

**UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR**

\*\*\*\*\*



**FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES**

**DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE**

\*\*\*\*\*

**MEMOIRE DE MASTER II**

**Master II : Ressources, Environnements 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 2018-2019**

## **LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES**

**ADEPT** : Amicale des Diplômés de l'Ecole Polytechnique de Thiès

**ANACIM** : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

**ANSD** : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

**BU** : Bibliothèque Universitaire

**BPIT** : Basses Pressions Intertropicales

**CAG** : Circulation Atmosphérique Générale

**EITARC** : Etude Agronomique des Régions Chaudes

**EMI** : Equateur Météorologique Incliné

**EMV** : Equateur Météorologique Verticale

**FLSH** : Faculté des Lettres et Sciences Humaines

**FASTEF** : Faculté des Sciences et Techniques de l'Education et de la Formation

**HDF** : Hauteur Durée Fréquence

**HPT** : Hautes Pressions Tropicales

**IAGU** : Institut Africain de Gestion Urbaine

**IDF** : Intensité Durée Fréquence

**IRD** : Institut de Recherche pour le Développement

**ODD** : Objectif de Développement Durable

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**ORSEC** : Organisation des Secours

**ORSTOM** : Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer

**PDGI** : Programme De Gestion des Inondations

**PROGEP** : Projet de Gestion des Eaux Pluviales et d'adaptation au changement climatique

**PDA : Programme Directeur d'Aménagement**

**UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar**

**USLE : Equation Universelle des Pertes en Sol (Universal Soil Losses Equation)**

**RGPHAE : Recensement General de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage**

**RPI : Relevés Pluviométriques Intégraux**

**SIP : Système d'Information Pluviographique**

**SESRD : Situation Economique et Sociale de la Région de Diourbel**

# 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<sup>ème</sup> 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.) ;
- ❖ En génie civil et en architecture notamment pour 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, chemins de fer..) ;
- ❖ En application hydrologique notamment pour la corrélation pluies-débits en l'absence de données hydrométriques ;
- ❖ 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

## I.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 redressement pluviométrique suscite une révélation des déficiences de l'aménagement urbain de nos villes et est devenu une menace (surtout avec les pluies diluviennes) pour certaines villes qui risquent d'être envahies par les eaux pluviales. Selon l'institut international de l'eau de Stockholm (SIWI), pour la période 1996-2005 environ 80 % des catastrophes naturelles étaient d'origine météorologique ou hydraulique, et les inondations auraient lors de cette décennie affecté en moyenne 66 millions de personnes par an. <http://catastrophesnaturelles.e-monsite.com> Ainsi, le 1<sup>er</sup> Septembre 2009, des précipitations exceptionnelles sont observées sur la ville d'Ouagadougou (plus 300 mm en moins de 12 heures), qui auraient un temps de retour de 10000 ans (Karambiri H, 2009). Lors de son discours du 02 Septembre 2009, Pascaline TAMINI (ministre burkinabé de l'action sociale et de la solidarité nationale) affirme que :

*« L'intempérie a entraîné d'importants dégâts matériels occasionnant le relogement le même jour de 110000 sinistrés sur des sites d'accueil d'urgence. Cette catastrophe a causé des pertes en vies humaines, l'effondrement de maisons d'habitation ; de bâtiments publics, la détérioration d'équipements et d'infrastructures routiers, la disparition de biens meubles. En outre cette inondation*

*a entraîné la paralysie des supports économiques et du fonctionnement des administrations publiques et privées ».* <http://www.faso-dev.net>

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 ainsi 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 a poussé 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 ». En outre, de nombreux programmes relatifs à la gestion des eaux pluviales et à la lutte contre les inondations ont été mis en place tels que la cellule nationale de lutte contre les inondations en 2004, le plan « jaxaay »<sup>1</sup> en 2006, le PROGEP<sup>2</sup> en 2010, le PDGI<sup>3</sup> en 2012, le plan ORSEC<sup>4</sup>, etc. Toutefois, le Sénégal n'a pas encore mis en place un véritable programme national ou régional qui se charge de la prévision et de la prédétermination des risques liés aux eaux pluviales. Raison pour laquelle, chaque année le gouvernement est obligé d'appliquer sa méthode archaïque qui consiste à déplacer les sinistrés des bas-fonds vers les zones exondées.

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

---

<sup>1</sup> Le plan « jaxxay » avait pour but d'offrir des logements décents aux sinistrés de la banlieue dakaroise en les délocalisant dans un autre site dénommé Jaxaay (près de Keur Massar) avant l'hivernage 2007.

<sup>2</sup> Le projet de gestion des eaux pluviales et d'adaptation au changement climatique (PROGEP) visant à réduire les inondations par une approche intégrée et durable a été mis en place par l'Etat du Sénégal avec l'appui de la banque mondiale en 2010 pour un coût estimatif de 70 milliards de \$ US.

<sup>3</sup> Le programme décennal de gestion des inondations (PDGI 2012-2022) a été lancé par le gouvernement sénégalais en 2012 pour un coût de 700 milliards.

<sup>4</sup> Le plan national d'organisation des secours (ORSEC) lancé depuis 1993 sous le régime socialiste, a redémarré ses activités sous le régime républicain le 20 Septembre 2019 à Dakar dans le but de réduire voire éradiquer les impacts négatifs des inondations.

comprendre leurs variations intra-saisonnières mais aussi de mieux cerner ou prévoir les évolutions dans le cycle phénologique. Cette variabilité pluviométrique a abouti à une modification de l'aspect saisonnier des écoulements en décalant les périodes d'apparition des maximas et des minimas.

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. Les inondations de 2009 également ont touché plus de 300000 sinistrés, 30000 maisons, 130 écoles et ont coûté environ 42 milliards de FCFA dont 22 milliards de dommages et 20 milliards de pertes ([http://www.iagu.org/resum\\_inond](http://www.iagu.org/resum_inond) ).

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. Néanmoins, ce n'est que récemment que la recherche est parvenue à une meilleure compréhension des processus de genèse des précipitations extrêmes et des crues. Étant des phénomènes météorologiques variables dans le temps et dans l'espace, ces événements climatiques extrêmes sont issus principalement de la non linéarité et la complexité du système climatique ainsi que de la variabilité qui en découle.



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 par les affres des inondations. Pendant la sécheresse de 1970, le tarissement de la vallée du Sine a incité les demandeurs de parcelles à se tourner naturellement vers cette zone (correspondant actuellement aux quartiers Thierno Kandji, Cheikh Anta, Escale) qui apparemment ne présentait pas de risques. Ces quartiers sont sis dans 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.

## **I.2. Justification**

Les raisons de cette étude peuvent ainsi être expliquées par plusieurs facteurs interdépendants.

La pluie, source d'espoir chez l'homme, surtout chez les agriculteurs et les éleveurs, est devenue un cauchemar pour une bonne partie des populations de Diourbel. Avec une superficie de 1469 km<sup>2</sup>, Diourbel est une région continentale par excellence (appartenant au domaine climatique nord-soudanien continental dont les précipitations sont comprises entre 500 et 1000 mm). Sa capitale régionale (commune de Diourbel), avec un centre urbain dépressionnaire, est actuellement menacée 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 et les effets néfastes des politiques d'ajustements structurels (1980) ont engendré la migration des ruraux du bassin arachidier vers la ville de Diourbel. Ces migrants s'étaient installés dans des zones non aedificandi parfois même en osant déguerpir la ripisylve pour en faire de cet espace une demeure. Cette occupation du tissu urbain qui transgresse les normes élémentaires de l'urbanisme (loi 2008-43 du 20 Août 2008 et le décret 2009-1450 du 30 Décembre 2009 portant code 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. Or, l'imperméabilisation d'un bassin versant occasionne une réduction du temps de concentration et une augmentation du débit de pointe. 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). En outre, la ville de Diourbel est assainie en système séparatif (avec quelques tronçons de caniveaux réalisés par endroit et non articulés), ce qui entraîne un problème de cohésion sur l'évacuation des eaux pluviales et usées. Ainsi la gestion urbaine de la ville de Diourbel nécessite la prise en compte de la prévention et de la prévision des risques hydrologiques.

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 donc 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. Or, le lit majeur fait partie intégrante de la rivière. En s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même.

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). Donc, une réévaluation globale des critères de dimensionnement s'impose pour les nouveaux investissements.

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 ; à la régularisation de l'habitat illégal (en dur) ;
- ✓ A une urbanisation galopante sans structuration du plan d'assainissement ;
- ✓ A la libéralisation du marché foncier et des études d'urbanisme ;
- ✓ A l'insuffisance de la sensibilisation, de la concertation et des connaissances locales liées au processus de formation des écoulements ;
- ✓ A l'obstruction des voies de passage naturelles des eaux ;
- ✓ Au piratage des canaux dédiés aux eaux pluviales par les eaux usées ménagères ;
- ✓ 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. De même, pour atteindre les ODD et concrétiser le slogan politique « Sénégal émergent », le gouvernement sénégalais a lancé des projets phares (notamment dans les domaines de l'assainissement et des infrastructures) nécessitant ainsi la connaissance des informations pluviographiques.

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 ».

D'ailleurs, pour une approche systémique de type « génie urbain » à Diourbel, il est nécessaire de corréler les apports des hydrologues, des urbanistes, des écologues, des aménageurs, des sociologues, des juristes, du pouvoir politique et des usagers-contribuables. En outre, bâtir une ville en planifiant son habitat, à moyen et long terme, de manière à minimiser le risque hydrologique devient alors un impératif (Dacosta H & Diouf R.N, .....).

Ceci nous incite à apporter notre contribution sur les études hydrologiques en particulier en milieu urbain diourbelois.

### **I.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.

Des chercheurs de l'IRD (ORSTOM à l'époque) basés à Ouagadougou et Adiopodoumé sont les précurseurs de l'hydrologie urbaine en Afrique sub-saharienne. Parmi eux on peut citer Christophe LE BARBE L (1982), LAFFORGUE (étude hydrologique du bassin versant de

Sikasso en Côte d’Ivoire entre 1972 et 1977), BOUVIER C (analyse et modélisation des écoulements en milieu urbain africain en 1990).

Au Sénégal, depuis longtemps les objectifs de recherche 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. Donc, il ne faut pas hésiter à reconnaître que dans ce domaine nous avons encore beaucoup de progrès à faire.

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 des modèles distribués (découpage du bassin en entités homogènes fines), stochastiques (les paramètres d'entrée ainsi que leur répartition spatio-temporelle sont aléatoires), mathématiques et d'autres méthodes physiques 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 climatique (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.

## **I.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'agréation 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...).



## I.5. Définition des concepts

« Tout discours scientifique doit utiliser des concepts clairs et précis afin de se démarquer de la confusion qui caractérise le sens commun », Durkheim E, 1977. Ainsi pour éviter d'éventuelles confusions nous comptons définir les termes clés que nous allons utiliser tout au long de ce travail de recherche.

**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 précipitations. 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 d'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

### **II.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.

### **II.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:

- L'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) ;
- L'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) ;
- La Bibliothèque Universitaire (BU) de Dakar ;

- La Bibliothèque du département de Géographie de la FLSH ;
- Le Centre de Suivi Ecologique (CSE) ;
- La Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC);
- Le centre de documentation de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD);
- Nous avons également consulté certains ouvrages à distance par le biais de l'Internet.

### **II.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. En outre nous avons préparé les pluviogrammes en y mentionnant les dates de début et de fin de l'averse, sa hauteur et également en déterminant l'axe médian des diagrammes.

Par ailleurs cette phase est suivie par le dépouillement et le traitement des données qui sont réalisés par le biais de l'informatique :

**Cette partie ci-dessus sera rédigée après numérisation et traitement des données**

# **PREMIERE PARTIE :**

## **ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES**

Cette première partie met l'accent sur la présentation de la station et du milieu physique ainsi que sur les mécanismes généraux du climat. Elle nous permet d'avoir une connaissance générale sur l'environnement du département à travers certains éléments tels que le relief, la pédologie, l'hydrographie, la végétation, ... Elle est constituée de trois chapitres. Au premier chapitre nous présenterons la station et le milieu d'étude alors que dans le second chapitre ce sont les mécanismes généraux du climat qui y seront traités. Et le troisième chapitre sera consacré aux éléments du climat.

ABDOULAYE MBAYE

# CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STATION ET DU MILIEU D'ETUDE

Dans ce chapitre, nous allons, d'une part présenter la station synoptique et d'autre part le département de Diourbel. Nous avons choisi l'échelle départementale pour caractériser le milieu d'étude car la région possède une autre station pluviographique en l'occurrence celle de Bambey.

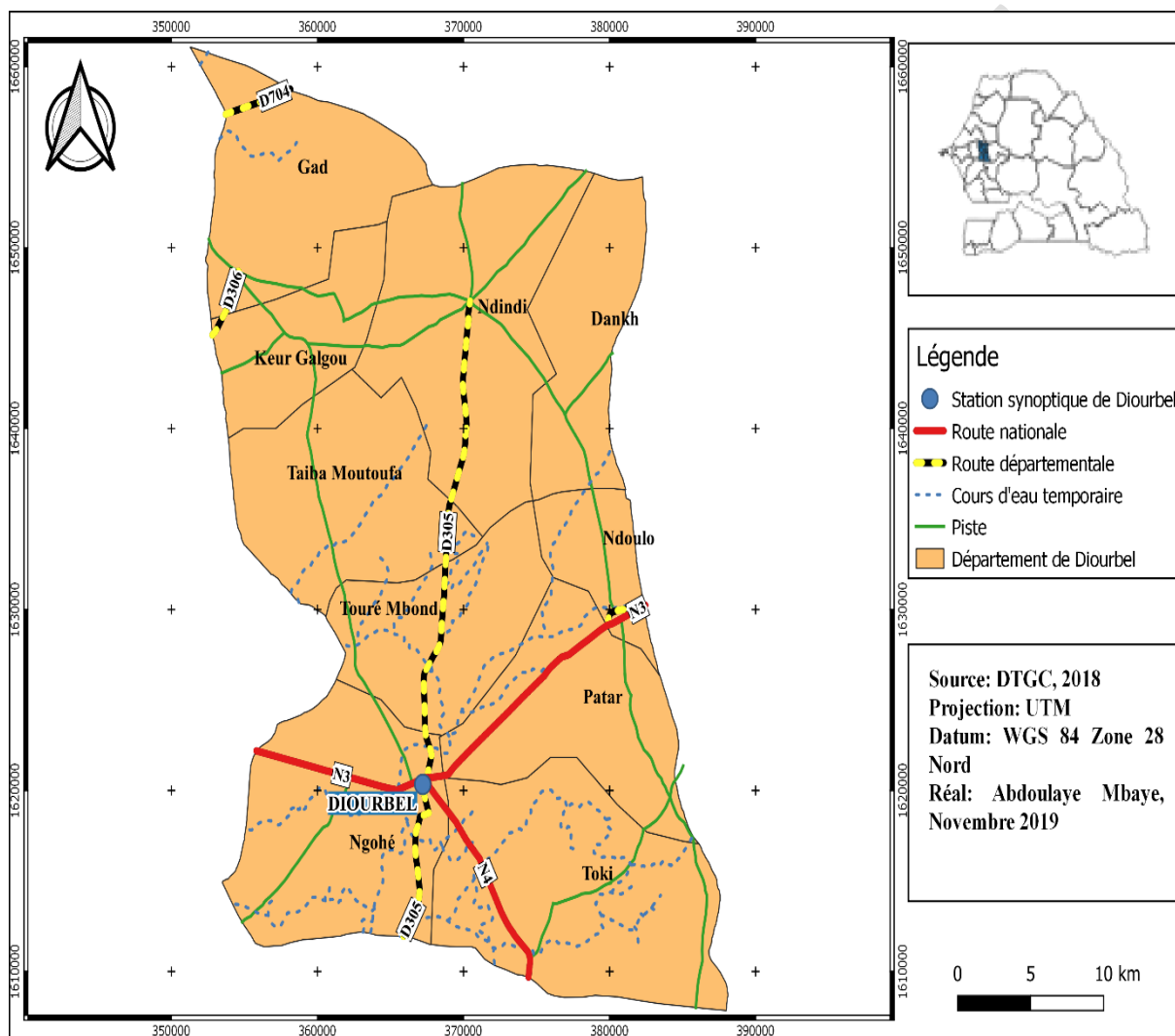


Figure 1 : Situation de la station synoptique et du département de Diourbel

## I. PRESENTATION DE LA STATION SYNOPTIQUE DE DIOURBEL

Tableau 1: Présentation de la station de Diourbel

Type	Latitude	Longitude	Altitude	Code IRD
Synoptique	14°39'N	16°14'O	7 m	1380006400

Située dans la partie méridionale du département, la station synoptique de Diourbel appartient à la zone climatique nord soudanienne et au domaine nord soudanien continental. Elle est installée en plein quartier populaire (Keur Serigne Cheikh), dans un carrefour, à l'intersection des routes nationales (N3 et N4) et de la route départementale 305 (D305).

Du point de vue historique, de 1912 à 1916 la station évoluait comme poste climatologique. Cependant, à cause de la guerre (première guerre mondiale), les observations furent suspendues de 1917 à 1919. En ce qui concerne les mesures pluviométriques, elles remontent en 1919. De ce fait, à partir du 09 Juillet 1946, elle devient station synoptique secondaire en fonctionnant ainsi par intermittence du fait de l'insuffisance du personnel.

Le site de la station a été changé à deux reprises :

1<sup>er</sup> transfert : le 17 Novembre 1946 à l'immeuble Rivière (au pavillon administratif) ;

2<sup>ème</sup> transfert : le 11 Juillet 1951 dans le bâtiment actuel qui se trouve juste en face de la gare plus précisément au quartier Keur Serigne Cheikh.

La distance entre les deux sites est inférieure à 1 km, donc il serait étonnant que ce transfert ait un impact sur les données d'autant plus qu'il n'y a aucune différence du point de vue topographique et pédologique.

## **II. PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE**

Avec un poids démographique de 268215 habitants (dont 133706 dans le périmètre communal), le département de Diourbel a un taux d'urbanisation de 50 %, dépassant ainsi légèrement le niveau national (45 %) et largement celui régional qui tourne autour de 16% (RGPHE, 2013).

Située à l'Est du bassin du Sine-Saloum, Diourbel est un département continental par excellence car ne disposant pas de frange maritime. Son environnement est actuellement dégradé avec surtout la multiplication des dépotoirs sauvages et l'insuffisance des réseaux d'assainissement. Diourbel est une ville insalubre qui ne dispose même pas de dépotoirs conformes aux normes environnementales.

### **II.1. Pédologie et Topographie**

On y rencontre 3 types de sol :

- ❖ Les sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés communément appelés « *diors* » qui ont une faible capacité de rétention en eau ;

- ❖ Les sols bruns hydromorphes ou « *decks* » sont rencontrés dans les dépressions inter dunaires avec les vallées fossiles du Sine et du Car Car. Ce sont des sols hydromorphes lourds, argileux et moins perméables. Au quartier Thierno Kandji de Diourbel, ces sols sont menacés par l'érosion ;
- ❖ Les sols ferrugineux tropicaux rouges ou lithosols (*deck-diors*) supportent la culture du maïs ; du mil, le maraichage et l'arboriculture.

Jadis, ces sols favorisaient la culture de l'arachide et du mil. Par contre aujourd'hui ils sont exposés à l'érosion (hydrique et éolienne) et marqués par une baisse de la productivité.

Le modelé est généralement uniforme avec une topographie relativement plate caractérisée ainsi par plusieurs dépressions (zone centrale du quartier Thierno Kandji ; alentours du marché Ndoumbé Diop, etc). Les dénivellations dépassent rarement 10 à 30 m.

## **II.2. Géologie et Hydrogéologie**

Diourbel se trouve dans le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien d'âge secondaire tertiaire. Son substratum est formé de roches anciennes plissées (primaire antécambrien) ; l'éocène est en affleurement à cheval sur les régions de Thiès, Diourbel et Fatick. Les calcaires et marnes de l'éocène moyen sont le résultat de la sédimentation chimique et biochimique du début du tertiaire.

Le département de Diourbel se trouve sur des formations sédimentaires de la continentale terminale mise en place à la fin du tertiaire. Il est constitué d'une formation essentiellement sablo-argileuse rubéfiée. La géomorphologie se caractérise par des ergs éoliens.

Les eaux souterraines sont localisées dans la nappe du maestrichien captée entre 240 et 349 m et dans l'aquifère intermédiaire de l'éocène et du paléocène avec un toit d'une profondeur moyenne de 80 m. La teneur en fluor de cette eau dépasse la norme OMS (1,5 mg/l).

## **II.3. Hydrographie et Hydraulique**

A Diourbel, l'eau était tellement disponible qu'on parlait de « *seug tankh* » c'est-à-dire qu'on peut se courber pour puiser l'eau. Mais aujourd'hui, on s'aperçoit que cette vocation tend vers l'inverse avec la diminution des ressources en eau et la salinisation des terres agricoles. D'ailleurs, il n'existe aucune source d'eau superficielle pérenne à Diourbel. Cependant en hivernage, on note la présence de cours d'eau temporaires sur la vallée du sine. Le réseau hydrographique Diourbelois est endoréique avec des drainages laborieux liés à la faiblesse des pentes.



Du point de vue hydraulique, le réseau de distribution en eau est long de 290186 m. On dénombre également dans le département de Diourbel 736 bornes fontaines, 29 forages équipés de château d'eau et 732 puits hydrauliques (SESRD, 2018).

Pour prévenir les risques liés aux extrêmes pluviométriques, des bassins de rétention et d'infiltration ont été mis en place depuis 2007.

## II.4. Biogéographie

Les principales espèces ligneuses rencontrées sont : l'*Acacia albida* (*kadd*), le *Balanite aegyptica* (*soump*), le *Tamarindus indica* (*tamarinier*). Les deux premières espèces se présentent sous forme de parcs ou de pieds isolés dans le paysage agraire. Les espèces arbustives sont essentiellement composées de *Guiera senegalensis* (*nguer*) et de *Combrétacées*. Le *typha australis* également est présent dans les bassins de rétention et d'infiltration. La végétation herbacée se caractérise par le *Cenchrus bioflorus* (*xaaxaam*) et l'*Andropogon gayanus* (*xat*). Avec une végétation de type steppique à steppique arborée du fait de la forte occupation agricole de l'espace rural, Diourbel ne dispose pas de zone humide encore moins de forêt classée. En outre, les espaces verts sont quasiment inexistant.

La faune se caractérise par l'existence de petits mammifères comme le chacal commun, les lièvres, les rats palmistes et les oiseaux de savane (les francolins, les tourterelles, la petite outarde et les passereaux).

## **CHAPITRE 2 : LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE GENERALE EN AFRIQUE DE L'OUEST**

En milieu tropical, le climat, par le biais des précipitations, constitue le premier facteur de l'écoulement. Donc, ce dernier, au même titre que les précipitations, est régi par la circulation atmosphérique générale (CAG). La CAG comporte des éléments d'apport et est relative à la climatologie dynamique. Son étude se réalise sur la base des mécanismes de la circulation et également sur la pluviogenèse (les perturbations).

### **I. LES MANIFESTATIONS CLIMATOLOGIQUES EN AFRIQUE OCCIDENTALE**

L'étude des mécanismes de la CAG en Afrique de l'ouest se résume en quatre piliers fondamentaux : les centres d'action ; les flux, les discontinuités et les perturbations.

#### **I.1. Les Centres d'action**

Ils se traduisent par une individualisation des Hautes Pressions Tropicales (HPT) en agglutinations anticycloniques et jouent un rôle primordial dans la circulation des basses couches.

Située dans la région ouest africaine (plus précisément dans le bassin arachidier sénégalais), Diourbel, comme le reste du Sénégal est sous l'influence de trois masses d'air alternantes provenant de trois centres d'action qui relèvent de la CAG.

##### **I.1.1. L'Anticyclone des Açores**

Cette agglutination anticyclonique est une cellule océanique et permanente d'origine dynamique centrée dans l'atlantique nord. L'anticyclone des Açores donne naissance à l'alizé maritime (alizé de type 1) qui « apporte de la fraîcheur aux régions littorales sur une bande qui, cependant ne dépasse jamais 30 km » (Diop S.J 2010).

##### **I.1.2. L'Anticyclone de Sainte-Hélène**

Localisée dans l'atlantique sud, l'agglutination anticyclonique de Sainte Hélène est aussi une cellule océanique permanente de hautes pressions d'origine dynamique. Elle génère un flux dénommé mousson atlantique qui est humide, instable et vecteur potentiel (mais pas suffisant) de précipitations en Afrique occidentale.

### **I.1.3. L'Anticyclone Saharo- Libyenne**

Centrée dans le désert du Sahara (au nord du continent africain) et d'origine thermique, l'anticyclone maghrébienne est une cellule continentale et saisonnière de hautes pressions pourvoyeuse d'alizé continental (harmattan) en hiver boréal. Alors qu'en été boréal, elle migre en altitude et est substituée par une dépression qui attire les flux de l'hémisphère sud.

Les principaux centres d'action donnent naissance à des flux qui intègrent la circulation atmosphérique en zone tropicale.

## **I.2. Les Flux**

La circulation aérologique tropicale s'effectue des HPT vers les Basses Pressions Intertropicales (BPIT) dont l'axe est constitué par l'équateur météorologique.

Au Sénégal on distingue trois flux de genèse et de caractéristiques différentes.

### **I.2.1. Les Alizés**

Aussi connu sous le nom de *trade-winds* ou *easterlies* (Sagna P, 2005), on distingue deux types d'alizés (alizé maritime et alizé continental) en fonction de la vitesse, de l'origine, de la direction, de la trajectoire (substratum traversé), des caractères thermiques et hygrométriques. Un alizé est un flux qui naît et meurt dans le même hémisphère géographique.

#### **I.2.1.1. Alizé maritime (Alm)**

De direction dominante Nord à Nord-Ouest, l'alizé maritime est un flux marqué par une convection de température due à la superposition de masses d'air et exerce son influence sur le littoral. Sa température dépend donc du lieu où elle se trouve et sa vitesse est fonction de la proximité des centres émetteurs et de l'importance des échanges méridiens (Sagna P, 2005). Etant stable, l'Alm n'engendre pas de précipitations car la structure verticale de l'alizé s'oppose au développement de formations nuageuses. Cependant il est frais, humide et apte à provoquer des rosées et brouillards matinaux.

Ainsi, ce flux ne concerne pas directement la région de Diourbel mais exerce son influence sur « toute la côte de l'Afrique septentrionale depuis le sud marocain jusqu'au delta de Dakar en Janvier en englobant l'archipel du Cap- Vert » (Dione O, 1996).

En pénétrant le continent, l'Alm acquiert des caractères proches de ceux de l'harmattan d'où l'appellation d'**alizé maritime continentalisé (Almc)** de direction Nord à Nord/Est et qui souffle

à Diourbel de Mars à Mai. L'Almc est vecteur de beau temps (si sa vitesse est faible) et de brume sèche (si sa vitesse est forte).

#### **I.2.1.2. Alizé Continental (Alc) ou Harmattan**

De direction dominante Est à Nord/Est, l'Alc est un vent chaud, sec et dilaté du fait de son long parcours continental. Il se caractérise par : un écart thermique faible voire nul, une faible subsidence, une inversion élevée, une amplitude diurne très accusée. Il fait chaud le jour et frais ou glacial la nuit (à cause de l'absence de couverture nuageuse). C'est un flux incapable d'engendrer des précipitations, au contraire s'accompagne d'une forte capacité évaporatoire (Leroux M, 1983).

Appelé « *mboyo* » en wolof ou vent de « *dieuri* » (vannage) dans le bassin arachidier, l'harmattan peut engendrer de la poussière, des vents de sable et souffle à Diourbel pendant la saison sèche aux mois de Novembre, Décembre, Janvier et Février.

Cet alizé de type 2, après avoir être dévié par la force de Coriolis (du fait de la différence de pression de part et d'autre de l'équateur), traverse l'équateur géographique, prend une direction Sud-Ouest et devient une mousson.

#### **I.2.2. La mousson**

« C'est un flux qui s'intègre à la circulation d'un autre hémisphère géographique après avoir quitté son hémisphère d'origine » (Dione O, 1996). Elle subit des variations de vitesse et des pulsations connues sous le nom de « rentrée de mousson », « arrivée de mousson » ou « poussée de mousson ». Son épaisseur varie en fonction de la distance à l'équateur (à cause de l'inclinaison de l'équateur météorologique) et n'est pas une condition suffisante pour une bonne pluviométrie. Néanmoins c'est un flux instable et humide qui favorise la formation des perturbations en Afrique de l'ouest. Ainsi, la mousson, flux de direction Ouest à Sud/Ouest, est le principal vecteur de vapeur d'eau utilisée pendant le processus de condensation. De ce fait, selon SAGNA (2019) : « la mousson ne donne pas de précipitations mais plutôt ce sont les nuages à travers les perturbations qui sont à l'origine des précipitations »<sup>5</sup>. Par ailleurs la mousson arrive au Sénégal par le sud/est (Kédougou) vers Avril. Ensuite elle remonte vers le nord (Saint Louis). On parle de phase d'installation qui est lente (c'est pourquoi l'hivernage s'installe lentement au Sénégal).

---

<sup>5</sup> Conférence animé par le professeur Pascal SAGNA sur le thème « Mousson et Précipitations en Afrique de l'Ouest : application au Sénégal », 04/05/2019 à l'amphithéâtre Kocc Barma Fall de la FASTEF(UCAD)

Dès Octobre, elle entame sa phase de retrait qui est rapide (c'est pourquoi la saison sèche s'installe brutalement).

En fonction de la circulation de mousson, on constate que Diourbel appartient à la zone climatique nord soudanienne (particulièrement dans le domaine climatique nord soudanien continental) qui est la deuxième à recevoir et à se débarrasser de la mousson dans le territoire sénégalais.

A Diourbel, on a une prédominance de l'alizé continental (Novembre à Février) et une présence moyenne de la mousson (Juin, Juillet, Août et Septembre).

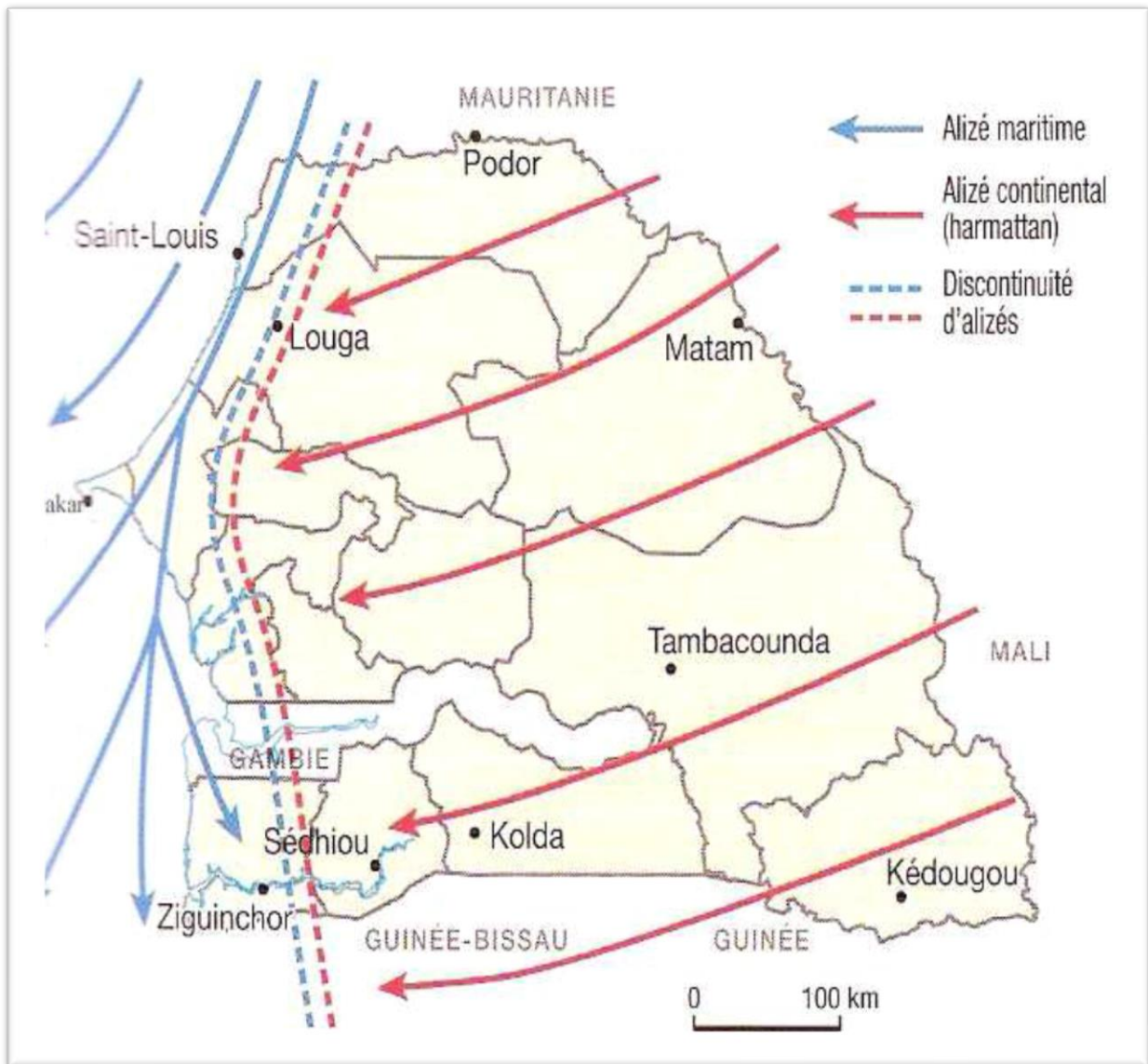
La rencontre des différents flux analysés ci-dessus se traduit par des lignes de discontinuité où se produisent des phénomènes d'ascendance et de subsidence.

### **I.3. Les Discontinuités**

Une discontinuité est une ligne de démarcation entre deux flux d'origine et de caractères différents. C'est une limite donnant à chaque hémisphère une certaine autonomie énergétique (Laaroubi H, 2007).

#### **I.3.1. La Discontinuité d'Alizé**

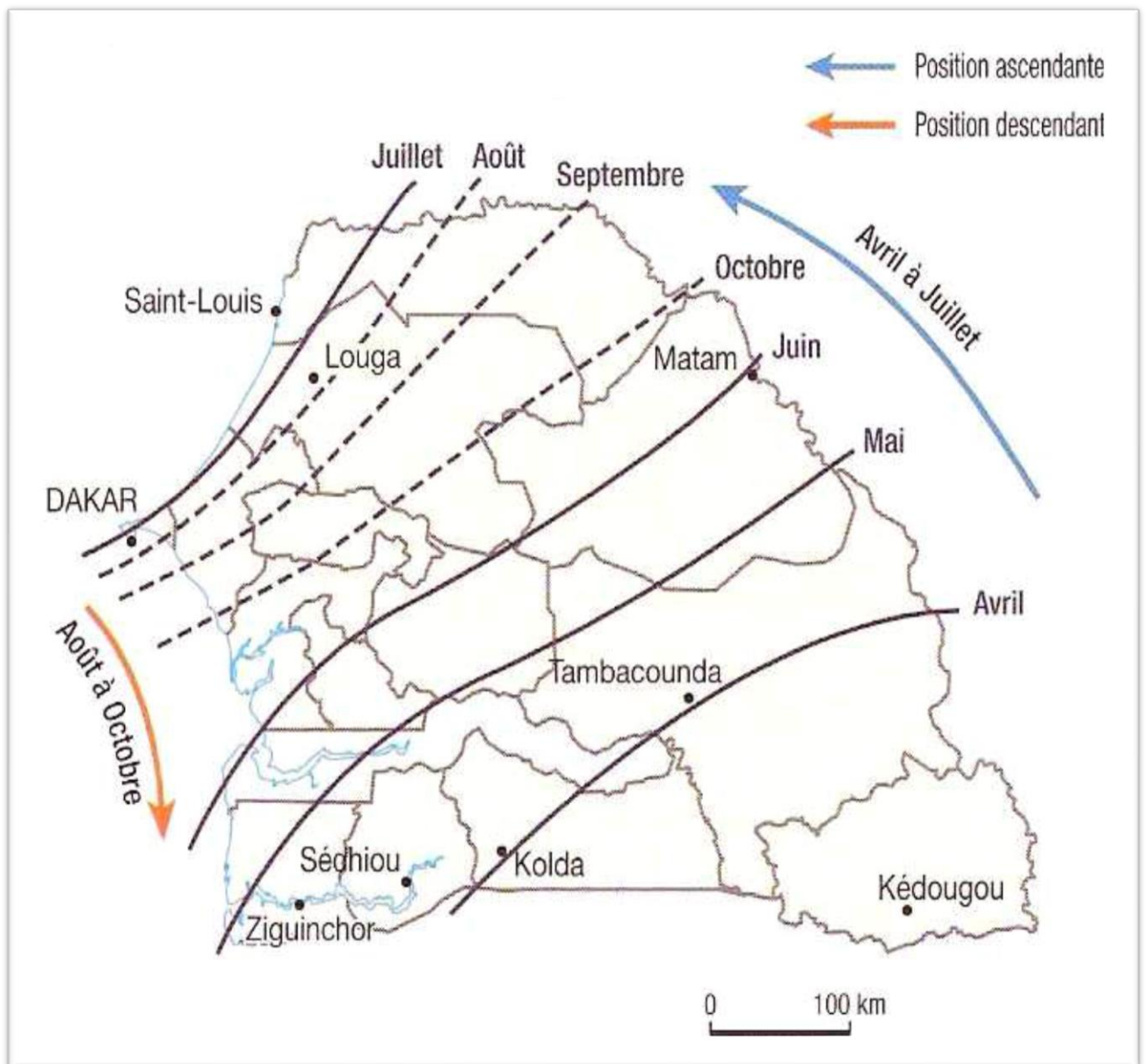
Il s'agit d'une limite entre l'alizé maritime et l'harmattan et qui est prolongée en altitude par l'inversion d'alizé. Les deux flux se superposent. De ce fait, l'harmattan étant plus léger surmonte l'alizé maritime. La discontinuité d'alizé a généralement une orientation méridienne. « Elle disparaît à partir d'Avril pour laisser la place à une autre discontinuité, l'équateur météorologique » (Bodian A, 2011).



**Figure 2 : Circulation des alizés pendant la saison sèche au Sénégal (Sagna P, 2007)**

### **I.3.2. L'Equateur Météorologique (EM)**

C'est une ligne planétaire joignant tous les minimas de la chaîne dépressionnaire qui entoure la terre. Elle sépare des flux issus de deux hémisphères météorologiques différents. Elle est marquée par une migration ascendante (du Sud/Est vers le Nord/Ouest) et descendante (du Nord/Ouest vers le Sud/Est). Cette migration est liée aux conditions météorologiques et au mouvement zénithal du soleil.



**Figure 3: Position moyenne de l'équateur météorologique au Sénégal (Sagna P, 2007)**

On distingue deux structures dynamiques de l'équateur météorologique :

❖ **La structure de l'Equateur Météorologique Incliné (EMI) :**

Encore appelée FIT ou axe des BPIT, elle est marquée par une rareté de la mousson et une importance des lignes de grain. Elle est stérilisante et peu pluvieuse à cause du cisaillement des vents et de la superposition entre l'harmattan et la mousson.

❖ **La structure de l'Equateur Météorologique Verticale (EMV) :**

C'est une zone de fortes formations nuageuses que l'on retrouve dans les couches moyennes. Sur l'océan, l'homogénéité des flux (en température et humidité) lui donne l'appellation de Zone

Intertropicale de Convergence (ZICy convergence des flux sans affrontement (Leroux M, 1980t). Cette structure dépend de la dynamique générale de la circulation et engendre des précipitations non orageuses, abondantes, continues (pluies de mousson), régulières, à fortes intensités, assez longues et qui interviennent à Diourbel au cœur de l'hivernage.

Ses migrations saisonnières dans l'hémisphère nord expliquent les conditions pluviogéniques et l'alternance des saisons pluviométriques en Afrique occidentale. En outre la stratification permet d'identifier les zones pluvieuses du pays.

## **II. LA PLUVIOGENESE**

Les précipitations en Afrique de l'Ouest sont liées à trois conditions principales (Leroux M, 1994) :

- ✓ Le potentiel hygrométrique de la masse d'air (qui est en même temps un potentiel énergétique) ;
- ✓ L'intervention d'un facteur déclenchant l'ascendance ;
- ✓ Une structure favorable à cette ascendance (absence de cisaillement et de subsidence).

Cependant ces trois conditions sont complémentaires, simultanées et sont incapables d'engendrer isolément des précipitations.

La genèse des précipitations n'est pas figée et varie en fonction des flux, des perturbations et des saisons. En Afrique occidentale, elles sont liées aux lignes de grains, à la partie active de l'équateur météorologique et à l'invasion polaire.

### **II.1. En saison pluvieuse**

#### **II.1.1. Les lignes de grain**

Ce sont des phénomènes météorologiques temporaires, mobiles, étendus, issus de la structure de l'EMI et qui se déplacent d'Est en Ouest. Les lignes de grain apparaissent durant la période estivale dans une zone généralement couverte par la mousson et engendrent des précipitations orageuses, aléatoires, de fortes intensités et de courte durée. Elles surviennent le plus souvent en fin d'après-midi et pendant la nuit (Diop I.N, 1998) et 77% d'entre elles naissent entre 12h et 22h00 (Sagna P, 2000 ; Bodian A, 2011). Elles débutent brusquement et s'amortissent plutôt rapidement.

Encore appelées *squall line*, les cyclones de mousson (Sagna P, 1988) sont accompagnés d'une nébulosité totale, de turbulentes rafales de vents, une plage de ciel clair avec des nuages à fort



développement vertical (cumulonimbus). Les rafales soulèvent poussières et sable, notamment en début de saison pluvieuse (Leroux M, 1980). Ainsi, les précipitations issues des lignes de grain représentent 80% des précipitations enregistrées en Afrique sahélienne (Omotsho J.G, 1985 ; Dione O, 1996) et 74,4% de celles enregistrées au Sénégal (Sagna P, 2005).

En été, bloquées par l'alizé maritime le long de la frange littorale, les lignes de grain s'affaiblissent et la partie active de l'équateur météorologique prend le relais.

### **II.2.1. La partie active de l'Equateur Météorologique**

Située dans les couches moyennes, la partie active de l'équateur météorologique est caractérisée par des nuages denses, des pluies abondantes, non orageuses, continues et à faibles intensités. Elle se manifeste au cœur de l'hivernage et est liée à la structure verticale de l'EM.

## **II.2. En saison non pluvieuses**

Les précipitations issues des perturbations pluvieuses hivernales sont inhabituelles, courtes et insignifiantes dans le bilan hydrologique. D'origine extratropicale, elles sont liées à des invasions polaires c'est-à-dire au contact entre l'air froid originaire des moyennes latitudes et l'air chaud et humide provenant de la façade tropicale. Ces phénomènes se passent en altitude (5000- 6000 m) et n'ont aucune relation avec la mousson. Les hydrométéores ou « pluies de mangues » ou « pluies de *heug* » en wolof surviennent en Décembre, Janvier et Février (Seck A, 1962 ; Leroux M, 1970,1980 ; Dione O, 1996). En outre, ils perturbent parfois les écosystèmes (le biotope et la biocénose) du fait de leur caractère hors saison. A Diourbel, en moyenne, 0,9 % des précipitations annuelles enregistrées soit 4,6 mm sont des pluies hors saison.

Au Sénégal, on note principalement deux saisons : la saison sèche dominée par les alizés et celle pluvieuse marquée par la présence de la mousson. Cette variation saisonnière s'explique par la dynamique des échanges méridiens et la variation des paramètres climatiques.

## CHAPITRE 3 : LES VARIABLES CLIMATIQUES

« Toute étude climatique ou hydrologique est basée sur l'exploitation des séries de données recueillies pendant des périodes plus ou moins longues continues ou discontinues » (Dubreuil P, 1974). Dans ce chapitre, les variables climatiques sont analysées à travers la vitesse et la direction des vents, la température, l'humidité relative, l'insolation, l'évaporation et les précipitations qui ont une influence considérable sur l'écoulement et les phénomènes extrêmes. Ces données de la station synoptique de Diourbel, étalées sur une période de 39 années (1980 - 2018), ont été collectées à l'ANACIM en Août 2019.

### I. LES VENTS

L'étude des vents de surface s'articule autour de la vitesse et de la direction dominante.

**Tableau 2: Direction dominante et vitesse moyenne mensuelle des vents (en m/s)**

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
V (en m/s)	2,1	2,0	2,0	2,2	2,0	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	1,4	1,6
DD	E	E	N	N	N	W	NW	NW	W	N	NE	E

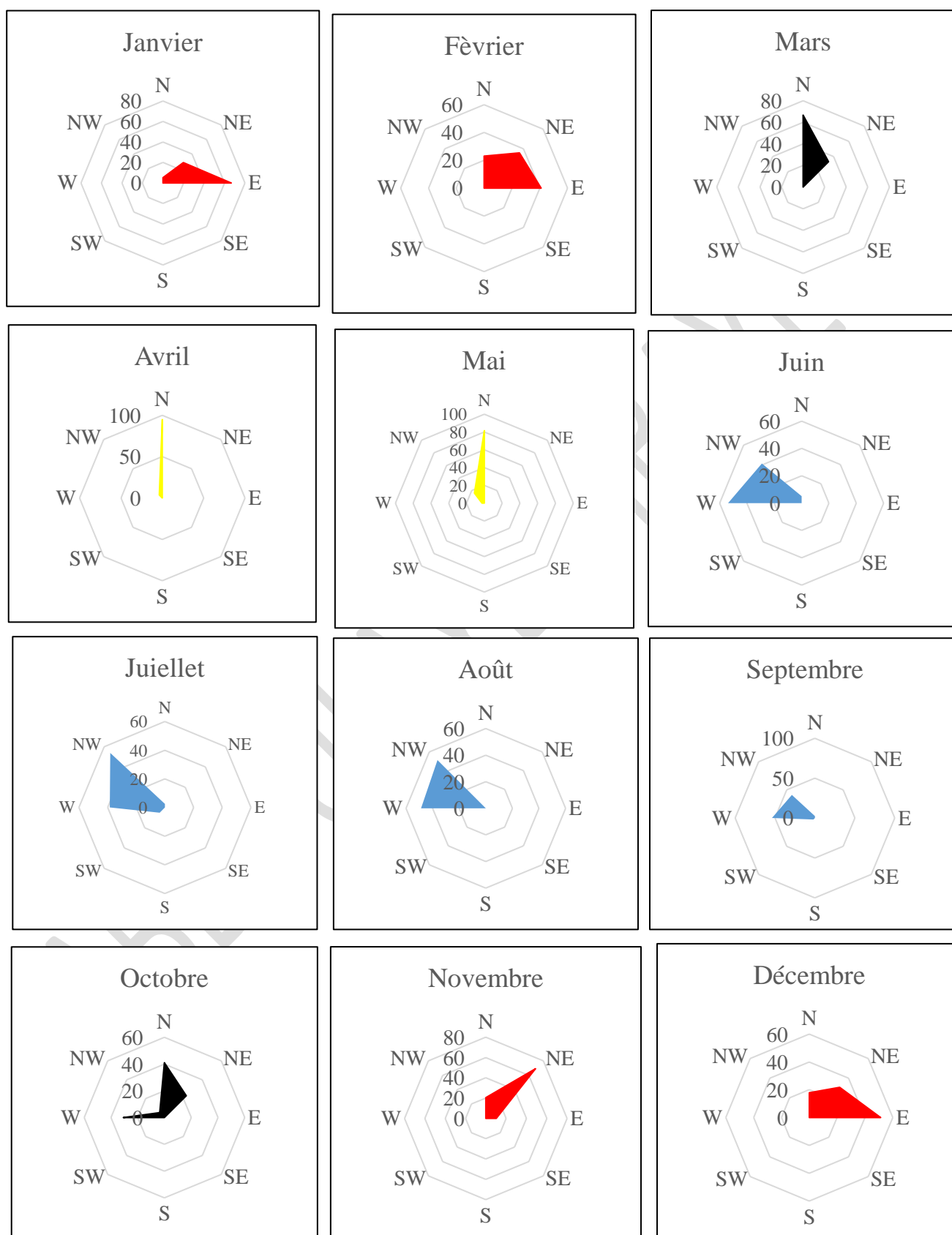
V (m/s) : Vitesse moyenne mensuelle des vents ; DD : Direction dominante

#### I.1. La vitesse moyenne mensuelle des vents

La vitesse des vents évolue de manière monomodale avec un maxima en Avril (2,2 m/s) et un minima en Octobre (1,2 m/s). Les vitesses les plus importantes, notées de Janvier à Juillet, s'accompagnent d'une faible humidité relative et sont inversement proportionnelles à l'évaporation. De même depuis 39 ans, Janvier 2013 est le mois ayant enregistré la vitesse la plus importante avec 10,3 m/s. D'Août à Décembre la vitesse des vents connaît une baisse liée à une diminution de l'évaporation mais aussi à une humidité relative et des précipitations très accusées. Ainsi, Septembre et Octobre 2003 ont reçus les plus faibles vitesses de vent dans la série (0,5 m/s). Cependant la moyenne mensuelle qui s'élève à 1,7 m/s est identique à celle annuelle. Cette faiblesse moyenne des vents à Diourbel fait que l'érosion éolienne n'y est pas importante malgré la dénudation du sol.

#### I.2. Les directions dominantes des vents

Pour rendre notre analyse plus simple et respecter les normes climatologiques, nous avons intégré les directions secondaires dans les principales. Ce qui nous fait une rose à 8 directions au lieu de 16 directions.



**Figure 4: Rose des vents à Diourbel de 1980 à 2018 (source : ANACIM, 2019)**

L'analyse de la direction des vents met en évidence 3 saisons éoliennes à Diourbel :

- La première saison éolienne s'étend de Novembre à Février et est caractérisée par des vents de directions Nord-Nord/Est-Est (NE-NE-E). Elle est marquée par une prédominance de l'alizé continental (avec une fréquence de 79,5 % ; 82,1 % ; 94,9 % ; 76,9 % respectivement pour Novembre, Décembre, Janvier et Février) qui a une direction Nord-Nord/Est.
- La deuxième saison est dominée par des vents de directions dominantes Nord-Nord/Ouest-Ouest (N-NW-W) et dure 2 mois (Avril et Mai).
- La troisième saison éolienne est marquée par les vents de directions Nord-Ouest-Ouest-Sud/Ouest (NW-W-SW). Elle se caractérise principalement par la circulation de mousson (W-SW) qui dure 4 mois à Diourbel (Juin, Juillet, Août et Septembre). Néanmoins les vents du Nord/Ouest sont assez fréquents durant cette période.

Cependant, Mars est un mois de transition dominé entièrement par un flux de directions Nord-Nord/Est. Ce mois correspond à l'influence de l'alizé maritime continentalisé et permet de passer de la première saison éolienne à la deuxième.

Octobre également est un mois de transition marqué par les vents du Nord, de l'Ouest et du Nord/Est. Il permet de passer d'une saison à prédominance de mousson à une saison marquée par la présence de l'alizé continental.

Cette division de l'année en saisons éoliennes différentes est liée à la migration des individus isobariques, elle-même liée à l'évolution cosmique.

## **II. LA TEMPERATURE**

Exprimée en degré Celsius de chaleur (+) ou de froid (-), la température varie dans le temps (selon les saisons) et dans l'espace (en fonction de la proximité de l'océan mais aussi de l'éloignement de la latitude). A Diourbel, les températures restent élevées toute l'année du fait de la continentalité de la région.

**Tableau 3 : Moyennes mensuelles des variables thermiques à Diourbel de 1980 à 2018**  
(source : ANACIM, 2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne Annuelle
TM (en ° C)	33,8	36,1	38,3	39,7	40,2	38,1	35,7	34	34,3	37,2	37,5	34,7	36,6
Tm (en ° C)	15,6	17	18,2	18,8	20,2	22,4	23,4	23,3	23	22,7	18,9	16,6	20
Tmoy (en ° C)	24,7	26,5	28,3	29,2	30,2	30,3	29,6	28,7	28,7	30	28,2	25,6	28,3
$\Delta$ (en ° C)	18,1	19,1	20,1	20,9	20	15,7	12,3	10,7	11,3	14,6	18,6	18,2	16,6
Constat	MF	MF	MF	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MF	MF	

TM (en ° C) : moyenne mensuelle des températures maximales

Tm (en ° C) : moyenne mensuelle des températures minimales

Tmoy (en ° C) : moyenne mensuelle des températures moyennes

$\Delta$  (en ° C) : amplitude thermique mensuelle

MF : mois frais / MC : mois chauds

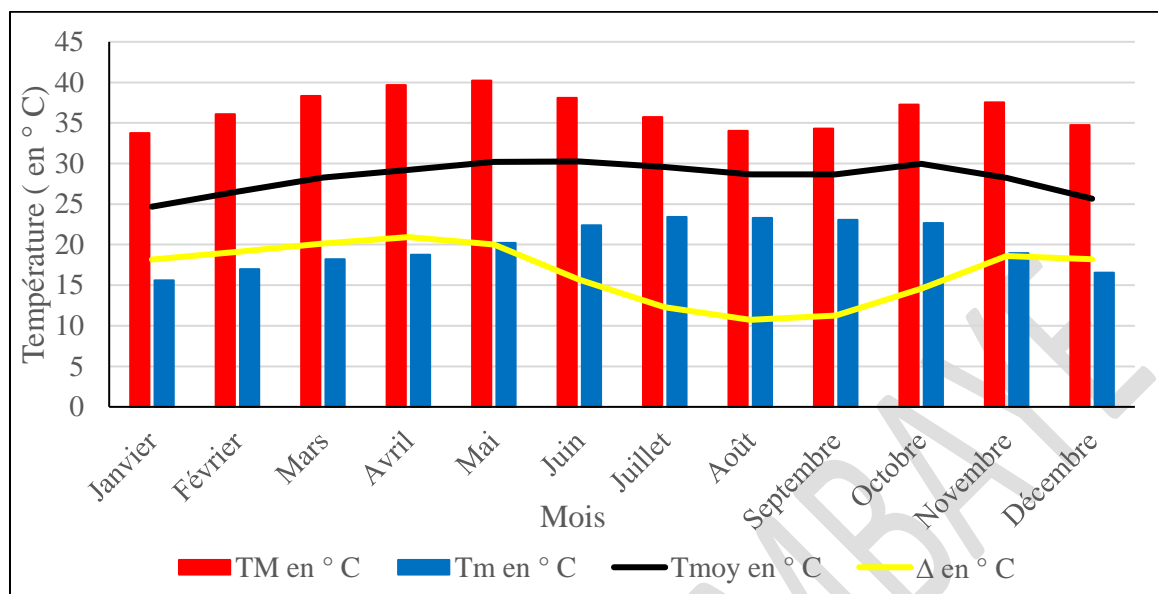
L'analyse des données thermiques (tableau 3) montre une évolution bimodale des températures moyennes mensuelles maximales. Les TM (en °C) croissent progressivement jusqu'en Mai où elles atteignent le maximum principal de leur évolution avec 40,2°C. Le maximum secondaire intervient en Novembre avec 37,5°C et résulte du retrait de la mousson. Les minimums principal et secondaire interviennent respectivement en Janvier (33,8°C) et en Décembre (34,7°C).

Contrairement aux TM (en ° C), les températures minimales ont une allure monomodale avec un maximum en Juillet (23,4 ° C) et un minimum en Janvier (15,6).

A l'image des TM (en ° C) les moyennes des températures moyennes mensuelles ont aussi une évolution bimodale. Cependant au lieu de Mai, le maximum principal intervient en Juin avec 30,3 ° C alors que le maximum secondaire se situe en Octobre avec 30 ° C. Le minimum principal est enregistré en Janvier (24,7 ° C) et le minimum secondaire en Décembre (25,6 ° C).

Par ailleurs l'amplitude thermique moyenne mensuelle la plus importante est enregistrée en Avril (20,9 ° C) et la plus faible en Août (10,7 ° C). De Juin à Septembre, on note une baisse des amplitudes thermiques liée soit à la couverture nuageuse soit à la présence de la mousson à Diourbel. Le régime thermique laisse apparaître deux saisons distinctes : une saison chaude de

7 mois (Avril à Octobre) correspondant à l'été boréal et une saison fraîche de 5 mois (Novembre à Mars) qui intervient en hiver.



**Figure 5 : Evolution moyenne mensuelle des températures (en °C) à Diourbel**

Les fortes valeurs de température enregistrées entre Avril et Juillet s'expliquent d'une part par la prédominance de l'harmattan qui est un vent chaud et sec et d'autre part par l'importance de l'insolation en Mars, Avril et Mai. Cette situation résulte également de l'absence de ressource en eau superficielle pérenne et de la faible couverture du ciel en cette période. Par contre les plus faibles valeurs interviennent en hiver et résultent de la faiblesse de l'humidité relative et des précipitations, de l'influence des masses d'air froides originaires des moyennes latitudes en Décembre et Janvier.

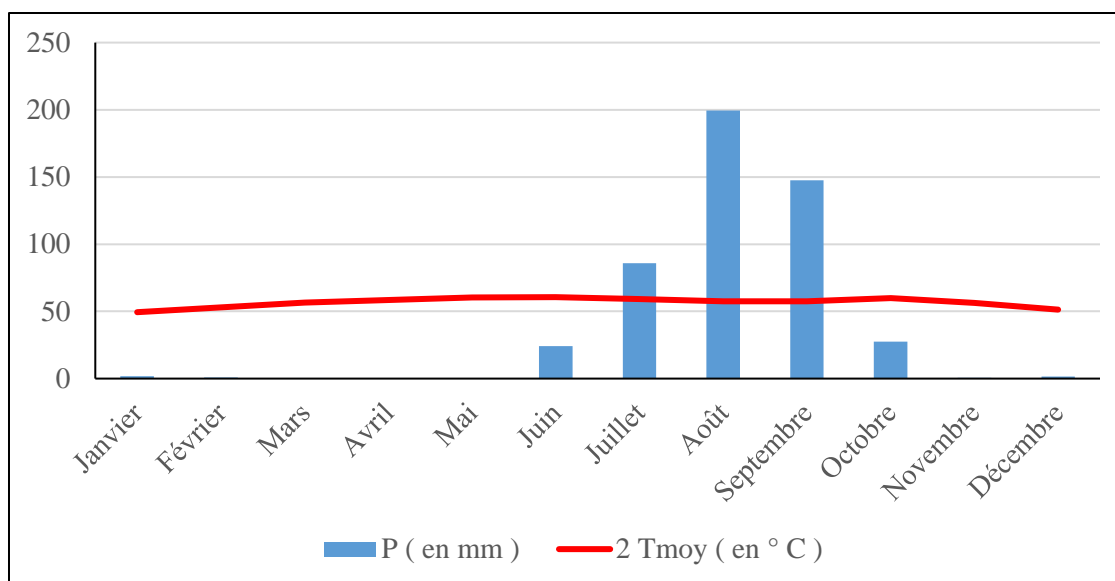
Parmi les 39 années analysées, les années 2000 (26,9 °C) et 2016 (29,9 °C) ont été respectivement les plus fraîches et les plus chaudes. La moyenne de la série est de 28,3 °C.

**Tableau 4 : Moyennes mensuelles des précipitations et du double des températures à la station de Diourbel de 1980 à 2018 (source : ANACIM, 2019)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (en mm)	1,7	0,9	0,1	0	0,3	24,2	85,9	199,6	147,6	27,4	0,5	1,5
2 Tmoy (en °C)	49,4	53	56,6	58,4	60,4	60,6	59,2	57,4	57,4	60	56,4	51,2
Constat	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Humide	Humide	Humide	Sec	Sec	Sec

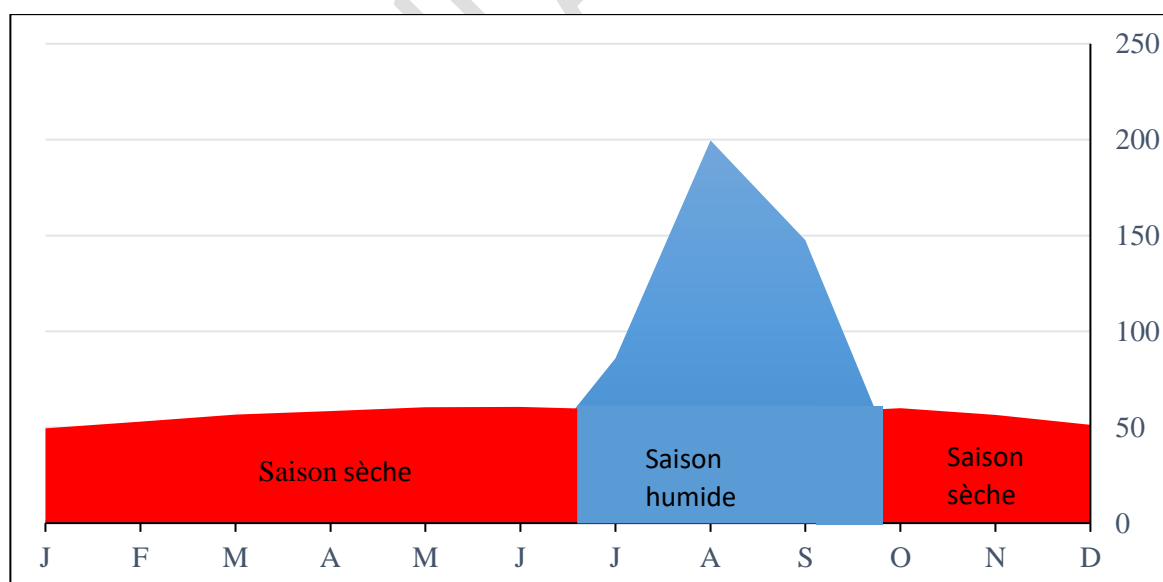
P (en mm) : Précipitations moyennes mensuelles

2 Tmoy (en °C) : Double de la Température moyenne mensuelle



**Figure 6 : Diagrammes ombrothermique de la station de Diourbel de 1980 à 2018**

Le tableau 4 et les graphiques 6 et 7 laissent apparaître deux saisons thermiques en fonction des précipitations et du double de la température : une saison humide de 3 mois (juillet, Août, Septembre) et une saison sèche composée de 9 mois secs (Octobre à Juin). Cette caractérisation des mois humides et secs est faite à partir de la formule de Bagnoul et Gaussen où  $p = 2T$  ; P représente les précipitations moyennes mensuelles et T la température moyenne mensuelle.



**Figure 7: Les saisons thermiques à Diourbel en fonction des précipitations moyennes et du double de la température à l'échelle mensuelle de 1980 à 2018**

### III. HUMIDITE RELATIVE

L'étude de l'humidité relative s'avère nécessaire à Diourbel car permettant de connaître le degré hygrométrique. L'humidité relative (%) ou degré hygrométrique est la quantité de vapeur d'eau contenue dans une particule d'air. Etant définie comme le rapport de la tension de vapeur et de l'air ambiant (A) et de la tension de vapeur saturante (ew), en fonction de la température et de la pression de l'air (H. Dacosta, 1989). Le taux d'humidité relative est capable de donner des renseignements sur les possibilités de formation de nuages et de précipitations.

**Tableau 5 : moyennes mensuelles de l'humidité relative maximale, minimale et moyenne**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
HRM (en %)	59,3	60,4	68,3	76	80,4	88,2	91,1	95,3	96,4	93,5	75,8	62
HRm (en %)	20,7	19,3	18,8	19,5	23,1	34,4	48	57,4	57,4	39,7	23,2	22
Hrmoy (en %)	40	39,8	43,5	47,7	51,7	61,3	69,6	76,3	76,9	66,6	49,5	42
Caractérisation des mois	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Sec	Sec

HRM (en %) : moyenne mensuelle de l'humidité relative maximale

HRm (en %) : moyenne mensuelle de l'humidité relative minimale

Hrmoy (en %) : moyenne mensuelle de l'humidité relative moyenne

L'analyse du tableau 3 révèle une évolution bimodale pour les humidités relatives minimales et maximales. Par contre les humidités relatives moyennes se caractérisent par une allure unimodale avec un maximum en Septembre (76,9%) et un minimum en Février (39,8%).

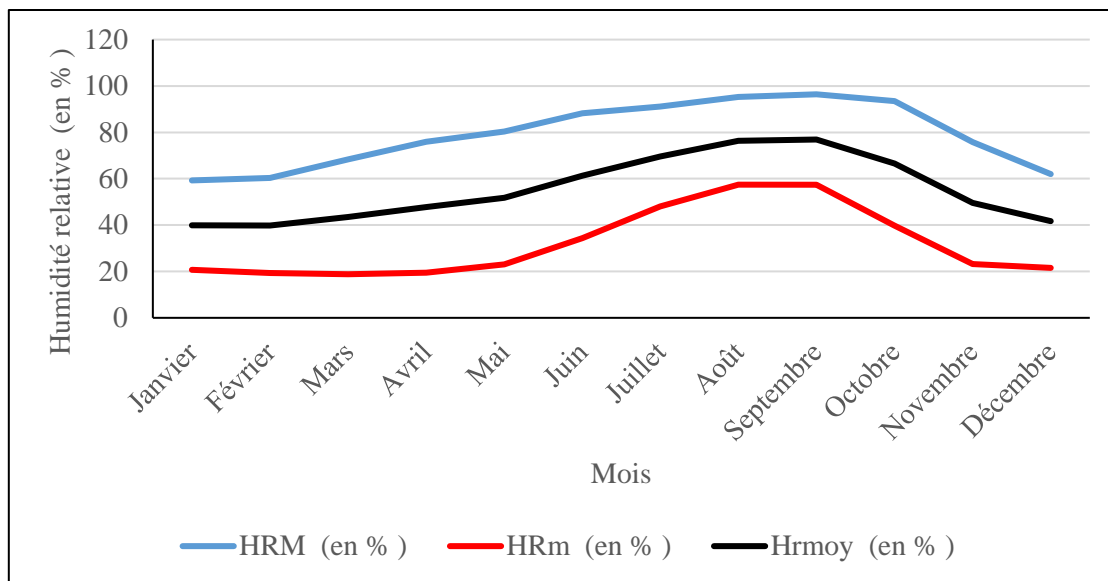
De Mars à Septembre, les Hrmoy (en %) évoluent progressivement grâce à une disponibilité des ressources en eau superficielles (mares, marigots, vallées, sites de stagnation d'eaux pluviales) qui contribuent à la modération des températures et au renforcement de l'humidité de l'air. Les fortes valeurs d'Hrmoy (en %) atténuent le pouvoir évaporant, augmentent l'humectation du sol et coïncident à une faiblesse de l'évaporation, de l'insolation et de la vitesse des vents.

Ces variations de l'humidité relative sont proportionnelles à l'alternance des saisons et dépendent donc en partie de la température de l'air mais aussi des caractéristiques hydrométriques des masses d'air.

En fonction de l'Hrmoy (en %), il existe deux saisons climatiques à Diourbel : une saison humide de 5 mois (Juin à Octobre) et une saison sèche de 7 mois (Novembre à Mai).

L'évolution interannuelle montre que l'année 2011 est la plus humide de la série avec une humidité relative moyenne annuelle de 63,5 % tandis que l'année 1986 (48,8%) a été celle la plus sèche.





**Figure 8 : Variation moyenne mensuelle de l'humidité relative (en %) à Diourbel**

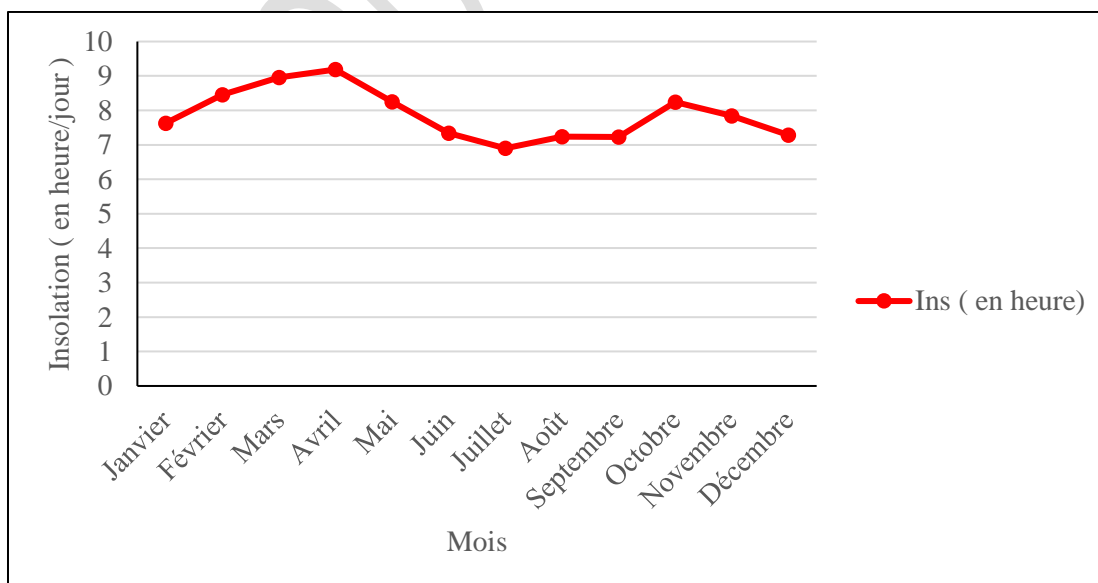
#### IV. INSOLATION

L'insolation exprime la durée d'ensoleillement reçue sur une surface donnée au moment de la visibilité du soleil.

**Tableau 6 : Variation de l'insolation moyenne mensuelle à Diourbel de 1980 à 2018**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ins (heure/jour)	7,6	8,5	9	9,2	8,3	7,3	6,9	7,2	7,2	8,2	7,8	7,3

Ins (heure/jour) : Insolation moyenne mensuelle



**Figure 9: Variation de l'insolation moyenne mensuelle à la station de Diourbel de 1980 à 2018**

Dans la figure 9, l'insolation évolue en dents de scie. La valeur la plus importante est enregistrée en Avril (9 heures 12 minutes/ jour) et celle la plus faible en juillet (6 heures 54 minutes/jour). L'insolation moyenne mensuelle est de 7 heures 54 minutes /jour. Les apports énergétiques les plus importants interviennent de Février à Mai et sont liés à une faiblesse de l'humidité relative, une importance de la vitesse des vents, des températures accusées, un ciel dégagé et une prédominance de l'alizé continental. Les faibles valeurs d'insolation sont liées à la couverture nuageuse en saison pluvieuse.

A titre annuel, 1986 est l'année la plus ensoleillée avec 8 heures 48 minutes/ jour en moyenne et 2005 celle ayant le plus faible rayonnement solaire avec 6 heures 30 minutes/jour. Depuis 39 ans, la plus forte valeur d'insolation a été enregistrée en Février 2010 (11 heures 54 minutes/jour) et la plus faible en Juillet 2005 (6 heures 30 minutes/jour).

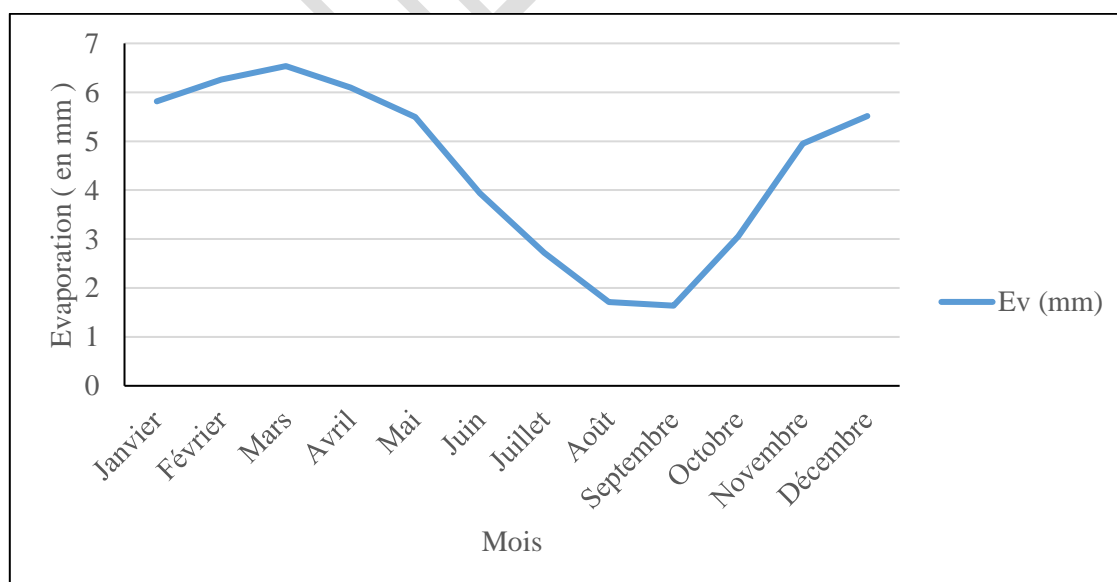
## V. EVAPORATION

Etant définie comme la conversion de l'eau liquide en vapeur (état gazeux), l'évaporation est tributaire à la fois des autres paramètres climatiques et du cycle végétatif de la station.

**Tableau 7 : Evolution moyenne mensuelle de l'évaporation à Diourbel de 1980 à 2018**

Mois	Janv	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	An
Ev (en mm)	5,8	6,3	6,5	6,1	5,5	3,9	2,7	1,7	1,6	3,1	5	5,5	4,5

Ev (mm) : Evaporation moyenne mensuelle



**Figure 10: Evolution de l'évaporation moyenne mensuelle de 1980 à 2018**

Le graphique 10 met en évidence l'évolution de l'évaporation en deux phases qui sont proportionnelles aux saisons pluviométriques :

- ❖ La première phase qui s'étend d'Avril à Septembre se caractérise par une tendance régressive chutant jusqu'à 1,6 mm en Septembre (coïncident avec le maxima de l'humidité relative 96,4%). Ces faibles valeurs d'évaporation en saison estivale correspondent au minimum de l'insolation et de la vitesse des vents mais aussi à une humidité relative très accusée. Cette situation engendre ainsi une atténuation du pouvoir absorbant de l'atmosphère.
- ❖ La deuxième saison qui débute à Octobre connaît une importante progression culminant à 6,5 mm en Mars (correspondant avec le minima de l'humidité relative 18, 8%). Cette situation s'explique par le développement de la végétation, la recharge des sources d'eau souterraines et superficielles. Ces importantes valeurs d'évaporation sont enregistrées dans une période où le bilan de l'eau est déficitaire. En effet, l'évolution du bilan hydrique est plus fonction de l'évaporation que des précipitations.

A l'échelle interannuelle, les plus fortes valeurs d'évaporation remontent en 1994 (avec une moyenne de 6 mm et un cumul de 72,3mm). De même la plus forte valeur d'évaporation depuis 39 ans date de Mars 1994. L'évaporation la plus faible a été enregistrée en 2005 (avec une moyenne de 3,4 mm et un cumul de 40,4 mm). Ainsi de 1980 à 1994 l'évaporation connaît une hausse relative tandis que de 1995 à 2018 elle ne cesse de décroître.

## VI. LES PRECIPITATIONS

Les précipitations sont un élément fondamental aussi bien en climatologie qu'en hydrologie car constituant les principales entrées des systèmes continentaux des bassins versants. La pluie est un élément essentiel pour les études de bilan hydrique ainsi que pour la prévision et la simulation des débits, puisqu'elle est utilisée en entrée de modèles hydrologiques.

### VI.1. Les précipitations mensuelles

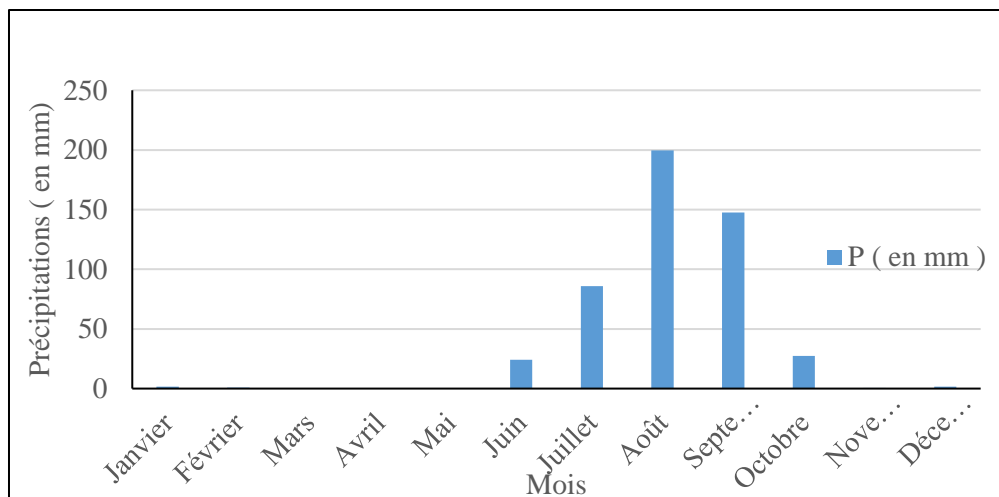
**Tableau 8 : Analyse des paramètres pluviométriques à la station de Diourbel**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (en mm)	1,7	0,9	0,1	0,0	0,3	<b>24,2</b>	<b>85,9</b>	<b>199,6</b>	<b>147,6</b>	<b>27,4</b>	0,5	1,5
Ect	9,8	4,0	0,5	0,0	1,2	<b>26,5</b>	<b>48,8</b>	<b>72,6</b>	<b>64,0</b>	<b>23,8</b>	2,6	5,8
CV	5,9	4,5	4,3	6,2	4,7	<b>1,1</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,9</b>	4,9	3,8
CP (%)	4,1	2,1	0,0	0,0	0,6	<b>59,4</b>	<b>210,5</b>	<b>489,1</b>	<b>361,7</b>	<b>67,1</b>	1,3	3,8
Max (année 2012)	0,0	0,0	2,9	0,0	1,2	0,4	138,3	290,8	313,6	12,3	0,0	0,0
Min (année 1983)	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	48,7	3,3	138,0	95,0	0,0	0,0	0,0

P (en mm): Précipitations moyennes mensuelles ;

CV: Coefficient de variation

Ect : Ecart type ; CP : Coefficient de pluviosité



**Figure 11: Variation des précipitations moyennes mensuelles (en mm) de 1980 à 2018 à la station de Diourbel**

Le coefficient de pluviosité (CP) et l'écart type augmentent en fonction de l'importance des précipitations qui sont à leur tour inversement proportionnelles à l'évolution du coefficient de variation (CV). Cette interdépendance est clairement illustrée à travers les données du tableau 8 de Juin à Octobre.

**Tableau 9 : Caractéristiques des saisons pluvieuses à Diourbel**

Constat	Début de l'hivernage			Fin de l'hivernage		
	Précoce	Normal	Tardif	Précoce	Normal	Tardif
Mois	Mai	<b>Juin</b>	Juillet	Septembre	<b>Octobre</b>	Novembre
Nombre	2	<b>30</b>	7	1	<b>34</b>	4
Fréquences (en %)	5,1	<b>76,9</b>	17,9	2,6	<b>87,2</b>	10,3

	Durée de l'hivernage			Les mois les plus pluvieux		
	4 mois	<b>5 mois</b>	6 mois	Juillet	<b>Août</b>	Septembre
Nombre	8	<b>25</b>	6	2	<b>29</b>	8
Fréquences (en %)	20,5	<b>64,1</b>	15,4	5,1	<b>74,4</b>	20,5

Le régime pluviométrique peut être qualifié de normal à Diourbel car l'hivernage débute souvent en Juin (76,9 %) et se termine en Octobre (74,4%). Cependant, il arrive que des situations précoces et/ou tardives se présentent aussi bien pour le début que pour la fin de la saison des pluies. Ainsi 17,9 % des débuts d'hivernage sont tardifs contre 10,3 % pour les fins de la saison pluvieuse. Par contre les cas de précocité sont assez rares.

L'hivernage dure en moyenne 5 mois (Juin à Octobre) avec sans doute 7 mois de saison sèche. Néanmoins il peut y avoir un décalage de la durée de l'hivernage qui peut aller jusqu'à 6 mois (15,4 %) parfois ou un recul en se limitant à 4 mois (20,5 % des cas).

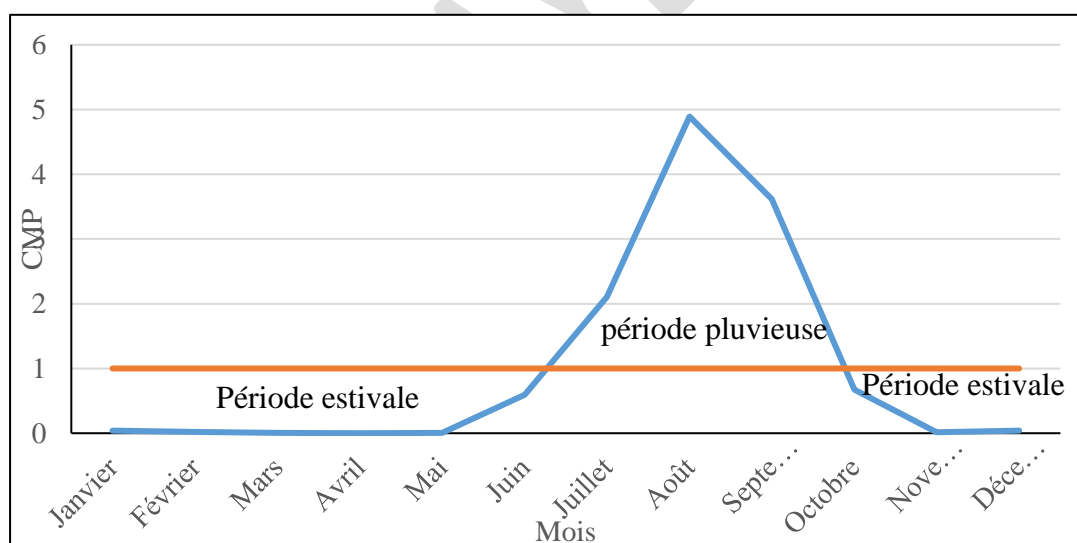
Par ailleurs, la presque totalité des précipitations est enregistrée entre Juillet et Septembre. Le mois d'Août reste le plus pluvieux de la saison avec 74,4%. Toutefois le maximum pluviométrique peut être tardif en Septembre (20,5%) ou précoce en Juillet (5,1%). L'importance des précipitations en cette période s'explique partiellement par la forte présence de mousson.

### VI.1.1. Le coefficient mensuel de précipitations(CMP)

Le CMP nous permet de faire également un découpage pour déterminer la période hivernale et celle estivale. Il est le rapport des valeurs mensuelles sur la moyenne de la chronique et évolue en fonction des précipitations. <http://www.jmaterenvironsci.com>

**Tableau 10 : Coefficient mensuel des précipitations à Diourbel**

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
CMP	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,59	2,11	4,89	3,62	0,67	0,01	0,04

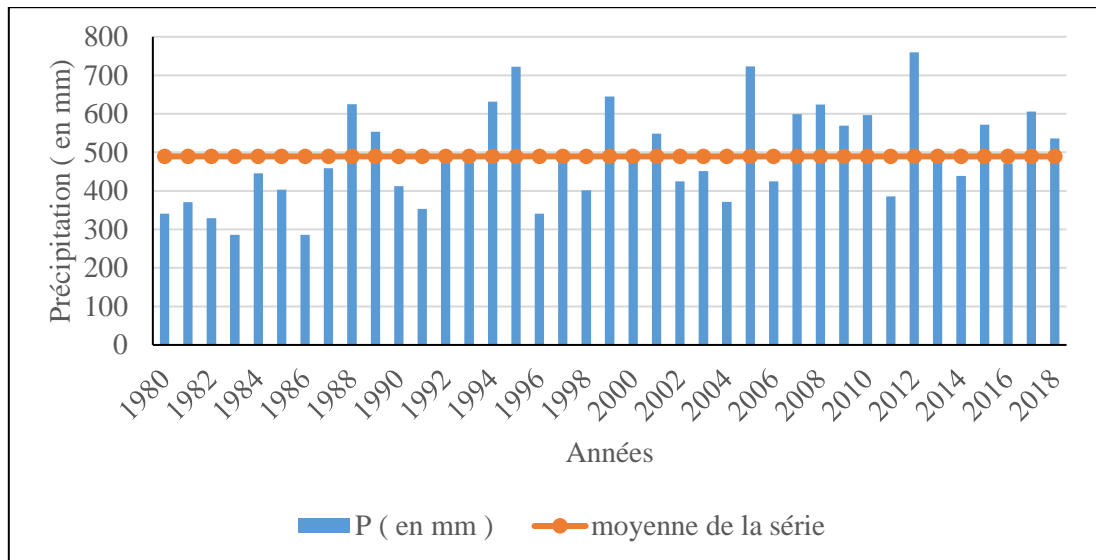


**Figure 12 : Caractérisation des saisons pluviométriques en fonction du CMP**

## VI.2. Les précipitations annuelles

L'évolution en dents de scie de la figure 12 met en évidence une alternance entre plusieurs années sèches (inférieures à la moyenne) avec quelques années humides (supérieures ou égales à la moyenne). Sur les 39 années d'observation 24 sont déficitaires soit 62 %. Les 8 années (1980 à 1987) qui suivent la décennie postérieure à la sécheresse sont toutes déficitaires. Ce qui nous

permet de dire que la sécheresse de 1970 ne s'est arrêtée qu'en 1988 à Diourbel. La pluviométrie moyenne annuelle est de 489,6 mm. Les précipitations moyennes maximales et minimales s'élèvent respectivement à 759,5 mm (2012) et à 285,6 (1983). Depuis 2005, on note le retour à un cycle pluviométrique normal.



**Figure 13: Evolution des cumuls pluviométriques annuels de 1980 à 2018**

#### VI.2.1. L'indice d'aridité d'E- De Martonne

Cet indice se calcule selon cette formule :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec P = Précipitations totales annuelles ; T = Température moyenne annuelle

Pour notre station :  $I = 489,6 / (28,3 + 10) = 12,8$

Donc, selon le classement d'E- De Martonne (1950), nous sommes en présence d'un climat semi-aride dominé par une végétation steppique car notre indice d'aridité est compris dans l'intervalle [10 - 20[.

#### VI.2.2. L'Indice standardisé des précipitations (ISP)

L'Indice standardisé des précipitations (ISP) ou, en anglais, *standardized precipitation index* (SPI), se calcule selon la formule :

$$ISP = (X_i - X_m) / S_i$$

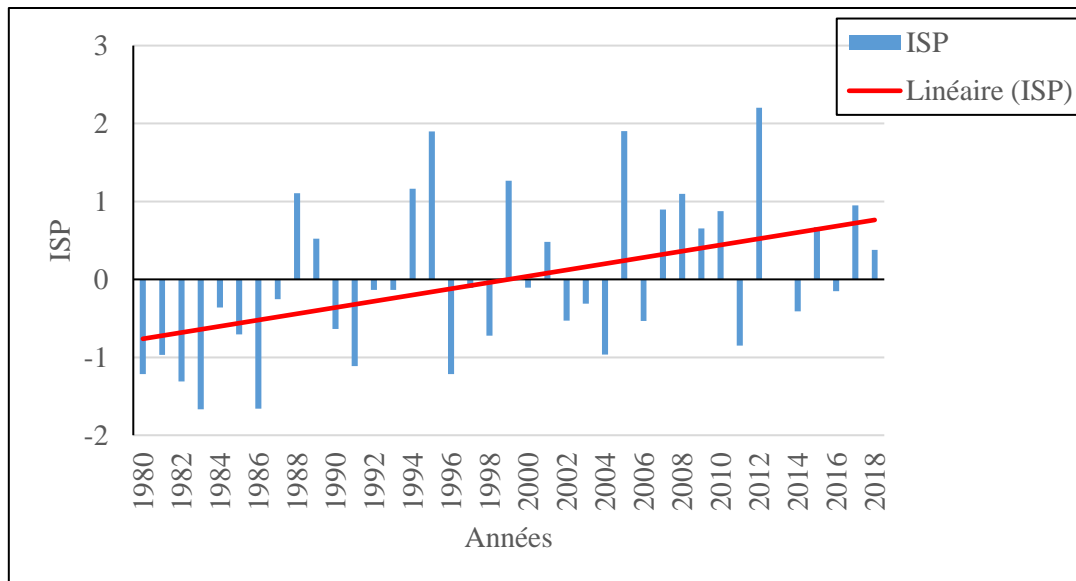
Avec  $X_i$  = cumul de la pluie pour une année  $i$  ;  $X_m$  et  $S_i$  sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées dans la série

Pour obtenir les ISP à Diourbel nous nous sommes basés sur la source suivante : Bergaoui M., Alouini A. 2001 (IRESA, Tunisie) in [www.john-libbey-eurotext.fr](http://www.john-libbey-eurotext.fr)

Cet indice permet de déterminer la sévérité de la sécheresse selon différentes classes. Les résultats de nos calculs en fonction des classes ISP sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 11 : classification de la sécheresse en fonction des valeurs d'ISP à Diourbel**

Classe du SPI	Degré de la sécheresse	Nombre	Fréquence (%)
$SPI > 2$	Humidité extrême	1	2,6
$1 < SPI < 2$	Humidité forte	6	15,4
$0 < SPI < 1$	Humidité modérée	9	23,1
<b><math>-1 &lt; SPI &lt; 0</math></b>	<b>Sécheresse modérée</b>	<b>17</b>	<b>43,6</b>
$-2 < SPI < -1$	Sécheresse forte	6	15,4
$SPI < -2$	Sécheresse extrême	0	0,0



**Figure 14 : Evolution de l'ISP à la station de Diourbel de 1980 à 2018**

Les précipitations annuelles, à travers leur ISP, sont majoritairement dominées par une sécheresse modérée avec 43,6% et dans une moindre mesure par une humidité modérée avec 23,1%. En outre les années d'humidité et de sécheresse fortes sont relativement importantes et concernent chacune 6 années soit 15,4%. Par contre, on note une absence totale de sécheresse extrême et une faiblesse de l'humidité extrême (2,6%).

L'ISP a une évolution identique à celle de l'écart à la moyenne en indiquant le caractère toujours irrégulier de la pluviométrie. Ainsi les séquences sèches sont significativement plus importantes que celles humides. L'ISP le plus faible correspond à l'année la plus sèche (1983) et celui le plus important également a été enregistré en 2012 (année la plus pluvieuse de la série).

Cependant il existe quelques données lacunaires dans la série (1993 à 1997 et 1999 à 2000 pour l'insolation ; 2016 pour l'humidité relative maximale). Ces données manquantes ont été comblées par la méthode d'interpolation des moyennes d'extrémité.

En somme, l'analyse de la série pluviométrique (1980-2018) montre une forte variabilité avec une tendance générale à la hausse depuis les années 2000.



## **CONCLUSION PARTIELLE**

La topographie, l'hydrologie, la géologie, la couverture végétale et les variables climatiques exercent une importante influence sur les modalités de l'écoulement dans un bassin versant. La circulation atmosphérique générale est régie par 3 centres d'action engendrant des vents de caractères et de directions différents. Ces flux sont séparés soit par la discontinuité d'alizé soit par celle de l'équateur météorologique. Les conditions pluviogéniques en Afrique occidentale varient en fonction des saisons. En hivernage la pluviogenèse est caractérisée par les lignes de grain et la partie active de l'équateur météorologique. Les variables climatiques sont en perpétuelle interdépendance. En outre, ces éléments de réponse climatique (vents, précipitations, humidité...) sont fortement influencés par les éléments d'apport (circulation). La géologie, l'hydrogéologie, la pédologie, la couverture végétale, les paramètres climatiques ainsi que la morphométrie ont une grande influence sur les modalités de l'écoulement dans un bassin versant.

## Table des matières

<b>LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES.....</b>	<b>I</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
I.    PROBLEMATIQUE .....	3
I.1.    Contexte de l'étude .....	3
I.2.    Justification.....	6
I.3.    Etat de la question de recherche .....	9
I.4.    Cadre opératoire .....	13
<b>Objectif général .....</b>	<b>13</b>
<b>Hypothèses: .....</b>	<b>13</b>
I.5.    Définition des concepts .....	14
II.    METHODOLOGIE.....	15
II.1.    Observation de terrain .....	15
II.2.    Recherche documentaire .....	15
II.3.    Travail de terrain .....	16
<b>PREMIERE PARTIE : .....</b>	<b>17</b>
<b>ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES .....</b>	<b>17</b>
<b>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STATION ET DU MILIEU D'ETUDE .....</b>	<b>19</b>
I.    PRESENTATION DE LA STATION SYNOPTIQUE DE DIOURBEL.....	19
II.    PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE .....	20
II.1.    Pédologie et Topographie .....	20
II.2.    Géologie et Hydrogéologie .....	21
II.3.    Hydrographie et Hydraulique .....	21
II.4.    Biogéographie.....	22

<b>CHAPITRE 2 : LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE GENERALE EN AFRIQUE DE L'OUEST .....</b>	<b>23</b>
I.    LES MANIFESTATIONS CLIMATOLOGIQUES EN AFRIQUE OCCIDENTALE .....	23
I.1.    Les Centres d'action .....	23
I.2.    Les Flux .....	24
I.3.    Les Discontinuités.....	26
I.3.2.    L'Equateur Météorologique (EM).....	27
II.    LA PLUVIOGENESE .....	29
II.1.    En saison pluvieuse.....	29
II.2.    En saison non pluvieuses.....	30
<b>CHAPITRE 3 : LES VARIABLES CLIMATIQUES .....</b>	<b>31</b>
I.    LES VENTS.....	31
I.1.    La vitesse moyenne mensuelle des vents .....	31
I.2.    Les directions dominantes des vents .....	31
II.    LA TEMPERATURE.....	33
III.    HUMIDITE RELATIVE .....	37
IV.    INSOLATION.....	38
V.    EVAPORATION .....	39
VI.    LES PRECIPITATIONS.....	40
VI.1.    Les précipitations mensuelles .....	40
VI.2.    Les précipitations annuelles .....	42