaptée à l'hydrologie urbaine. Ainsi, il manquait une étude pluviométrique à l'échelle fine. Donc il fallait « sauvegarder et mettre sous format numérique une base de données pluviographiques opérationnelles à l'échelle du pays » (Bodian A & al, 2016).

Par ailleurs, l'hydrologie urbaine a connu un regain d'intérêt et a sensiblement progressé au Sénégal depuis 2002/2003. Les études hydrologiques en milieu urbain sénégalais sont très récentes et incomplètes. D'après Diop S.J, 2010, les premières études dans ce domaine étaient **sélectives**, car portant sur une gamme d'averses supérieures ou égales à 40 mm (Brunet-Moret Y, 1963) et ont porté sur des **périodes très courtes** (Diallo I.S, 1993) pour pouvoir servir de références fiables.

A l'UCAD, les premiers travaux en hydrologie urbaine ont été réalisés par Kane A (1995) qui a statistiquement analysé les pluies de Dakar. De même, Bassel M. (1996) a réalisé une étude hydro-pluviométrique sur le bassin de Mermoz-Fan Résidence à Dakar.

C'est sur cette même dynamique qu'un programme de dépouillement des pluviogrammes de toutes les stations synoptiques du Sénégal a été entrepris dans le cadre de la coopération entre l'ANACIM et le département de Géographie de l'UCAD depuis 2002/2003. Diouf R.N a initié les travaux en 2003 avec le recensement de 524 averses lors du dépouillement des données de la station de Dakar pour la période 1958-2002 (45 ans).

D'ailleurs ce travail de Diouf R.N dans le cadre de son mémoire a été succédé par d'autres travaux académiques relatifs à la pluviographie: Sylla A. (2004) pour la station de Thiès; Niang M. (2004) pour Ziguinchor ; N'diaye D. (2004) pour Tambacounda ; Diop K. (2005) pour la station de Kédougou; Bodian A. (2005) pour Matam ; Diagne A (2006) pour la station de Kaolack; Faye M.P.S (2006) pour la station de Linguère et DIOP S.J (2010) pour Kolda. De ce fait, à l'UCAD, la dernière étude académique en hydrologie urbaine a aussi été réalisée par Diouf R.N (2011) dans le cadre de sa thèse intitulée: « Etude hydro-pluviométrique des bassins versants urbains de la presqu'île du Cap-Vert ».

Parmi les ouvrages que nous avons consultés, nous ferons une brève analyse de ceux qui ont le plus attiré notre attention et facilité notre compréhension du sujet.

- ❖ **Brunet-Moret Y**, 1963, a analysé les relevés pluviométriques et pluviographiques de 82 stations. Avec un dépouillement manuel, il a déterminé les hauteurs de précipitations journalières de fréquences rares et établi des courbes intensité-durée pour diverses récurrences sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest et du Tchad.

Cependant cette étude porte uniquement sur des averses supérieures ou égales à 40 mm. C'est ce qui remet en cause la validité des intensités calculées (risque d'omission d'intensités plus fortes) car celles-ci ne sont pas toujours proportionnelles à la hauteur de la pluie. En plus l'intensité 40 mm n'est pas utilisable pour l'appréciation de l'agressivité des pluies par l'indice de Wischmeier.

- ❖ **Mussy A**, 1998, étudie en détail la pluie de projet, les processus hydrologiques et la modélisation hydrologique. Son ouvrage nous a permis de mieux comprendre les caractéristiques d'une averse ainsi que la notion d'averse historique.

- ❖ **Ndoye I.D** (1998), dans son mémoire d'ingénieur d'EITARC, met en exergue l'interdépendance des principales caractéristiques des averses. Sur les sept postes pluviométriques dépouillés, il compare ainsi les relations des averses et leurs distributions fréquentielles. Ndoye I.D propose ainsi la régionalisation de l'intensité 30 minutes qui est utilisée pour la détermination de l'indice d'érosivité de Wischmeier.

- ❖ Dans le **Journal des Sciences Hydrologiques** n°51 du 02 Avril 2006, **Mohymont B & Demarée G.R** étudient les courbes intensité-durée-fréquence des précipitations à la station de Yangabi au Congo. Les auteurs ont testé 5 modèles de types Montana pour un temps de retour compris entre 15 minutes et 24 heures. Ils prônent l'utilisation du modèle 2 de Montana qui intègre quatre paramètres dont chacun a une dimension physique.

Cependant cet article présente des limites car les formules de type Montana tendent à disparaître au profit d'autres méthodes plus concrètes (ayant plus de bases physiques).

- ❖ **Bassel M** (1996), dans la deuxième partie de sa thèse (chapitre 1), traite en partie la pluviographie à Dakar. Après dépouillement des pluviogrammes avec le logiciel *Pluvio*, il

explique la procédure utilisée pour tracer les hyétogrammes et les courbes HDF (Hauteur-Durée-Fréquence) et IDF (Intensité- Durée- Fréquence).

- ❖ **Laaroubi H** (2007) fait une étude hydrologique des bassins versants urbains de Rufisque. Son travail porte sur deux campagnes hydrologiques (1999-2000 et 2000-2001). Elle cartographie et décrit les trois bassins versants de l'étude (Diokoul, Thiokho, Keury Souf). Après avoir modélisé, Laaroubi H a également simulé les plus fortes crues avec le modèle d'infiltration de Horton.

- ❖ **Diouf R.N**, 2011, a délimité 27 bassins versants urbains dans la presqu'île du Cap-Vert. Ensuite il calcule leurs caractéristiques avant de faire une simulation pluies-débits. Diouf R.N a aussi fait une analyse spatio-temporelle des pluies (aux échelles annuelle, mensuelle, journalière et infra-horaire) à travers l'analyse de la forme des averses et la détermination de courbes IDF.

Les limites de cette thèse se situent au niveau de l'insuffisance des données pluviographiques. Sur les 12 stations dépouillées, seule celle de Dakar Yoff fournit des données pluviographiques. Néanmoins cette thèse reste d'une importance capitale et donne une nouvelle facette aux études hydrologiques en milieu urbain.

- ❖ **Sylla A** (2004), dans la première partie de son mémoire, s'intéresse aux facteurs climatiques générateurs de conditions favorables aux précipitations par l'étude des mécanismes qui les régissent et à travers la circulation atmosphérique générale. Il a aussi fait une caractérisation du climat à travers les éléments de réponse climatiques (température, pluviométrie, vents, etc.).

Dans la deuxième partie, l'étude de la pluviographie est faite par le biais des données pluviographiques de base et de la chaîne de traitement informatique. Sylla A. a également fait une analyse ponctuelle des pluies et une application à l'hydrologie (l'évaluation du pouvoir érosif du sol). Sur les 441 événements pluvieux traités, 240 soit 56,26% ont une intensité comprise entre 0 et 30mm/h en moyenne. Les intensités maximales oscillent entre 38,8 mm/h (1986) et 167,3 mm/h (1964). En plus la seconde moitié du jour (12h-23h) concentre 60% des pluies.

- ❖ **Bodian A**, 2005, présente le bilan hydrologique et la pluviogenèse à Matam puis caractérise les pluies tout en mesurant leur agressivité. 469 pluies ont été dépouillées dont 66,7% sont comprises entre 0 et 15 mm en moyenne.
- ❖ **Diagne A** (2006) a dépouillé 950 averses sur une série de 41 ans (1962 à 2002). Elle a étudié les hauteurs et les intensités maximales ainsi que la forme des averses à travers des hyétogrammes. Diagne A. a également construit des courbes IDF et HDF et évalué le pouvoir érosif du sol.
- ❖ **Diop S.J**, 2010, a identifié 1332 averses dont 2 pluies hors saison. Mais il n'a travaillé que sur les 1330 averses enregistrées entre Mai et Novembre car correspondant, au sens large, à la saison pluvieuse au Sénégal. Il fait une analyse statistique des averses et présente leurs formes. Diop I.S détermine ainsi les valeurs récurrentielles des événements pluvieux par l'ajustement des intensités maximales des averses, et, à travers les courbes IDF et HDF avant de mesurer l'incidence des pluies sur le sol.

4. Cadre opératoire :

Objectif général:

Analyser la pluviographie en insistant sur les variations des intensités.

Objectifs spécifiques:

- Constituer une banque de données pluviographiques opérationnelles qui serviront de base dans la conception et/ou la réalisation d'ouvrages hydro-agricoles et hydrauliques et la définition de plans d'assainissement adéquats.
- Etablir une analyse ponctuelle des pluies et construire des courbes hauteur-durée et intensité-durée pour diverses récurrences.
- Déterminer l'indice d'érosivité de Whismier afin d'apprécier l'agressivité des pluies.

Hypothèses:

- Le dépouillement et le traitement des pluviogrammes peuvent aboutir à la mise en œuvre d'une banque de données pluviographiques opérationnelles.

- L'intensité diminue avec la durée d'agrégation et augmente en fonction de la récurrence. La hauteur croît au fur et à mesure que le pas de temps et la récurrence augmentent.
- L'érosivité du sol est fonction du rapport entre l'agressivité climatique (intensité, vitesse du ruissellement, taille et énergie des gouttes de pluie) et les caractères passifs du milieu (résistance du sol, pente, couvert végétal...).

5. Définition des concepts :

Averse : C'est un épisode pluvieux subite et abondant pouvant durer quelques minutes à quelques heures et avoir lieu plusieurs fois au cours d'une journée. La distinction entre deux averses est liée à une pluie insignifiante (non contribution au prochain débit) ou à un arrêt absolu de la pluie.

Courbe IDF : C'est une synthèse des caractéristiques d'une averse permettant de déterminer la probabilité d'occurrence d'une pluie synthétique (pluie de projet). Elle donne la fréquence de l'intensité maximale moyenne d'un épisode pluviométrique et est prise en compte lors d'une modélisation hydrologique pour le calcul d'une crue de projet.

Fréquence : la fréquence F de l'averse d'étude est le rapport entre le nombre de fois que l'on a enregistré cette averse sur le nombre d'année de la période d'observation (Bassel M, 1996).

Hydrologie urbaine : C'est un démembrement de l'hydrologie qui étudie les écoulements des eaux pluviales et usées en milieu urbain et analyse leurs relations avec l'aménagement urbain.

Hyétogramme : C'est un graphique en échelons qui représente la variation de l'intensité moyenne de la pluie i en fonction du temps t et se caractérise principalement par le pas de temps et la forme. Il est utilisé dans les interprétations hydropluviométriques sur un bassin versant.

Intensité : l'intensité moyenne d'une pluie est la hauteur d'eau précipitée en unité de temps et dépend de la hauteur, de la force et de l'énergie de la pluie observée. Suivant les conditions météorologiques, sa variation au cours d'un même épisode pluviométrique détermine la forme des hyétogrammes. L'intensité moyenne d'une pluie s'exprime par le rapport entre la hauteur h de la pluie observée et la durée t de la pluie.

Pluviographe : C'est un pluviomètre enregistreur muni d'un dispositif particulier (ici les augets) qui reçoit la précipitation avant qu'elle ne s'écoule afin de permettre l'enregistrement

automatique de la hauteur instantanée de précipitation. Il est composé essentiellement de trois éléments : la bague réceptrice, l'enregistreur et le système d'horloge.

Période de retour : la période de retour d'une pluie est la durée nécessaire pour observer un événement pluviométrique pareil à elle tant sur la quantité d'eau précipitée, sur l'intensité et sur la durée. Le temps de retour signifie qu'un événement x se produit une fois en moyenne toutes les $t(x)$ années (Mussy A, 2003).

Station synoptique : C'est une station équipée des instruments de mesure de l'ensemble des paramètres climatiques: insolation, vitesse et direction du vent, température, évaporation, évapotranspiration, pluviographie, humidité de l'air.

II. METHODOLOGIE :

Notre méthodologie s'articule autour de trois points:

- ❖ L'observation de terrain
- ❖ La recherche documentaire
- ❖ Le travail de terrain

1. Observation de terrain :

Au mois d'Avril 2018 nous nous étions rendus à l'ANACIM pour une observation de terrain dans le cadre de la collaboration entre cette structure et le laboratoire d'hydromorphologie du département de Géographie de l'UCAD. Cette visite nous a permis d'avoir une confirmation sur la disponibilité des pluviogrammes de notre station pour la période 2000-2017 au bureau des archives de l'ANACIM. Cette phase de terrain a été facilitée par l'intervention de monsieur Honoré DACOSTA et également par la collaboration des agents de l'ANACIM particulièrement du responsable des archives, monsieur NDIR.

2. Recherche documentaire :

En Afrique de l'Ouest, l'hydrologie urbaine est une branche moderne, donc sous documentée, dont les ouvrages et les spécialistes sont assez rares. Cette faible documentation contraste fortement avec l'importante littérature disponible sur l'hydrologie et la climatologie du pays.

Néanmoins, depuis 2003, on note un nombre relativement important de travaux académiques sur l'hydrologie urbaine. Cette revue documentaire nous a conduits dans les centres de recherches et structures universitaires suivants:

- La **B**ibliothèque **U**niversitaire (**BU**) de Dakar;
- La Bibliothèque du département de Géographie de la FLSH;
- L'**A**gence **N**ationale de l'**A**viation **C**ivile et de la **M**étéorologie (**ANACIM**);
- La Bibliothèque de l'Enda tiers monde;
- Le centre de documentation de l'**I**nstitut de **R**echerche pour le **D**éveloppement (**IRD**);
- Nous avons également consulté certains ouvrages à distance par le biais de l'Internet.

3. Travail de terrain :

La coopération entre le laboratoire d'hydromorphologie du département de géographie et l'ANACIM, depuis 2002/2003, nous a permis de disposer de données pluviographiques. Ainsi nous avons procédé par un classement annuel, mensuel et journalier des pluviogrammes afin de préparer la numérisation et d'apprécier la qualité des données. Cependant, ce classement des pluviogrammes était une étape fastidieuse et harassante.

Par ailleurs cette phase sera suivie par le dépouillement et le traitement des données qui seront réalisés l'année prochaine par le biais de l'informatique :

D'abord la numérisation ou digitalisation se fera à l'aide de deux équipements opérationnels : une table de lecture (table à digitaliser ou lecteur de courbe) et un logiciel de saisie (pluvio). La table de lecture a un repère de points (loupe) qui actionne, déclenche l'enregistrement des coordonnées du dit point par rapport aux axes de la table. Les indications portées sur le diagramme sont saisis à l'aide du clavier numérique de la table.

Ensuite **Pluvio** (développé par Philippe Vauchel en 1992 et édifié par l'ORSTOM) nous permettra de : faire un calage au pas de temps 5 mn, constituer des relevés pluviométriques intégraux (RPI), gérer l'exploitation des données, ressortir l'averse décennale. Ses sous programmes permettront la visualisation des hyétogrammes, la critique et l'analyse des données (**ANALEV**) et la séparation des averses, le calcul des pluies journalières, excédentaires et des hauteurs par averse (**ARES**). Puis les données numérisées seront extraites vers **Hydracess** à partir de **pluvio**.

Hydracess, développé par Philippe Vauchel en 2000 sera utilisé pour constituer des hyétogrammes, sortir les courbes IDF (avec la loi Montana ou celle de Kiefer & Chu), faire l'ajustement des lois statistiques et leur sortie graphique, calculer des indices d'érosivité de Whismier, chercher des averses instantanées et dégager leurs structures. Le logiciel permet d'archiver, d'importer, de visualiser et de traiter les données pluviographiques et aussi pluviométriques en utilisant le gestionnaire de base Access et le tableur Excel.

D'autres logiciels seront aussi utilisés tels que :

- ❖ **Storm 2000** pour sortir les averses de fréquence décennale, centennale; évaluer la récurrence des événements pluvieux observés ; faire une analyse fréquentielle des valeurs extrêmes ; étudier des tendances dans l'intensité des pluies.
- ❖ **EXCEL** pour les calculs statistiques, l'élaboration de tableaux et pour le tracé des hyétogrammes et graphiques.

Une descente sera ainsi faite sur le terrain (à Diourbel) en plein hivernage afin de prendre des photos sur la station, les zones inondables et celles soumises à l'influence de l'érosion hydrique. Cette étape sera exécutée grâce à l'usage d'un appareil photo. Cette visite nous permettra d'avoir un aperçu clair sur la station ainsi que sur la zone d'étude.

III. PLAN MASTER 2 :

Première Partie : Présentation du Milieu Géographique

Chapitre 1 : Le Cadre Physique

Chapitre 2 : L'Assainissement de la Ville de Diourbel

Chapitre 3 : Le Cadre Humain et Urbain

Deuxième Partie : Caractéristiques Générales du Climat

Chapitre 1 : La Circulation Atmosphérique Générale en Afrique de l'Ouest

Chapitre 2 : Les Variables Climatiques

Chapitre 3 : Analyse des Pluies Interannuelles et Mensuelles

Troisième partie : Etude de la Pluviographie

Chapitre 1 : Données Pluviographiques de base et Chaîne de Traitement Informatique

Chapitre 2 : Analyse des Hauteurs, Intensités et Forme des Averses

Chapitre 3 : Etude de l'Agressivité des Pluies

CONCLUSION GENERALE :

A la lumière des idées développées, il en ressort que l'aménagement inadéquat des centres urbains, l'occupation des zones non aedificandi et les fortes intensités de pluie justifient la recrudescence des inondations. Cette dernière est désormais au cœur des débats scientifiques et reste une préoccupation de plus en plus importante chez les chercheurs et décideurs.

La pluviographie se présente ainsi comme étant la discipline la plus apte pour gérer les risques et comprendre les causes, manifestations et impacts des inondations.

Au Sénégal malgré l'insuffisance des données pluviographiques on note un nombre relativement important d'études portant sur l'hydrologie urbaine. De 2003 à 2010 beaucoup de stations ont ainsi été dépouillées sur l'étendue du territoire national.

Cette analyse de la pluviographie à la station synoptique de Diourbel repose principalement sur le dépouillement des enregistrements pluviographiques. Elle nous permettra de connaître la structure des pluies et également de mettre l'accent sur l'agressivité de celles-ci. En outre, cette étude sera très utile pour les acteurs de l'aménagement de la région de Diourbel. Elle mettra à leur disposition des paramètres d'entrée fiables pour un dimensionnement sécuritaire des ouvrages afin de protéger les biens et sauvegarder l'environnement.

Cette étude permettra également d'apprécier l'impact des précipitations sur le sol à partir de l'USLE de Walter H. Wischmeier. Pour ce faire, il sera question de faire un rapport entre l'intensité des averses et la résistance du milieu.

Pour répondre à nos objectifs de recherche nous avons opté pour une méthodologie articulée sur trois points : l'observation de terrain ; la revue documentaire ; le travail de terrain.

Cependant, au Sénégal seules les capitales régionales sont dotées de pluviographes. Ainsi nous proposons l'installation de pluviographes au moins dans tous les départements du pays. En plus l'avènement des pluviographes mécaniques doit également voir jour au Sénégal afin d'éviter le travail fastidieux de classement des pluviogrammes et les erreurs commises par les observateurs.

En outre il s'avère également nécessaire de mettre en place un véritable système d'information pluviographique (SIP) afin de pallier aux déficiences des données pluviographiques au Sénégal.

Bibliographie :

- ANSD. (2013). RGPHAE (Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage). Sénégal, 418 p.
- BASSE, M. (2015). Variabilité pluviométrique de 1961 à 2014 à Bambey et son impact sur les inondations. Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD.
- BASSEL, M. (1996). Eaux et Environnement à Dakar: «Pluies, Ruissellement, Pollution et Evacuation des eaux» Contribution à l'étude des problèmes d'environnement liés aux eaux dans la région de Dakar. Thèse de doctorat de 3ème cycle: département de Géographie, FLSH, UCAD, 244 p.
- BODIAN, A., DACOSTA, H., MENDY, A., NDIAYE, O., DIOUF, R. N. (2016). Contribution à la connaissance de l'aléa pluvial au Sénégal grâce à la valorisation des données pluviographiques historiques. Laboratoire LEID (UGB) et département de Géographie (FLSH/UCAD), 9 p.
- BODIAN, A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest).
- BODIAN, A. (2005). Analyse de la structure des pluies à la station synoptique de Matam (1962-2011). Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD, 79 p.
- DACOSTA, H. (2012). Les caractéristiques de la pluie du 26 Août 2012 à Dakar. Note technique UCAD-DMW.
- DECROIX, L., DIONGUE, A. N., DACOSTA, H., DIEDHIOU, A., PANTHOU, G., QUANTIN, G. (2013). Evolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger moyen (Sahel), 13 p.
- DIAGNE, A. (2006). Analyse de la structure des pluies à la station synoptique de Kaolack de 1962 à 2012. Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD, 75 p.
- DIOP, K. (2005). Formes, intensités, indices d'agressivité des pluies à la station synoptique de Kédougou. Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD, 90 p.
- DIOP, S. J. (2010). Analyse de la structure des pluies à la station synoptique de Kolda (1962-1995). Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD.

- DIOUF, R. N. (2011). Etude Hydro-pluviométrique des bassins versants urbains de la presqu'île du Cap-Vert. thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, département de Géographie, FLSH, UCAD, 271 p.
- FALL, S. M. (2016). Les moyens de rétention et d'évacuation des eaux de pluies dans la commune de Diourbel. Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD.
- FAYE, M. P.S. (2006). Analyse des intensité de pluie dans le ferlo sénégalais-station pluviographique de Linguère (1967-2000). Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD.
- GEORGES, P. (1970). Dictionnaire de la Géographie.
- GUEYE, M. (2014). La Configuration du Réseau Hydrographique et les Inondations à Diourbel. Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD.
- KARAMBIRI, H. (2009). Brève analyse fréquentielle de la pluie du 1er septembre 2009 à Ouagadougou (Burkina Faso). 4 p.
- LAAROUBI, H. (2007). Etude Hydrologique des bassins versants urbains de Rufisque. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, département de Géographie, FLSH, UCAD, 306 p.
- MENDY, A. (2010). Ressources en eau des bassins versants de la NEMA et de Medina Djikoye: perceptions, caractérisation de la vulnérabilité et perspectives de gestion durable. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, département de Géographie, FLSH, UCAD, 325 p.
- MOHYMONT.B & DEMARÉE.G.R. (Avril 2006). Courbes Intensité-Durée-Fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. Journal des Sciences Hydrologiques.
- MUSSY, A. (1998). Hydrologie Appliquée. HGA.Bucarest, 368 p.
- MUSSY, A. (2003). Cours d'Hydrologie de surface.
- NDIAYE, D. (2004). Intensité des averses à la station de Tambacounda de 1950 à 1992. Mémoire de maitrise, département de Géographie, FLSH, UCAD.
- NDOYE, I. D. (1998). Etude fréquentielle comparative de quelques caractéristiques des averses en Afrique de l'Ouest. Mémoire de maitrise de l'EITARC, 106 p.

PANTHOU. G. (2013). Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et leurs évolutions au cours des 60 dernières années. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 283 p.

ROCHE, M. (1963). Hydrologie de Surface. 430 pages. Paris: Gauthier-Villars.

SERVAT E, PATUREL J.E, MASSON J.M, TRAVAGILO M, MARIEU B. (1999). De différents aspects de la variabilité pluviométrique en Afrique de l'Ouest et centrale non Sahélienne. Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement.

SYLLA, A. (2004). Analyse de la structure des pluies à la station pluviographique de Thiès (1957-1999). Mémoire de maîtrise, département de Géographie, FLSH,UCAD, 121 p.

ABDOULAYE MBAYE